



Le mercure

Prévention de l'hydrargyrisme

Le mercure

Prévention de l'hydrargyrisme

*Cette brochure a été réalisée
par le laboratoire de chimie analytique minérale
du centre de recherche de l'INRS*

Destinataires : Ingénieurs et contrôleurs des CRAM, CHU, laboratoires vétérinaires et pharmaceutiques, UER à vocation physique, chimie, biologie, biochimie, toutes les industries utilisatrices du mercure, et responsables des CHS.

SOMMAIRE

Introduction	5
1. Propriétés et utilisations du mercure et de ses composés	7
1.1. Mercure élémentaire et composés minéraux	7
1.2. Composés organiques du mercure	10
2. Toxicologie du mercure et de ses composés.	
Rappels brefs	15
2.1. Mercure et sels inorganiques	15
3. Législation et normes de sécurité	17
3.1. Valeurs limites admises	17
3.2. Prévention et indemnisation de l'hydrargyrisme professionnel. Principales professions concernées	18
3.3. Cas particulier des professions de santé	18
4. Mise en évidence de la contamination	21
4.1. Modes de prélèvement des vapeurs de mercure	21
4.2. Prélèvements d'atmosphère dans l'air des lieux de travail	23
4.3. Méthodes d'analyse	24
4.4. Appareils de mesure à lecture directe	25
4.5. Dosages biologiques du mercure	26
5. Moyens de décontamination.	
Description et choix des méthodes	27
5.1. Procédés chimiques	27

5.2. Procédés physiques	29
5.3. Procédés divers	31
6. Équipement du personnel et conception des ateliers	33
6.1. Hygiène du personnel	33
6.2. Mesures prises en vue d'éviter la contamination de l'environnement	33
6.3. Conception des locaux	34
6.4. Stockage du mercure métallique	34
7. Remarques complémentaires	37
Annexe 1	39
Annexe 2	46
Annexe 3	48
Annexe 4	59
Bibliographie	60

La toxicité des vapeurs de mercure, de Pline l'Ancien à Ramazzini, précurseur de la médecine du travail du XVII^e siècle, jusqu'aux textes de lois de 1913, 1919 et 1924 sur la prévention de l'hydrargyrisme, n'est plus à démontrer. De nos jours, l'intoxication mercurielle revêt un caractère « historique » et cette maladie professionnelle n'inspire plus – à tort – la même vigilance qu'autrefois. Pour rappel, on peut citer l'enquête réalisée par l'INRS dans six thermométries d'une même région [1].

Que le polluant se présente sous la forme de poussières ou de vapeurs, l'hydrargyrisme est le plus souvent dû à la pénétration des toxiques dans l'organisme par les voies respiratoires. Néanmoins il ne faut pas négliger le risque de pénétration percutanée ou digestive. Dans ce dernier cas, l'ingestion souvent volontaire de mercure métallique (accidentelle, très rare) donne lieu à des suites bénignes (il s'élimine normalement sous forme de sulfure). Il n'en est pas de même pour les organomercurels dont la fixation élective sur les centres nerveux a des conséquences graves.

Depuis 1950, on assiste à un nouveau type d'intoxication d'origine mercurielle, assez différent de l'hydrargyrisme classique. La contamination n'est plus professionnelle mais écologique, c'est-à-dire due à la pollution de l'environnement par les dérivés organiques du mercure (utilisation massive de fongicides à usage agricole, ou méthylation naturelle des rejets de mercure minéral par voie biologique en présence de micro-organismes aérobies).

La présente brochure a pour but de rappeler aux utilisateurs du mercure et de ses composés :

- les moyens essentiels de la prévention de l'hydrargyrisme professionnel (normes de sécurité, législation, méthodes de mise en évidence de la contamination des lieux de travail, hygiène des lieux de travail et du personnel) ;

– l'importance du problème posé par la décontamination des ateliers et laboratoires pollués par le mercure sans que celle-ci se fasse au détriment de l'environnement (par des rejets inconsidérés de matière toxique ainsi récupérée).

Les méthodes proposées pour prévenir l'intoxication mercurielle ont été retenues pour leur simplicité d'application, leur précision et leur réelle efficacité.



Fig. 1. - *Mise en évidence des vapeurs de mercure en lumière ultraviolette.*

1. PROPRIÉTÉS ET UTILISATIONS DU MERCURE ET DE SES COMPOSÉS

1.1. Mercure élémentaire et composés minéraux

1.1.1. Le mercure est un métal brillant, blanc argenté, très dense, liquide à température ordinaire, bon conducteur

Il forme des amalgames avec de nombreux métaux.

Pour ses différentes propriétés il est employé dans de nombreux secteurs industriels :

- fabrication d'appareils de mesure et de laboratoire : thermomètres, baromètres, manomètres, densimètres, aéromètres, pompes ou trompes à mercure ;
- dans l'industrie électrique : fabrication de lampes, redresseurs de courant, minuteriers, piles, accumulateurs ;
- travail des peaux (secrétage à l'aide de nitrate acide de mercure, feutrage des poils secrétés, naturalisation d'animaux) ;
- dans l'industrie chimique : agent catalytique, agent d'électrolyse, fabrication de différents composés du mercure ;
- préparation de nombreux amalgames, notamment des amalgames dentaires ;
- fabrication de différentes spécialités pharmaceutiques, etc.

En France le mercure est essentiellement importé. En 1972 les entrées en mercure minéral (métal, chlorures et oxydes) étaient évaluées à 260 tonnes environ [2] alors qu'en 1970 et 1971 elles étaient respectivement de 300 et 380 tonnes.

En 1990-1992, les entrées et utilisations de mercure et de ses composés minéraux étaient estimés au total à 61,2 tonnes avec une répartition par type d'utilisation en tonnes par année qui est la suivante [11] :

Fabrication de piles et accumulateurs	10 tonnes	16,3 %
Fabrication de thermomètres	12,5 tonnes	20,4 %
Utilisation d'amalgames dentaires	16 tonnes	26,1 %
Lampes et matériel d'éclairage	0,5 tonne	0,8 %
Fabrication de l'eau de Javel et du chlore	21,1 tonnes	34,5 %
Divers	1,1 tonne	1,8 %

On notera qu'en 1998 la fabrication des thermomètres médicaux a cessé dans notre pays du fait des dispositions prises par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France publiées au *Bulletin officiel* le 28 mars 1996 (tome II - N96/10) tendant à éradiquer l'utilisation des thermomètres à mercure dans les établissements de santé pour l'an 2000.

1.1.2. À la température ambiante le mercure élémentaire et nombre de sels minéraux ou organiques émettent des vapeurs en quantité non négligeable

Les vapeurs de mercure peuvent être mises en évidence de façon assez spectaculaire en lumière ultraviolette, en utilisant une lampe émettant la raie à 2 537 Å caractéristique de l'élément mercure. En plaçant un récipient ouvert contenant du mercure entre la lampe et un écran fluorescent à 2 537 Å (une plaque de chromatographie imprégnée d'un indicateur de fluorescence convient très bien), on peut observer l'absorption de la lumière ultraviolette, traduite sur l'écran par des zones d'ombres mouvantes qui visualisent parfaitement les vapeurs émises à température ambiante (fig. 1).

Tableau des valeurs des concentrations de la valeur saturante en mg/m³ pour quelques composés (d'après [3])

Composé mercuriel	Température en °C	Concentration de la valeur saturante en mg/m ³
Mercure élémentaire	0	2,17
	20	13,18
	30	29,46
	40	62,44
HgCl ₂	11	0,28
	23	0,81
HgS	20	pratiquement 0

1.1.3. Le mercure est soluble dans l'eau en quantité faible mais non négligeable, qui augmente avec la température (de 20 à 30 mg/l entre 20 et 30 °C selon [3])

Un équilibre s'établit entre le mercure non dissous, le mercure en solution et la phase vapeur de mercure :



si bien que l'émission de vapeur de mercure à travers une couche d'eau est ralentie, mais elle continue. **L'eau ne constitue pas une protection contre les vapeurs de mercure.**

Des essais effectués au laboratoire ont été entrepris dans le but de vérifier ces données, notamment :

- en fonction du temps ;
- en fonction de l'épaisseur de la couche liquide protecteur ;
- en fonction de la nature du liquide utilisé (pour des raisons pratiques, le choix s'est porté sur l'eau et l'huile de paraffine) (fig. 2).

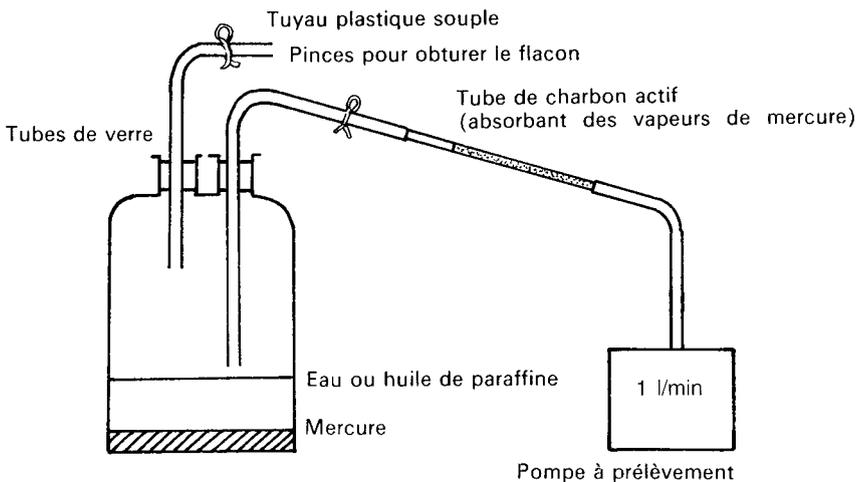


Fig. 2. - Dispositif mis en œuvre pour les essais de conservation du mercure métallique : sous eau, sous huile de paraffine.

Conditions de l'expérience

- Température du laboratoire : 23-24 °C ;
- Concentration C_1 de vapeur saturante en mg/m^3 , d'après [3],
à 22 °C : 15,5 ;
à 24 °C : 18.
- Volume au-dessus de la couche de mercure : 2 litres.
- Si C_1 désigne la concentration en mercure au-dessus d'une couche de mercure, C_2 celle déterminée au-dessus du liquide protecteur, l'efficacité de celui-ci est définie à partir du calcul suivant :

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 = \text{efficacité (en \%)}$$

Le tableau des résultats obtenus (valeurs moyennes après plusieurs essais) est donné page 11.

1.2. Composés organiques du mercure

1.2.1. Rappels de nomenclature chimique

Dans les combinaisons organomercuriques, l'élément métallique possède la valence 2 qui se prête à la formation d'un ou de deux liens de covalence entre mercure et carbone.

Si R est un radical organique, X un groupe ou un élément négatif monovalent, on peut envisager à côté des sels mercuriques HgX_2 , proprement dits, deux autres types de dérivés du mercure : R-Hg-X et HgR_2 (respectivement mono et disubstitués par rapport au mercure pris dans le sel).

Le radical organique R peut être un groupement aliphatique (chaîne carbonée simple non cyclique) et est alors appelé radical alkyl. Il peut aussi faire intervenir un ou plusieurs cycles benzéniques (ou noyaux aromatiques) : R est alors un radical aryl. Le radical R peut aussi associer un groupement dérivant d'une fonction alcool primaire (éther ou radical alkoxy) à un groupement alkyl (ou aryl) ; R est alors appelé radical alkoxyalkyl – (ou alkoxyaryl).

Parmi les composés organomercuriels on distinguera donc :

Tableau des résultats obtenus
(valeurs moyennes après plusieurs essais)

Contenu du flacon	Quantité de mercure émise en fonction du temps en µg/litre d'air						Efficacité de la couche protectrice en fonction du temps en %			
	0	1	2	3	24 h	24 h	0	1	3	24 h
Mercure seul (100 ml ~ 1 cm)	1,9	7,75	–	16,5	18	Saturation	–	22	0	0
Mercure (100 ml ~ 1 cm) + Eau (200 ml ~ 2 cm) (flacon non lavé – mercure et eau versés sans précautions)	–	6	–	16	18	Saturation	–	22	0	0
Mercure (100 ml ~ 1 cm) + Eau (200 ml ~ 2 cm) (grandes précautions à l'introduction)	0,55	4,25	7,5	10,5	15,2		71	45	35	16
Mercure (100 ml ~ 1 cm) + Huile (100 ml ~ 1 cm)	0,25	1,45	2,5	3,3	7,5		87	82	80	59
Mercure (100 ml ~ 1 cm) + Eau (200 ml ~ 2 cm) + Huile (100 ml ~ 1 cm)	0,3	1,3	2	2,9	7		84	83	82	61
Mercure (100 ml ~ 1 cm) + Eau (500 ml ~ 5 cm)	0,25	0,9	1,6	2,8	6,7		87	88	83	63
Mercure (100 ml ~ 1 cm) + Huile (400 ml ~ 4 cm)	0,20	0,65	1	1,7	3,5		90	92	89	80

a) Les composés **alkylmercuriels**

- ex. : – composés méthylmercuriels (hydroxyde, chlorure, cyanamide...);
– composés éthylmercuriels (hydroxyde, chlorure...);
– diméthylmercure;
– diéthylmercure.

b) Les composés **arylmercuriels**

- ex. : – diphénylmercure,
– acétate, nitrate de phénylmercure.

c) Les composés **alkoxyalkylmercuriels** (ou alkoxyaryl)

- ex. : – chlorure et silicate de méthoxyéthylmercure.

1.2.2. Volatilité des composés organomercuriels à température ambiante

Tous sont volatils (principalement les alkyl- et arylmercuriels). La volatilité de ces composés est fonction de leur solubilité dans l'eau, de leur aptitude à s'adsorber à la surface des supports solides et de l'humidité relative de l'air (voir tableau des valeurs de la concentration atmosphérique en mercure page 8).

1.2.3. Interdiction d'utilisation [11]

Les états membres de l'OCDE ont interdit l'utilisation des composés organomercuriels dans les enrobages pour semences pour pratiquement toutes les utilisations (directive CEE 91/188 en application au 21 juin 1991 en France). Les composés organomercuriels sont interdits d'emploi dans la fabrication des peintures (où ils jouaient le rôle de fongicides) depuis le 31 mars 1992 en application de la directive CEE 89/677.

Tableau des valeurs de la concentration atmosphérique en mercure
 (pour quelques composés organomercuriels,
 mesurés sous différentes conditions)

Composés	Conditions	Concentration atmosphérique en mercure $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Chlorure de méthyl-mercure à 22-23 °C	{ 0,08 % dans un tampon phosphate 0,1 M, pH 5	900
	{ 0,04 % dans un tampon phosphate 0,5 M, pH 5	560
- à 20 °C	{ produit pur – concentration de vapeur saturante	94 000
Acétate de phényl-mercure (solide) – à 22-23 °C	{ humidité relative de l'air : 30 %	140
	{ air sec – humidité relative 1 %	22
- à 20 °C	{ concentration de la vapeur saturante	17
Nitrate de phényl-mercure (solide) – à 22-23 °C	{ humidité relative de l'air : 30 %	27
	{ air sec – humidité relative 1 %	4
- à 20 °C	{ concentration de la vapeur saturante	1

2. TOXICOLOGIE DU MERCURE ET DE SES COMPOSÉS. RAPPELS BREFS [4, 12]

2.1. Mercure et sels inorganiques

2.1.1. Toxicité aiguë

Le mercure métallique n'entraîne pas d'effet toxique en cas d'ingestion. Lors d'injection accidentelle intra-musculaire ou sous-cutanée, il se produit une importante réaction inflammatoire locale ; la faible absorption du métal par cette voie explique l'absence de signes toxiques généraux. Par contre, l'inhalation de vapeurs de mercure (après chauffage par exemple) provoque une intoxication grave associant fatigue, fièvre et surtout une atteinte pulmonaire hémorragique et une encéphalopathie souvent mortelle.

Pour un anion donné, les sels mercuriques sont en principe plus dangereux que les sels mercuroux. Les signes sont cependant identiques et associent une forte irritation digestive puis une insuffisance rénale ; dans les jours qui suivent on peut observer une atteinte buccale (stomatite) et une éruption cutanée. Les sels de mercure sont irritants pour la peau et les muqueuses (oculaire et respiratoire).

2.1.2. Toxicité chronique

Elle peut faire suite à l'inhalation répétée de faibles concentrations de vapeurs de mercure métallique ou de poussières de sels de mercure. Le système nerveux est l'organe le plus atteint, les sujets présentent une encéphalopathie d'abord discrète et réversible à l'arrêt de l'intoxication : céphalée, fatigabilité, troubles de l'humeur et de la mémoire... À un stade plus avancé on peut noter principalement un tremblement, une détérioration intellectuelle et une atteinte du cervelet (syndrome cérébelleux). À ceci peut s'ajouter une insuffisance rénale (glomérulonéphrite ou tubulopathie) et une stomatite.

Au niveau cutané il est parfois possible d'observer des réactions allergiques (eczéma).

2.1.3. Dérivés organiques

Les dérivés à chaînes courtes sont bien absorbés par voies orale, cutanée et respiratoire. Les effets peuvent résulter d'absorptions répétées de faibles doses (contamination environnementale comme à Minamata) ou d'une forte dose unique (plusieurs mg/kg). Les signes sont essentiellement neurologiques avec une encéphalopathie grave, proche de celle décrite par les sels de mercure inorganiques. Parmi les dérivés organiques, le diméthylmercure s'est montré fœtotoxique et tératogène (atteinte du système nerveux).

3. LÉGISLATION ET NORMES DE SÉCURITÉ

3.1. Valeurs limites admises

Le ministère de l'Emploi et de la Solidarité a établi des valeurs limites pour la concentration des substances dangereuses dans les atmosphères de travail et celles signalées comme cancérigènes dans les circulaires du 19 juillet 1982, du 14 mai 1985 et suivantes.

Ces valeurs sont indicatives dans le cas général et réglementaires pour quelques substances (amiante, benzène, plomb, chlorure de vinyle entre autres). Parmi elles, on distingue des valeurs limites d'exposition (VLE) pour des temps d'exposition brefs (moins de 15 minutes) et des valeurs limites de moyenne d'exposition (VME) mesurées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

Par ailleurs, aux États-Unis, l'ACGIH¹ a défini des valeurs limites ou *threshold limit value* (TLV) destinées à servir de guide ou de recommandation technique pour une meilleure maîtrise des risques pour la santé au travail.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs limites françaises et américaines du mercure et de ses composés.

Tableau des valeurs limites d'exposition du mercure et de ses composés

Substances	ACGIH mg/m ³	VME mg/m ³
Mercure et composés inorganiques (en Hg)	0,025	0,050
Mercure et composés alkylés (en Hg)	0,01 0,03 S ²	0,01
Mercure et composés arylés (en Hg)	0,1	0,1

1. ACGIH = American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

2. S = Short Term Exposure Limit.

3.1.1. Surveillance biologique [14]

Il est possible d'évaluer l'importance de l'imprégnation de l'organisme en mercure en le dosant dans le sang ou les urines. Dans la population générale le mercure sanguin total est inférieur à 10 µg/l, au niveau professionnel les teneurs doivent rester inférieures à 25 µg/l en fin de semaine et fin de poste de travail, pour les dérivés organiques le taux ne doit pas dépasser 100 µg/l. Dans les urines de la population générale on retrouve moins de 5 µg/g de créatinine. La valeur guide utilisable en France au niveau professionnel est de 50 µg/g de créatinine avant le début du poste (35 µg/g de créatinine pour l'ACGIH depuis 1998).

Le risque de pénétration percutanée par le mercure et ses composés est reconnu par l'ACGIH et le ministère de l'Emploi et de la Solidarité. En France, il n'y a pas de VLE applicable au mercure et à ses composés.

3.2. Prévention et indemnisation de l'hydrargyrisme professionnel. Principales professions concernées

Le tableau n° 2 des maladies professionnelles (page 22) rend compte des délais de prise en charge pour toutes les professions concernées.

La prévention de l'hydrargyrisme, déjà réglementée par les décrets de 1913, a été largement complétée au fil des années (voir le rappel des décrets en annexe 4 page 59).

3.3. Cas particulier des professions de santé

3.3.1. Amalgame dentaire et cabinets de soins

L'obligation de récupérer les déchets d'amalgame issus des cabinets dentaires a été définie dans l'arrêté interministériel du 30 mars 1998 publié au JO n° 82 du 7 avril 1998.

3.3.2. Thermomètres médicaux dans les établissements et centres de santé

L'avis du 9 novembre 1995 du Conseil supérieur d'hygiène publique de France qui recommandait l'interdiction sous deux ans des thermomètres à mercure a été conforté par l'interdiction prise par

arrêté du 24 décembre 1998 paru au *Journal officiel* du 31 décembre 1998 interdisant de mettre sur le marché en France des thermomètres médicaux à mercure à compter du 1^{er} mars 1999.

L'ensemble de ces mesures confirme l'arrêt d'utilisation des thermomètres médicaux en service (qui doivent être adressés à des sociétés spécialisées dans le traitement des déchets mercuriels) ainsi que l'arrêt de leur fabrication dans notre pays.

4. MISE EN ÉVIDENCE DE LA CONTAMINATION

Les prélèvements de poussières solides en vue de la détermination de leur teneur en mercure ne sont pas suffisants pour rendre compte du risque auquel les ouvriers sont exposés.

4.1. Modes de prélèvement des vapeurs de mercure

4.1.1. Prélèvements par absorption

Ils mettent en jeu des barbotages dans des solutions oxydantes (solutions aqueuses de chlorure d'iode, de permanganate de potassium, d'acide nitrique...). Sur le plan pratique, ce mode de prélèvement ne présente aucune commodité. De plus, l'envoi au laboratoire d'échantillons liquides, dont la conservation est limitée, n'est pas envisageable.

4.1.2. Prélèvements par amalgamation

Cette technique de prélèvement est souvent préconisée pour séparer sélectivement différents composés du mercure. Par exemple, le mercure élémentaire forme un amalgame avec l'argent, dont la destruction par chauffage (de 300 à 700 °C) libère le métal piégé qui peut être entraîné par un courant gazeux vers la cellule d'un spectromètre d'absorption atomique où se fait la mesure. En fait, l'argent présente différents inconvénients : il ne peut servir longtemps en atmosphère humide, chargée de chlore ou d'anhydride sulfureux, qui altèrent sa surface. Si le problème est de prélever et de doser le mercure total ambiant (et non pas seulement le mercure métallique Hg⁰), cette méthode non « universelle » est à écarter.

4.1.3. Prélèvements par adsorption

Le mercure s'adsorbe sur différents supports : hopcalite (mélange d'oxydes de cuivre, de cobalt et de manganèse), charbon actif imprégné ou non. Parce que bien adaptée au problème des prélèvements de mercure minéral et organique en entreprise, cette méthode a particulièrement retenu l'attention.

Maladies professionnelles causées par le mercure et ses composés

Date de création : Loi du 25 octobre 1919

Dernière mise à jour : Décret du 11 février 2003

Maladies engendrées par l'intoxication hydrargyrique	Délai de prise en charge	Liste indicative des principaux travaux susceptibles de provoquer ces maladies
Encéphalopathie aiguë	10 jours	Extraction, traitement, préparation, emploi, manipulation du mercure, de ses amalgames, de ses combinaisons et de tout produit en renfermant, notamment :
Tremblement intentionnel	1 an	Distillation du mercure et récupération du mercure par distillation de résidus industriels ;
Ataxie cérébelleuse	1 an	Fabrication et réparation de thermomètres, baromètres, manomètres, pompes ou trompes à mercure.
Stomatite	30 jours	Emploi du mercure ou de ses composés dans la construction électrique, notamment :
Coliques et diarrhées	15 jours	Emploi des pompes ou trompes à mercure dans la fabrication des lampes à incandescence, lampes radiophoniques, ampoules radiographiques, etc. ;
Néphrite azotémique	1 an	Fabrication et réparation de redresseurs de courant ou de lampes à vapeurs de mercure ;
Lésions eczématiformes récidivant en cas de nouvelle exposition ou confirmées par un test épicutané	15 jours	Emploi du mercure comme conducteur dans l'appareillage électrique ;
		Préparation du zinc amalgamé pour les piles électriques ;
		Fabrication et réparation d'accumulateurs électriques au mercure.
		Emploi du mercure et de ses composés dans l'industrie chimique, notamment :
		Emploi du mercure ou de ses composés comme agents catalytiques ;
		Électrolyse avec cathode de mercure au chlorure de sodium ou autres sels.
		Fabrication des composés du mercure.
		Préparation, conditionnement et application de spécialités pharmaceutiques ou phytopharmaceutiques contenant du mercure ou des composés du mercure.
		Travail des peaux au moyen de sels de mercure, notamment :
		Secrétage des peaux par le nitrate acide de mercure, feutrage des poils secrétés, naturalisation d'animaux au moyen de sels de mercure.
Dorure, argenture, étamage, bronzage, damasquinage à l'aide de mercure ou de sels de mercure.		
Fabrication et emploi d'amorces au fulminate de mercure.		
Autres applications et traitements par le mercure et ses sels.		



Fig. 3. - *Matériel pour prélever les vapeurs de mercure :*
– Tube à charbon actif.
– Pompe autonome et portable, à débit réglable.

4.2. Prélèvements d'atmosphère dans l'air des lieux de travail (fig. 3)

4.2.1. Prélèvements d'ambiance à poste fixe

Les vapeurs de mercure peuvent être prélevées sur un tube de charbon actif avec une pompe autonome et portable fonctionnant sur batterie rechargeable, équipée d'un système de régulation électronique, à un débit de 1 litre par minute. La durée du prélèvement sera choisie selon que l'on veut suivre une tâche ponctuelle polluante, ou que l'on veut mesurer le niveau ambiant général d'un local (mesure du fond de pollution), afin de définir la nécessité de mise en œuvre de moyens de prévention technique (décontamination, captage à la source, etc.). Les tubes de charbon sont désorbés au laboratoire et le mercure analysé selon la méthode décrite en annexe I.

4.2.2. Prélèvements individuels

Il s'agit de mesures effectuées au niveau des voies respiratoires de la personne en activité. Elles sont réalisées avec le matériel utilisé pour les prélèvements à poste fixe, qui peut être porté sur la ceinture, le tube de charbon étant placé à hauteur des voies respiratoires. Les mesures peuvent être uniques ou répétées durant le poste de travail. Le suivi d'au moins un demi-poste de travail est suggéré pour appréhender au mieux les concentrations en vapeur de mercure inhalé qui seront rapportées à la journée de travail et comparées à la valeur limite d'exposition.

On peut également utiliser des échantillonneurs passifs (badges) proposés par différents fabricants qui se chargent de l'analyse.

4.3. Méthodes d'analyse

Le dosage du mercure contenu dans diverses matrices peut être effectué par de nombreuses techniques d'analyse :

- activation neutronique ;
- fluorescence atomique ;
- méthodes par rayons X ;
- spectrographie d'émission ;
- méthodes électrochimiques (polarographie) ;
- titrations ;
- chromatographie sur couche mince ou sur papier ;
- chromatographie en phase gazeuse ;
- colorimétrie (très délicate à mettre en œuvre comme toutes les techniques nécessitant des extractions) ;
- dosages directs par tubes réactifs : le volume d'air prélevé nécessaire pour teinter une zone sensible permet de déterminer la concentration en mercure ambiant. Cette valeur doit être comprise entre 0,1 et 2 mg/m³. On peut apprécier jusqu'à 0,05 mg/m³. La précision au niveau de la valeur limite admise n'est donc pas suffisante pour le contrôle précis de la teneur en mercure des atmosphères de travail ;
- spectrophotométrie d'absorption atomique.

La mise au point des techniques de prélèvements et de dosages des vapeurs de mercure a été effectuée à l'INRS. Le dosage du mercure dans les fluides biologiques (urines) a également été envisagé. Le mode de prélèvement choisi pour piéger les aérosols de mercure métallique et minéral convient aussi pour les composés organomercuriels, le dosage de l'élément mercure étant pratiqué de façon identique dans tous les cas.

On trouvera en annexe deux méthodes de prélèvement par adsorption sur charbon actif (fiche n° 24 du guide Métrologie des Polluants de l'INRS) ou sur tube Hydrar vendu par la société SKC (fiche n° 79 du guide Métrologie des polluants de l'INRS). Les fiches décrivent également la méthode d'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme.

4.4. Appareils de mesure à lecture directe

Le mercure émettant des vapeurs à température ambiante peut être dosé par spectrométrie d'absorption atomique sans flamme (vapeur froide) à une longueur d'onde caractéristique (253,7 nm). L'air à analyser est pompé en continu et arrive dans une cellule de référence (principe du double faisceau). Les résultats sont lus directement et exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La limite de détection généralement indiquée par les constructeurs est de 1 ou 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Un réétalonnage périodique de ces appareils est nécessaire et peut être réalisé au laboratoire ou par le constructeur.

Ces appareils permettent, lors de mesures sur un site éventuellement pollué, de repérer les zones où les mesures devront être effectuées en priorité (stratégie de mesures avant des mesurages de longue durée), ou de déceler des pointes de pollution. Ils permettent également d'enregistrer les mesures en continu et de déclencher des alertes si un seuil a été franchi.

Les renseignements qu'ils fournissent ne devraient pas être comparés à une valeur limite d'exposition : celle-ci correspond en effet à une valeur de la concentration en vapeurs de mercure *inhalée* par un salarié calculée pour une exposition de 8 heures par jour et 40 heures par semaine.

Cette comparaison peut être faite à partir de résultats obtenus lors de mesures de longue durée effectuées au niveau des voies respiratoires de la personne exposée.

4.5. Dosages biologiques du mercure

Étant donné l'absorption importante par voie respiratoire des vapeurs de mercure (absorption à 80 % environ) et l'absorption possible cutanée et digestive (par le biais d'une contamination de la peau et d'un défaut d'hygiène), les dosages du mercure inorganique total urinaire avant le début du poste et/ou du mercure inorganique total sanguin en fin de poste et fin de semaine de travail sont utiles pour apprécier l'imprégnation du salarié en complément des dosages atmosphériques, le mercure sanguin reflétant l'exposition de la semaine précédente, le mercure urinaire reflétant l'exposition ancienne [14].

5. MOYENS DE DÉCONTAMINATION. DESCRIPTION ET CHOIX DES MÉTHODES

Une fois mise en évidence la contamination d'un atelier ou d'un laboratoire, la récupération du mercure répandu ou sa transformation en composés non volatils est indispensable. Les méthodes mises en œuvre pour y parvenir sont multiples mais plus ou moins efficaces.

5.1. Procédés chimiques

5.1.1. Transformation du mercure élémentaire volatil en sulfure HgS non volatil et insoluble

Procédé au polysulfure de calcium [5]

Il est valable pour neutraliser le mercure répandu sous forme de fines gouttelettes sur une surface limitée.

La surface polluée est badigeonnée avec une solution de polysulfure de calcium à 20 %. On laisse sécher 48 heures puis on essuie avec un chiffon absorbant trempé dans l'eau.

Inconvénient : ce procédé n'est pas adapté au nettoyage de grandes surfaces (risque de dégagement important d'hydrogène sulfuré, toxique).

Procédé à base de fleur de soufre et de lait de chaux [6]

Pour le nettoyage des sols, des parties inférieures des murs et des établis.

On répand sur les surfaces à traiter une lessive composée de fleur de soufre et de lait de chaux (1:1). Après séchage, les surfaces traitées semblent avoir été badigeonnées. On laisse reposer 24 heures, puis la lessive est éliminée par lavage à l'eau pure.

Les eaux de lavage devraient normalement être récupérées en container étanche (pas de rejet à l'égout).

Remarque : ce traitement est valable pour le mercure finement

divisé, caché dans les rainures des planchers par exemple, et peut être aisément mis en œuvre pendant les arrêts de travail (fin de semaine).

Procédé à base de fleur de soufre [7]

Utilisable pour de petites surfaces et lorsque le mercure est divisé en de fines gouttelettes. On peut répartir de la fleur de soufre sur la surface à traiter (à l'aide d'un pinceau). Après quelques heures de contact le produit est aspiré avec une pompe à vide.

Inconvénient majeur de ces procédés

La pellicule – produit de la réaction – qui se forme à la surface des gouttes de mercure résiste peu aux conditions ambiantes (courants d'air, température). L'élimination chimique, importante au début, baisse très rapidement. Ces procédés sont surtout efficaces pour piéger les vapeurs émises.

5.1.2. Récupération du mercure en passant par l'obtention d'un amalgame solide

Remarque importante : lors de la mise en œuvre de ce procédé, ne jamais utiliser de récipient ou d'objet en aluminium : l'amalgamation mercure-aluminium donne lieu à une réaction extrêmement violente, c'est pour cette raison que la conservation des produits d'amalgamation sera faite à froid dans des récipients de verre ou de matière plastique.

Amalgame à la poudre de cuivre ou de zinc [8]

Un mélange à base de poussière de cuivre (90 %) et de bisulfate de potassium (10 %) a donné des résultats intéressants dans quelques entreprises. Le bisulfate a pour rôle d'éliminer la couche d'oxyde sur la poudre de cuivre.

Ce mélange remué dans l'eau de manière à former une pâte est appliqué aux endroits contaminés. Après trituration, l'amalgamation se produit à des signes évidents (coloration en gris). Pour le cas du mercure répandu dans des rainures, l'amalgamation plus lente est faite en quelques jours.

La poudre de zinc donne un amalgame du même type. Le cuivre possède l'avantage de pouvoir être stocké sans réaction avec le bisulfate de potassium, ce qui n'est pas le cas avec la poudre de zinc.

Amalgame à la poudre d'étain [5]

De la poudre d'étain lavée à l'acide chlorhydrique à 10 % peut être appliquée sur la surface suspecte, en frottant avec un pinceau dur. Les particules d'amalgame peuvent être balayées ou aspirées au bout de quelques heures.

Amalgame au fer en milieu acide [9]

Les déchets solides (ou en solution) contenant du mercure sont traités en les agitant en présence de fragments de fer dans une solution acide à $\text{pH} = 1$ en bécher de polyéthylène.

Après quelques heures, on décante l'amalgame et on le stocke dans un récipient de verre ou de plastique. Ce procédé est utilisé dans les laboratoires sidérurgiques où le chlorure mercurique est un réactif employé journalièrement pour le dosage du fer au bichromate de potassium.

Remarque : les rejets traités de cette manière ne donnent pas une récupération à 100 % car les réactions d'amalgamation se font en surface. Il est indispensable d'étaler les poudres amalgamantes et de renouveler les surfaces en contact avec le mercure. Par la suite, la distillation des produits d'amalgamation permet de récupérer le mercure élémentaire ainsi que le support amalgamant.

5.2. Procédés physiques

5.2.1. Aspiration sous vide

Il est possible de recueillir les gouttelettes de mercure par aspiration à travers une buse très fine en acier au moyen d'une pompe créant un vide primaire : trompe à eau, pompe à palettes. Le produit de cette récupération sera collecté dans un récipient clos et étanche [7].

Remarque : on peut utiliser ce moyen de récupération comme étape préliminaire à une décontamination plus poussée (par voie chimique par exemple).

5.2.2. Adsorption sur différents supports

Adsorption sur charbon actif

Le charbon actif imprégné ou non d'iode adsorbe les vapeurs de mercure. Cette adsorption est stable à température ambiante : le mercure ainsi piégé ne désorbe qu'à partir de 160 °C.

C'est cette propriété qui est utilisée lors de la mise en place de pièges à vapeurs de mercure, à la sortie d'une hotte aspirante par exemple. Ces pièges sont le plus souvent des cartouches de charbon actif.

Inconvénient : le renouvellement des pièges à charbon actif doit être fréquent. En effet, celui-ci peut piéger de nombreuses autres substances (solvants) ; de plus, c'est un desséchant. Comme il n'existe pas de témoins de saturation de ses capacités adsorbantes, les délais de remplacement des pièges doivent être courts, surtout en cas d'usage quotidien.

Dans la plupart des cas le problème du traitement des filtres pollués reste entier. Le plus souvent les usagers se contentent de les stocker. La destruction des pièges par pyrolyse du charbon pollué avec recueil des gaz de combustion (les vapeurs de mercure étant piégées dans une solution de polysulfure où elles se transforment en sulfure de mercure insoluble et non volatil) peut être une solution à suggérer.

Adsorption sur tamis moléculaire d'ions d'argent ou de cuivre et de gel de silice

La critique faite aux poudres amalgamantes est qu'elles offrent une surface de contact insuffisante, rapidement saturée. Parmi les matières les plus efficaces dans la formation d'un amalgame, on peut citer la poudre d'argent, mais le coût de ce produit est tel qu'il n'est pas question de le conseiller aux usagers.

En associant les capacités amalgamantes de métaux, comme l'argent ou le cuivre, aux capacités adsorbantes du gel de silice (qui peut offrir une surface de contact de plus de 100 m²/g), on est arrivé à préparer des tamis moléculaires d'ions d'argent ou de cuivre (plus abordable du point de vue coût) et de gel de silice.

Une préparation type consiste à charger du gel de silice avec 5 à 10 % d'oxyde de cuivre. Un traitement convenable en présence d'hydrazine avec séchage entre 105 et 145 °C permet d'obtenir une surface adsorbante de plus de 400 m²/g. Ce tamis moléculaire d'ions de cuivre se conserve indéfiniment en récipient clos, à l'abri de l'humidité et s'utilise répandu sur les surfaces à traiter comme une poudre amalgamante.

Procédés par congélation du mercure répandu

L'utilisation d'azote liquide ou de carboglace (lorsqu'elle est habituelle à un atelier ou à un laboratoire) peut également servir à congeler les gouttelettes de mercure, ce qui facilite leur récupération et freine totalement l'émission de vapeur pendant la durée de l'opération.

5.3. Procédés divers

5.3.1. Technique d'amalgamation avec « l'éponge à mercure »

Ce « truc » de laboratoire peut être utilisé quand il n'existe pas de dispositif d'aspiration sous vide.

Il consiste à prendre comme support une éponge métallique de cuivre ou de laiton, type ménager, comme on en trouve dans le commerce. Cette éponge est imprégnée d'une mixture à base de poudre de zinc et d'un acide faible en présence d'un agent mouillant (acide sulfamique à 5 % + 100 ppm d'un tensio-actif du commerce).

La surface à décontaminer est essuyée avec cette préparation et l'amalgame formé est récupéré dans un container où l'éponge est rincée. L'opération est répétée aussi souvent que nécessaire. Après séchage, les produits de récupération sont stockés au frais avant séparation du mercure.

6. ÉQUIPEMENT DU PERSONNEL ET CONCEPTION DES ATELIERS

6.1. Hygiène du personnel [7, 12]

- Boire, manger, fumer sur les lieux de travail doit être proscrit.
- Vêtements de ville et vêtements de travail seront distincts. Les tenues de travail seront de type « fermé » (éviter les fibres synthétiques facilement inflammables).
- Les manipulations seront effectuées avec des gants (type usage unique) dès que cela sera possible. Il est à remarquer qu'il existe des crèmes protectrices soufrées.
- Avant de pénétrer dans un local pollué (personnel chargé de la décontamination), les vêtements de ville seront remplacés par une tenue spéciale, que l'on changera quotidiennement (avec coiffe et surbottes jetables).
- Avant de quitter l'atelier ou le laboratoire, prendre la précaution de se laver les dents et les mains. La possibilité de prendre une douche doit exister.
- Il est évident qu'un vestiaire spécial recueillera les tenues polluées qui seront à nettoyer par étuvage à 70 °C durant 24 heures.
- Durant les périodes de nettoyage prévoir :
 - un appareil respiratoire autonome ou
 - un masque à cartouche filtrante (pour les courtes durées).
- Après décontamination d'un local, des mesures de la concentration ambiante en mercure au niveau du sol et des voies respiratoires vérifieront l'efficacité des moyens mis en œuvre pour éliminer la pollution mercurielle.

6.2. Mesures prises en vue d'éviter la contamination de l'environnement

- Le rejet de mercure et de ses composés à l'égout est à éviter absolument.

- Les dispositifs d'aspiration doivent prévoir le piégeage des vapeurs.
- Les eaux usées devront avoir été vigoureusement épurées avant d'être rejetées à l'extérieur (cas des usines d'électrolyse de chlore avec cathode de mercure notamment).

6.3. Conception des locaux

- Les installations électriques doivent être conçues pour permettre le nettoyage à grande eau des lieux de travail (après un badigeon fleur de soufre + chaux par exemple).
- Les appareils de chauffage devront avoir une forme simple et nette. Le chauffage par le sol est à proscrire. La température d'un lieu de travail ne devra pas excéder 18-20 °C.
- La ventilation, avec évacuation au niveau du sol, doit être permanente.
- Afin de faciliter l'entretien, murs, sols et plafonds seront en matériaux lisses et imperméables, sans fissures ni joints poreux (pas de bois, plâtre, ciment...).

En cas de nécessité, après décontamination, la prévention de l'hydrargyrisme sur les lieux de travail sera complétée par des modifications des installations des ateliers dont les modalités pourront être définies avec les services de prévention des caisses d'assurance maladie.

6.4. Stockage du mercure métallique

Le stockage et la manipulation du mercure et de ses composés minéraux nécessitent de sévères mesures de protection.

À ce propos, il semble utile de formuler quelques précisions.

En effet, bien souvent dans les industries utilisatrices de mercure, cette recommandation est appliquée au recueil du métal répandu ou souillé. L'utilisateur, persuadé que la couche d'eau ou d'huile empêche définitivement les émanations nocives, tend à accorder à cette mesure de protection une efficacité illimitée.

Les concentrations mesurées en milieu clos montrent que :

- les barrières liquides (eau, huile) sont rapidement franchies par les vapeurs de mercure ;

- la vitesse de passage dépend de l'épaisseur de la couche de liquide ;
- les liquides visqueux (huile...) offrent une protection plus efficace que l'eau.

La récupération de mercure sous liquide « protecteur » doit tenir compte de ces données.

Dans le cas de la mise en œuvre de ce procédé, il faudra prévoir :

- la conservation temporaire du mercure avec récupération du métal par soutirage et nettoyage fréquents ;
- un emplacement choisi en lieu frais et correctement ventilé ;
- une couche aussi épaisse que possible de liquide protecteur. L'eau étant facilement franchie, et ayant de plus tendance à s'évaporer rapidement, on pourra associer une couche d'eau épaisse et un film d'huile. La récupération du métal n'en sera que facilitée (l'huile n'étant pas en contact direct avec le mercure).

De toute manière, le caractère relatif de ce moyen de protection qui n'est qu'un pis-aller se doit d'être signalé. La conservation en vase clos est à préconiser.

7. REMARQUES COMPLÉMENTAIRES

Le problème du traitement des produits de décontamination (charbon actif, amalgames) reste souvent entier. Le stockage prolongé de ces résidus n'est certes pas une solution. Il existe peu d'organismes spécialisés dans leur traitement (avec récupération du mercure sous forme de sulfure non volatil par exemple).

Toutefois, il est absolument indispensable de préciser que les produits de récupération ne doivent en aucun cas être jetés ou brûlés afin de ne pas transformer le problème de pollution des ateliers en pollution de l'environnement.

Les utilisateurs de mercure pourront obtenir auprès de l'ADEME – centre d'Angers, 25, square Lafayette, BP 406, 49004 Angers cedex I – ou bien auprès de l'agence financière du bassin dont ils dépendent, les informations précises sur les modalités de récupération de leurs déchets.

On trouvera ci-dessous une liste non exhaustive des établissements assurant la valorisation et le traitement des déchets mercuriels (liste établie en 1998 par l'ADEME).

CITRON

Route des Gabions - BP 51
76700 Rogerville
Tél. : 02 35 24 76 50
Fax : 02 35 24 76 05

Tubes fluorescents, thermomètres, amalgames, boues, pièces et terres contaminées au mercure ; piles et accumulateurs.

LABO SERVICES

Route de la Centrale - BP 98
69702 Givors
Tél. : 04 72 49 24 24
Fax : 04 78 07 09 08

Tubes fluorescents et lampes à décharge.

DUCLOS ENVIRONNEMENT

86, Route Nationale
13240 Septèmes-les-Vallons
Tél. : 04 91 96 30 00
Fax : 04 91 96 25 27

Piles boutons, salines, alcalines ; catalyseurs ; autres déchets contenant du mercure ; tubes fluorescents, ampoules, thermomètres, etc.

MERCURE BOYS MANUFACTURE (MBM)

ZAC des Randonnais
72210 Voivre-lès-Le Mans
Tél. : 02 43 88 52 15
Fax : 02 43 88 52 15

Piles et accumulateurs ; amalgames dentaires, lampes à vapeur de mercure, tubes fluorescents, boues contenant du mercure.

PROVALOR

39, rue de la Bienfaisance

75008 Paris

Tél. : 01 53 77 60 72

Fax : 01 53 77 60 62

Unité mobile de recyclage des tubes fluorescents et autres déchets contenant du mercure, qui travaille sur site dans des centres de regroupement.

TREDI ST VULBAS

ZI de la Plaine de l'Ain

01150 Saint-Vulbas

Tél. : 04 74 46 22 00

Fax : 04 74 61 52 44

Boues mercurielles, tubes fluorescents, contacteurs au mercure et autres déchets mercuriels.

ANNEXE 1

MÉTHODE DE PRÉLÈVEMENT SUR CHARBON ACTIF ET DOSAGE PAR ABSORPTION ATOMIQUE SANS FLAMME (d'après [10])

MERCURE SUR TUBES DE CHARBON ACTIF

Substance mesurable

Nom	Formule brute	Masse molaire	N° CAS	VME (mg/m ³) en Hg
Mercure	Hg	200,59	7439-97-6	0,05
Mercure (composés alkylés)	–	–	–	0,01
Mercure (composés arylés et inorganiques)	–	–	–	0,1

Domaine d'application

Cette méthode permet de prélever et de déterminer le mercure total sous toutes ses formes (vapeur métallique, composés minéraux et organiques) (domaine de concentration entre 0,003 et 1,7 mg/m³ en Hg).

Principe

Le mercure est piégé par adsorption sur charbon actif. Pour l'analyse, il est désorbé sous courant d'azote à 500 °C, et solubilisé en milieu oxydant acide. Le mercure II obtenu est analysé par absorption atomique de la vapeur froide.

 1/6	MÉTROPOL MERCURE	Fiche 024 Mise à jour 17/07/00
--	---------------------	-----------------------------------

PRÉLÈVEMENT

Échantillonneur

Tube en verre Pyrex ou équivalent, longueur 200 mm, Ø int. 8 mm, rempli sur 14 cm de charbon actif (diamètre 0,5 à 0,75 mm), traité, maintenu par deux tampons de laine de quartz fibre longue.

Remarque

Tous les éléments composants les tubes doivent résister au chauffage à 500 °C.

Conditions usuelles d'utilisation

Débit : 0,5 à 1 l/min, volume recommandé : de 60 à 240 l.

Conservation (après prélèvement)

Les tubes prélevés, conservés à température ambiante, sont stables au moins un mois.

Précautions particulières

Lors de la préparation des tubes, le charbon actif ne doit pas être tassé pour éviter une perte de charge trop importante.

ANALYSE

Méthode

Le dosage est réalisé en absorption atomique sans flamme par déplacement de vapeur froide.

Désorption

La désorption est effectuée par chauffage du tube à 500 °C sous courant d'azote et récupération des vapeurs dans un barboteur contenant un mélange d'acides (HNO_3 et H_2SO_4) et de KMnO_4 dans de l'eau déionisée.

Étalonnage

Réalisé à partir d'une solution de mercure à 1 g/l.

2/6

MÉTROPOL
MERCURE

Fiche 024

Mise à jour 17/07/00

MATÉRIEL DE PRÉLÈVEMENT

- Pompe de prélèvement capable d'assurer un débit régulé de 0,5 à 1 l/min ($\pm 5\%$).
- Tube en verre Pyrex ou équivalent, longueur 200 mm, \varnothing intérieur 8 mm, rempli sur environ 14 cm de charbon actif (diamètre 0,5 à 0,75 mm).
- Tuyau souple de connexion pompe-échantillonneur.
- Débitmètre

MATÉRIEL ANALYTIQUE

- Four tubulaire ouvrant, longueur utile 200 mm, température du four $500 \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$.
- Barboteur 250 ml à disque frité \varnothing 30 mm.
- Pipettes et micropipettes.
- Fioles jaugées.
- Système d'absorption atomique sans flamme avec lampe à vapeur de mercure et cellule à fenêtres en quartz. Détection à 253,7 nm.
- Gants et lunettes de protection.

RÉACTIFS ET GAZ (qualité analytique)

- Bouteille d'azote munie d'un manodétendeur.
- Permanganate de potassium (KMnO_4).
- Acide nitrique (HNO_3) qualité « pour analyse du mercure ».
- Acide sulfurique (H_2SO_4) qualité « pour analyse du mercure ».
- Hydroxylammonium chloruré (NH_2OH , HCl 1,5 %).
- Chlorure stanneux (SnCl_2).
- Solution étalon de mercure à 1 g/l.
- Eau déionisée.
- Dichromate de potassium.

PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES

La manipulation d'acide, essentiellement l'acide sulfurique, doit s'effectuer avec un maximum de précautions. Des lunettes, des blouses et des gants de protection seront mis à la disposition du personnel.

3/6

MÉTROPOL
MERCURE

Fiche 024

Mise à jour 17/07/00

PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONNEURS

- Introduire un premier tampon de laine de quartz, la plage de charbon actif permettant de remplir le tube sur environ 14 cm, puis un second tampon de laine de quartz dans le tube en verre pour maintenir le charbon.
- Si les tubes sont utilisés pour la première fois, ils doivent être purifiés par séchage à l'étuve à 105 °C durant une nuit, puis chauffés à 500 °C sous courant d'azote dans un four tubulaire jusqu'à élimination totale du mercure (en suivant la diminution du signal à l'aide de l'analyseur de mercure relié à la sortie du tube). Après refroidissement des tubes, ils sont conservés bouchés.

Remarque

Les tubes seront gravés ou repérés à l'aide d'un marqueur résistant au chauffage (environ 500 °C).

TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

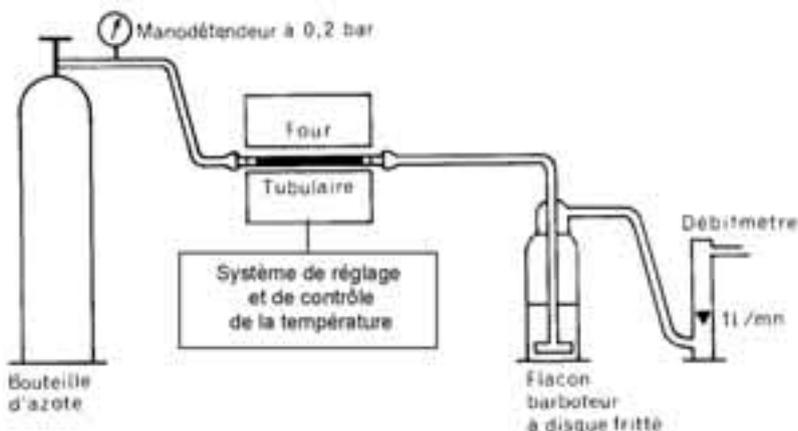
PRÉPARATION DES RÉACTIFS

Tous les réactifs sont préparés extemporanément et ne peuvent se conserver; l'atmosphère étant source de pollution.

- Solution de permanganate de potassium saturée (la solubilité de KMnO_4 à 20 °C est de 6,38 g pour 100 ml d'eau).
- Solution d'acide nitrique (1 + 1).
- Solution d'hydroxylammonium chloruré à 1,5 % dans l'eau.
- Solution d'acide sulfurique (1 + 1).
- Solution de chlorure stanneux à environ 10 % dans une solution aqueuse d'acide chlorhydrique à 5 % (solubiliser d'abord le chlorure stanneux dans HCl et compléter avec de l'eau). Purifier cette solution par barbotage d'azote jusqu'à ce que le mercure contenu soit totalement éliminé.
- Solution standard de mercure à 1 g/l.

4/6	MÉTROPOL MERCURE	Fiche 024 Mise à jour 17/07/00
-----	---------------------	-----------------------------------

*Montage utilisé pour désorber les tubes prélevés
ou tubes vierges à 500 °C sous courant d'azote*



- Le mercure est désorbé du charbon actif par chauffage du tube à 500 °C sous courant d'azote à 1 l/min durant 20 minutes environ.
- Il est envoyé vers un barboteur contenant de l'eau déionisée (environ 60 ml), 5 mL HNO_3 (1 + 1), 5 ml H_2SO_4 (1 + 1), et de 10 gouttes de KMnO_4 en solution saturée. Porter le tube à 500 °C pendant 20 minutes, puis le laisser refroidir en maintenant le courant d'azote. Quand le tube est froid, transvaser le contenu du barboteur, sans oublier de le rincer, dans une fiole et jauger avec de l'eau déionisée.

Remarques :

- Cette méthode de désorption permet de réutiliser les tubes de charbon actif pour d'autres prélèvements ; en cas de concentration très élevée en mercure, une deuxième désorption est conseillée. Les tubes devront être stockés dans un endroit exempt de mercure. Vérifier un tube vierge avant analyse.
- Traiter les échantillons servant de témoins de la même façon.

5/6	MÉTROPOL MERCURE	Fiche 024 Mise à jour 17/07/00
-----	---------------------	-----------------------------------

ANALYSE

CONDITIONS D'ANALYSE

- Régler la température du four à environ 500 °C et le débit d'azote à 1 l/min.
- Régler si besoin le détecteur à 253,7 nm.

ÉTALONNAGE

- Préparer une solution étalon intermédiaire à 1 µg/ml par dilution de l'étalon de mercure à 1 g/l dans une solution oxydante contenant 1% de dichromate de potassium et 5% d'acide sulfurique. Cette solution permet de stabiliser le mercure.
- Prélever des quantités aliquotes de 100 à 1 000 µl de cette solution et les traiter comme les solutions de désorption.
- Analyser les solutions et tracer la droite d'étalonnage : densité optique en fonction de la quantité de mercure présente dans la solution (en µg).

DOSAGE

- Diluer une quantité aliquote de la solution de désorption dans un volume d'eau connu (en général de l'ordre de 100 ml).
- Ajouter ensuite dans l'ordre 5 gouttes de KMnO_4 saturé, 5 ml HNO_3 (1 + 1), 5 ml H_2SO_4 (1 + 1), 5 ml NH_2OH , HCl 1,5 % puis, quand la solution est décolorée, 5 ml SnCl_2 10 %.
- Boucher rapidement le flacon, le mercure libéré est entraîné vers la cellule de l'analyseur.
- Analyser de la même façon les solutions de désorption des tubes servant de témoins.
- Si la quantité de mercure dépasse la valeur du point haut de l'étalonnage (environ 1 µg), diminuer la prise d'essai. Si la concentration de mercure est très élevée (plusieurs dizaines de microgrammes), effectuer une deuxième désorption du tube, et analyser la solution obtenue. Ajouter le résultat de cette analyse à celui trouvé lors de la première désorption.

6/6

MÉTROPOL
MERCURE

Fiche 024

Mise à jour 17/07/00

Remarque :

Possibilité de remplacer la solution de chlorure stanneux par une solution de borohydrure de sodium réalisée en milieu basique (par exemple : 0,3 % NaBH_4 ; 0,5 % NaOH). Cette solution est stable une semaine à environ 5 °C.

EXPRESSION DES RÉSULTATS

La quantité (m) de mercure présente dans les échantillons est lue sur la courbe d'étalonnage.

La concentration de mercure dans l'air prélevé est donnée par :

$$C \text{ (mg/m}^3\text{)} = \left(\frac{m_1}{v_1} - \frac{m_2}{v_2} \right) \times \frac{V}{V}$$

avec : m_1 (μg) : quantité de mercure contenu dans le flacon correspondant au tube prélevé

m_2 (μg) : quantité de mercure contenu dans le flacon correspondant au tube servant de témoin

v (ml) : volume de la fiole utilisée lors de la désorption des tubes

v_1 (ml) : volume de la fraction aliquote d'échantillon

v_2 (ml) : volume de la fraction aliquote du témoin

\check{V} (l) : volume d'air prélevé

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le mercure. Prévention de l'hydrargyrisme. ED 546. Paris, INRS, 2003.
- [2] A. PELTIER. Contrôle de risque d'hydrargyrisme. Prélèvement et dosage du mercure organique. NS 18. Paris, INRS, 1979, 22 p.
- [3] A. PELTIER, M. DEMANGE. Méthode de prélèvement et de dosage de vapeurs de mercure et de mercure urinaire. Cahiers de notes documentaires, 1977, 89, ND 1077, pp. 419-426.
- [4] Fiches toxicologiques, Paris, INRS.

7/6	MÉTROPOL MERCURE	Fiche 024 Mise à jour 17/07/00
-----	---------------------	-----------------------------------

ANNEXE 2

EXTENSION DE LA MÉTHODE AU DOSAGE DU MERCURE DANS LES URINES

Le dosage du mercure dans les urines est un moyen simple qui peut fournir d'excellents renseignements pour la détection de l'hydrargyrisme.

La méthode d'absorption atomique sans flamme par déplacement de la vapeur froide peut être facilement adaptée à ce dosage.

1. Prélèvement

Afin d'éviter toute perte de mercure et d'assurer une bonne conservation de l'urine entre le moment du prélèvement et le dosage, il faut y ajouter un oxydant fort. Les urines sont prélevées sur persulfate de potassium à raison de 100 mg/100 ml d'urine. De cette même façon, le mercure urinaire reste ou passe à l'état ionique.

1.1. Matériel de prélèvements

- Flacons de polyéthylène (125 ml) préalablement lavés à l'acide nitrique, rincés à l'eau distillée et séchés.
- Persulfate de potassium : 125 mg/flacon.

1.2. Conservation des échantillons

Après essais au laboratoire, le délai de conservation des flacons d'urine au réfrigérateur à + 4 °C peut atteindre 1 mois sans qu'il y ait perte de mercure.

2. Analyse

Dans le flacon à réaction de l'analyseur, on complète à 100 ml une fraction aliquote V_1 (ml) de l'urine à analyser. Ajouter dans l'ordre KMnO_4 , H_2SO_4 et HMO_3 , attendre 20 minutes et rajouter du permanganate si le mélange se décolore.

L'excès de permanganate est alors réduit par le chlorure stanneux SnCl_2 , refermer le flacon aussitôt. Lire sur le galvanomètre la quantité de mercure m_1 (μg) contenue dans la fraction aliquote et les réactifs. Faire simultanément un blanc des réactifs et déduire la quantité de mercure m_2 qui les contamine :

$$C = \frac{(m_1 - m_2) \times 1\,000}{v_1}$$

C : concentration de l'urine en mercure totale en $\mu\text{g/l}$
 m_1 : quantité de mercure en μg contenue dans l'aliquote
 m_2 : quantité de mercure contenue dans les réactifs
 v_1 : volume de la fraction aliquote.

L'analyse d'urines étalons à valeur certifiée en mercure est à mener parallèlement à titre de contrôle.

Remarque : pour être rigoureuse, la détermination de la concentration en mercure urinaire devrait tenir compte de la densité urinaire.

On peut aussi l'exprimer en fonction de la créatinine urinaire (métabolite éliminé de façon relativement stable pour un individu normal et qui est fonction de son poids, de sa taille, de sa surface corporelle...).

Après dosage de la créatinine urinaire (valeurs normales de 1,50 à 2,50 g/l) (méthode colorimétrique), les concentrations urinaires en mercure seront exprimées en fonction de la concentration en créatinine endogène (résultat exprimé en μg de mercure/gramme de créatinine).

Les laboratoires susceptibles d'effectuer ces dosages peuvent être retrouvés dans le document Biotox [14].

ANNEXE 3

MERCURE SUR TUBES HYDRAR®

Substances mesurables

Nom	Formule brute	Masse molaire	N° CAS	VME (mg/m ³) en Hg
Mercure	Hg	200,59	7439-97-6	0,05
Mercure (composés arylés et inorganiques)	–	–	–	0,1

Domaine d'application

Cette méthode permet de prélever et de déterminer le mercure sous forme de vapeur et de composés particuliers (domaine de concentration entre 0,03 et 36 µg de mercure (Hg) par tube pour les tubes contenant 200 mg d'Hydrar®). Elle ne permet pas de prélever quantitativement les composés organiques gazeux du mercure : dans ce cas utiliser la méthode sur tubes de charbon actif (cf. fiche 24 « Mercure sur tubes de charbon actif »).

Principe

Les vapeurs de mercure sont piégées par adsorption sur de l'Hopcalite (mélange d'oxydes de manganèse et de cuivre) déposée sur un support de céramique (Hydrar® ou Anasorb C 300®). Les particules contenant du mercure sont collectées sur le tampon de laine de verre placé en amont du support adsorbant ou dans une cassette équipée d'un filtre en fibre de quartz placée en amont du tube. Pour l'analyse, l'Hopcalite et/ou les particules collectées sont solubilisées à froid en milieu oxydant acide. Le mercure (Hg²⁺) obtenu est analysé par spectrométrie d'absorption (ou de fluorescence atomique) de la vapeur froide.

Les résultats de l'analyse de mercure et de composés inorganiques du mercure obtenus par cette méthode ont été démontrés équivalents à ceux obtenus après prélèvement sur charbon actif et désorption thermique (cf. fiche 24 « Mercure sur tubes de charbon actif »).



MÉTROPOL
MERCURE SUR TUBES HYDRAR®

Fiche 079
Création 28/02/03

PRÉLÈVEMENT

Échantillonneur

Tube de prélèvement :

- tube type NIOSH, longueur 110 mm, Ø intérieur 6 mm, contenant une plage de 500 mg d'Hydrar[®] (SKC réf. 226-17-3A),
- tube type NIOSH, longueur 70 mm, Ø intérieur 4 mm, contenant une plage de 200 mg d'Hydrar[®] (SKC réf. 226-17-1A).

Remarque :

Les tubes contenant 500 mg d'Hydrar[®] peuvent être précédés d'une cassette 37 mm équipée d'un filtre en fibre de quartz si la recherche des composés particulaires du mercure est souhaitée, si un prélèvement simultané des autres composés métalliques est envisagé (cf. fiche 003 « Métaux – Métalloïdes »), les prélèvements ont lieu dans une atmosphère très empoussiérée risquant de colmater la laine de verre.

Conditions usuelles d'utilisation

- Tubes 500 mg : 1 ou 2 l/min, volume recommandé : de 60 à 480 l. Utiliser le débit requis pour le prélèvement de la fraction inhalable en cas de prélèvement simultané sur filtre des composés particulaires. (cf. fiche H2 « Échantillonnage individuel de la fraction inhalable d'un aérosol par "cassette fermée" »).
- Tubes 200 mg : de 0,15 à 0,25 l/min, volume recommandé : de 3 à 100 l. Pour une comparaison à la VLE, prélèvement de 15 minutes maximum avec les tubes contenant 500 mg d'Hydrar[®] uniquement.

Précautions particulières

Éviter le stockage des tubes prélevés à proximité de toute source potentielle de mercure.

2/8

MÉTROPOL
MERCURE SUR TUBES HYDRAR[®]

Fiche 079

Création 28/02/03

ANALYSE

Méthode

Le dosage est réalisé par absorption atomique sans flamme par déplacement de vapeur froide.

Remarque :

Le dosage peut être effectué par analyse directe de la solution en spectrométrie d'émission à plasma (ICP), mais avec une sensibilité réduite.

Mise en solution

La mise en solution du mercure prélevé sur les tubes est effectuée par dissolution de l'Hydrar[®] dans un mélange d'acides (HNO₃ et HCl). La mise en solution du mercure prélevé sur les filtres est effectuée par dissolution dans un mélange d'acides (HNO₃ et HCl).

Étalonnage

Réalisé à partir d'une solution de mercure à 1 g/l.

MATÉRIEL DE PRÉLÈVEMENT

- Pompe de prélèvement capable d'assurer un débit régulé de 0,05 à 0,25 ou de 0,5 à 2,5 l/min ($\pm 5\%$).
- Tube de prélèvement :
 - tube type NIOSH, longueur 110 mm, Ø intérieur 6 mm, contenant une plage de 500 mg d'Hydrar[®], éventuellement précédé d'une cassette porte-filtre, Ø 37 mm contenant un filtre en fibre de quartz, reliée au tube contenant 500 mg d'Hydrar[®] par une longueur minimale de tuyau inerte (Tygon ou PTFE),
 - ou
 - tube type NIOSH, longueur 70 mm, Ø intérieur 4 mm, contenant une plage de 200 mg d'Hydrar[®].
- Tuyau souple de connexion pompe-échantillonneur.
- Débitmètre.

3/8	MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR [®]	Fiche 079 Création 28/02/03
-----	---	--------------------------------

MATÉRIEL ANALYTIQUE

- Pipettes automatiques à embout jetable.
 - Tubes gradués.
 - Fioles jaugées.
 - Tampons de cellulose, #cassettes 37 mm et matériel de filtration sous vide,
- ou
- Centrifugeuse de laboratoire.
- Barboteur 250 ml à disque fritté Ø 30 mm,
- ou
- Kit d'analyse d'hydrures et de mercure en continu ou en discontinu.
- Système d'absorption ou de fluorescence atomique sans flamme avec lampe à vapeur de mercure et cellule à fenêtres en quartz. Détection à 253,7 nm.
 - Gants et lunettes de protection.

RÉACTIFS ET GAZ (qualité analytique)

- Acide nitrique (HNO_3) environ 70 %, qualité « pour analyse du mercure ».
- Acide chlorhydrique (HCl) environ 36 %.

Et en l'absence d'un kit d'analyse d'hydrures et de mercure :

- Bouteille d'azote munie d'un manodétendeur,
- Chlorure stanneux (SnCl_2),

ou

- Borohydrure de sodium (NaBH_4),
- Hydroxyde de sodium (NaOH).
- Solution étalon de mercure à 1 g/l.
- Eau déionisée.

PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES

L'ouverture des tubes tant sur site au moment du prélèvement qu'au laboratoire doit être effectuée avec du matériel approprié pour éviter les risques de coupure (coupe-tube destiné à cet effet). En l'absence de ce dispositif la pointe scellée des tubes peut être cassée sur le rebord interne d'un flacon à col étroit qui servira en outre à recueillir les débris de verre. Le personnel sera équipé de gants de caoutchouc ou d'un morceau de tissu épais pendant cette opération.

4/8	MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR®	Fiche 079 Création 28/02/03
-----	---------------------------------------	--------------------------------

TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

TRAITEMENT DES TUBES

- Transférer quantitativement l'Hydrar® et les tampons de laine de verre dans un tube gradué après avoir écarté le clip métallique.
- Ajouter dans l'ordre 2 ml d'HNO₃ (concentré) puis 2 ml d'HCl (concentré).
- Boucher le tube et l'incliner de façon à inclure dans la solution toutes les particules adhérant aux parois.
- Laisser reposer pendant 1 h à température ambiante.
- Ouvrir le tube avec précaution, et jauger (par exemple à 25 ml). Reboucher; homogénéiser.
- Centrifuger la solution ou filtrer sous vide sur tampon de cellulose, dans une cassette 37 mm vierge par exemple, pour éliminer le support céramique en suspension.
- Traiter de la même façon les 3 tubes témoins.

TRAITEMENT DES FILTRES

Si le mercure seul doit être analysé dans l'aérosol prélevé :

- Après avoir vérifié le serrage des différents éléments de la cassette et la présence du bouchon inférieur, introduire dans l'ordre par l'orifice supérieur; à l'aide d'une pipette automatique à embout jetable, 2 ml d'HNO₃ (concentré) puis 2 ml d'HCl (concentré).
- Soumettre à l'agitation ultrasonique pendant 10 minutes, en retournant la cassette après 5 minutes.
- Retourner la cassette, ôter le bouchon puis adapter à l'orifice (S) un tuyau en plastique rigide selon le schéma 1 (cf. Annexe 1). Retourner alors ce dispositif sur un tube ou un pilulier placé dans une fiole à vide selon le schéma 2 (cf. Annexe 1).
- Ôter alors le bouchon (E) et faire couler la solution dans le pilulier en appliquant un vide léger. On peut aussi faire couler le filtrat dans le tube ou le pilulier en appliquant une légère surpression au sommet de la cassette.
- Rincer le filtre à l'eau déionisée et jauger la solution obtenue. Volume final = v (par exemple v = 25 ml). Reboucher; homogénéiser.

5/8	MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR®	Fiche 079 Création 28/02/03
-----	---------------------------------------	--------------------------------

Remarque :

Si l'on souhaite analyser également les autres éléments présents dans l'aérosol on peut :

- soit appliquer la méthode Métropol 003 sur le filtre et les particules restés dans la cassette (cf. fiche 003 « Métaux – Métalloïdes ») et analyser les 2 solutions obtenues,
- soit utiliser cette méthode et analyser directement la solution en spectrométrie d'émission à plasma (ICP) (dans ce cas la sensibilité sera réduite).

ÉTALONS

PRÉPARATION DES SOLUTIONS ÉTALON

- Préparer un « double-blanc tube » selon le protocole décrit ci-dessus, mais en versant le contenu de 2 tubes Hydrar® vierges, 4 ml d' HNO_3 et 4 ml d' HCl dans le tube gradué. Jauger au même volume final v (par exemple à 25 ml).
- Préparer un « double-blanc filtre » selon le protocole décrit ci-dessus, en mettant 2 filtres vierges dans la cassette avant l'attaque par 4 ml d' HNO_3 et 4 ml d' HCl . Filtrer dans le tube gradué à travers les filtres et jauger au même volume final v que celui retenu pour les filtres (par exemple 25 ml).
- Les solutions étalon sont préparées à partir d'une ou deux solution(s) mère(s) à 1 g/l. Si on souhaite utiliser une ou des dilution(s) intermédiaire(s), préparer plusieurs solutions indépendantes, de façon à pouvoir repérer une éventuelle erreur de dilution. Les étalons sont préparés dans chaque matrice par dilution volume à volume de « double étalon » avec du « double blanc » (double étalon : solution aqueuse de concentration double de celle souhaitée dans l'étalon final).

6/8

MÉTROPOL
MERCURE SUR TUBES HYDRAR®

Fiche 079

Création 28/02/03

CONCENTRATIONS DES SOLUTIONS ÉTALON

- Lors de l'analyse de quantités discrètes de mercure à l'aide du dispositif décrit ci-après, les aliquotes des solutions étalon utilisées pour l'étalonnage pourront contenir 0 µg, 0,2 µg, 0,4 µg, 0,6 µg, 0,8 µg et 1 µg de mercure, soit par exemple 40, 80, 120, 160 et 200 µg/l pour des aliquotes de 5 ml.
- Lors de l'analyse à l'aide du kit hydrure d'un spectromètre d'absorption atomique ou d'un analyseur de mercure à fluorescence atomique (utilisant soit une aspiration continue de la solution soit une injection de quantités discrètes dans un flux de solution à blanc (FIA)), les solutions étalon pourront avoir pour concentrations 0 µg/l, 20 µg/l, 40 µg/l, 60 µg/l, 80 µg/l et 100 µg/l (à adapter en fonction de la sensibilité et de la gamme de linéarité de l'appareillage utilisé).

Remarque :

Les solutions étalon utilisées pour l'analyse des filtres ne contenant aucun conservateur, elles doivent être préparées juste au moment de l'analyse.

ANALYSE

PRÉPARATION DES RÉACTIFS

Tous les réactifs sont préparés extemporanément et ne peuvent se conserver, l'atmosphère étant source de pollution.

- Solution de chlorure stanneux à environ 10 % dans une solution aqueuse d'acide chlorhydrique à 5 % (solubiliser d'abord le chlorure stanneux dans HCl et compléter avec de l'eau). Purifier cette solution par barbotage d'azote jusqu'à ce que le mercure contenu soit totalement éliminé ;

ou

- Solution de borohydrure de sodium en milieu basique (par exemple : 0,3 % NaBH_4 ; 0,5 % NaOH). Voir instructions du constructeur du kit hydrure. Cette solution est stable une semaine à environ 5 °C.

7/8	MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR®	Fiche 079 Création 28/02/03
-----	---------------------------------------	--------------------------------

PRÉPARATION DE L'APPAREIL POUR L'ANALYSE

- Mettre l'analyseur en service.
- Allumer la lampe à vapeur de mercure et la laisser se stabiliser.
- Régler éventuellement la longueur d'onde de mesure à 253,7 nm.
- Régler le débit d'azote dans la cellule de mesure à 1 l/min.
- Régler la réponse de l'appareil de mesure (0 % et 100 % de transmission de la lumière ou auto-zéro en l'absence de signal pour un spectromètre d'absorption atomique).

ÉTALONNAGE

Analyser les solutions étalon comme décrit ci-dessous et tracer la droite d'étalonnage densité optique en fonction de la quantité de mercure présente dans la solution (en μg si l'on utilise la méthode simple avec utilisation de barboteurs pour la génération de quantités discrètes de mercure ou en $\mu\text{g/l}$ pour une méthode continue ou la FIA).

Le manganèse et le cuivre ainsi que les acides contenus dans les solutions peuvent influencer sur la pente de la droite d'étalonnage. Il est donc important d'utiliser pour chaque type de support (tubes 200 ou 500 mg et filtres) la courbe d'étalonnage appropriée (contenant la même matrice).

DOSAGE

Seule la méthode simple avec utilisation de barboteurs pour la génération de quantités discrètes de mercure est décrite ci-après.

Remarque :

Pour l'utilisation d'un « kit hydrure », se reporter aux instructions du constructeur. Dans ce cas, réserver un jeu de verrerie au dosage du mercure, surtout si le réducteur utilisé est le chlorure stanneux.

- Dans un barboteur, diluer une quantité aliquote (5 ml par exemple) de la solution à analyser dans un volume d'eau connu (en général de l'ordre de 100 ml).
- Ajouter ensuite doucement, le long de la paroi et sans agiter 5 ml de SnCl_2 10 %.

8/8	MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR®	Fiche 079 Création 28/02/03
-----	---------------------------------------	--------------------------------

- Boucher rapidement le barboteur, placer sous courant d'azote et homogénéiser la solution. Le mercure libéré est entraîné vers la cellule de l'analyseur.
- Enregistrer le signal d'absorption ou de fluorescence.
- Analyser de la même façon les solutions des tubes ou filtres servant de témoins.
- Si la quantité de mercure dépasse la valeur du point haut de l'étalonnage (environ 1 µg), diminuer la prise d'essai.

EXPRESSION DES RÉSULTATS

La quantité (m) de mercure présente dans les échantillons est lue sur la courbe d'étalonnage.

La concentration de mercure dans l'air prélevé est donnée par :

$$C \text{ (mg/m}^3\text{)} = \left(\frac{m_1}{v_1} - \frac{m_2}{v_2} \right) \times \frac{v}{V}$$

avec : m_1 (µg) : quantité de mercure contenu dans le flacon correspondant au tube prélevé

m_2 (µg) : quantité de mercure contenu dans le flacon correspondant au tube servant de témoin

v (ml) : volume de la fiole utilisée lors de la mise en solution de l'adsorbant ou des tubes

v_1 (ml) : volume de la fraction aliquote d'échantillon

v_2 (ml) : volume de la fraction aliquote du témoin

V (l) : volume d'air prélevé

Quand le mercure particulaire a été analysé séparément, le même calcul doit être fait pour les deux solutions et les résultats additionnés s'il convient (comparaison à la valeur limite du mercure total par exemple).

9/8	MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR®	Fiche 079 Création 28/02/03
-----	--	---------------------------------------

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Mercury vapor in workplace atmospheres. Method ID 140. OSHA. Analytical Methods Manual. Part 2. Inorganic Substances, 1991.
- [2] OSHA : Backup report No. ID-140 – Evaluation of a solid sorbent passive dosimeter for collecting mercury vapor, 1989.
- [3] Particulate mercury in workplace atmospheres. Method ID-145. OSHA. Analytical Methods Manual- Part 2. Inorganic Substances. 1991.
- [4] Cee R.J., Ku J.C., Zimowski S.L., Edwards S.L. and Septon J.C. An evaluation of mercury vapour sampling devices, Proceedings of the Mercury in Mining Conference, US Department of Labor (USDOL) Mine Safety and Health Administration (MSHA), Nevada State Division of Mine Inspection and Nevada Mining Association, Winnemucca, NV, USA, 1987.
- [5] Mercury. Method 6009. NIOSH – NIOSH Manual of Analytical Method. 1994.
- [6] ISO CD/17733 « Workplace air – Determination of mercury and inorganic mercury compounds. Method by cold vapour atomic absorption spectrometry or atomic fluorescence spectrometry » (projet de norme).
- [7] Le mercure. Prévention de l'hydrargyrisme. ED 546. Paris, INRS, 2003.

10/8	MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR®	Fiche 079 Création 28/02/03
------	---------------------------------------	--------------------------------

Annexe I. - *Montages réalisés pour le traitement des filtres avant dosage*

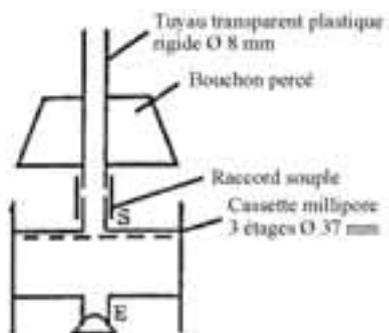


Schéma 1

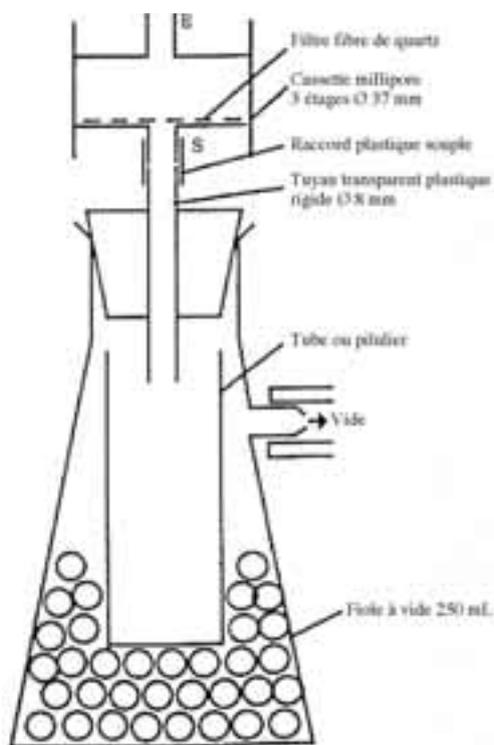


Schéma 2

11/8	<p>MÉTROPOL MERCURE SUR TUBES HYDRAR®</p>	<p>Fiche 079 Création 28/02/03</p>
------	---	--

ANNEXE 4

PRINCIPAUX TEXTES RELATIFS À LA PRÉVENTION DE L'HYDRARGYRISME

Code du travail, article R. 234-9 : Partie réglementaire – Livre II.

Il est interdit d'occuper les femmes à l'emploi du mercure et de ses composés (dans l'industrie de la couperie de poils notamment) et de les admettre de manière habituelle dans les locaux affectés à ces travaux.

Code du travail, article R. 234-20.

Il est interdit d'employer de jeunes travailleurs de moins de 18 ans à des postes où l'on utilise le mercure et ses composés ainsi que de les admettre de façon habituelle dans les locaux affectés à ces travaux.

Arrêté du 11 juillet 1977 abrogeant les arrêtés du 22 juin 1970 et du 20 novembre 1974.

Nécessité d'établir une surveillance médicale spéciale du personnel (1 heure par mois pour 10 salariés) effectuant de façon habituelle des travaux comportant la préparation, l'emploi, la manipulation ou l'exposition au mercure et à ses composés.

Arrêté du 23 juillet 1947 (modifié par l'arrêté du 1^{er} février 1950 et du 15 octobre 1951).

Les chefs d'établissement où le personnel est soumis à des travaux salissants (manipulations du mercure et de ses composés notamment) sont tenus de mettre à sa disposition des douches et vestiaires corrects.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Risque d'hydrargyrisme dans les thermomètres. *Travail et sécurité*, juillet-août 1977, p. 348.
- [2] « La pollution par le mercure et ses dérivés ». Monographies scientifiques sur les polluants chimiques. Collection « Environnement » n° 27, Paris, La Documentation française, 1973, 71 pages.
- [3] Pascal P. Nouveau traité de chimie minérale. Tome V, p. 494-510. Paris, Masson et Cie Édition, 1962.
- [4] Garnier Robert, Mercure in Bismuth Chantal et coll. Toxicologie clinique, Flammarion Médecine-Sciences, 2000, 5^e édition, pp. 614-623.
- [5] Règlement de sécurité et d'hygiène lors du travail sur les dispositifs à mercure dans les groupes convertisseurs et des ateliers auxiliaires des groupes convertisseurs. Prague, Oborova norma OPE 34 3689 (extraits). Traduction INRS, 80 B 71.
- [6] Décontamination du mercure répandu. INRS, Note documentaire n° 1116-91-78.
- [7] Picot A., Grenouillet P. La sécurité en laboratoire de chimie et de biochimie. 2^e éd., p. 243-7. Technique et documentation, Paris.
- [8] Neutralisation du mercure répandu. *Arbeitsschutz*, 1961, n° 12, p. 323. Traduction INRS, 40 A 64.
- [9] Bertin J., Rey G. Récupération du mercure dans les rejets de laboratoire. Note technique Solmer, service analyse des produits.
- [10] Méthode de prélèvement et de dosage de vapeurs de mercure et de mercure urinaire. INRS, Note documentaire n° 1077-89-77.
- [11] Risk reduction monograph n° 4 : Mercury. OCDE – Environment directorate. Organisation for economic cooperation and development. Paris, 1994. Monograph series n° 103.
- [12] Fiche toxicologique INRS n° 55, édition 1992. Mercure et composés minéraux, 6 pages.
- [14] Biotox. Inventaire des laboratoires effectuant des dosages biologiques de toxiques industriels, ED 791, 2002.

