

Evaluation du risque hydrargyrique dans la fabrication des enseignes lumineuses

A. DELEPINE (*)

Une enquête a été réalisée dans des entreprises de fabrication d'enseignes lumineuses en Bretagne pour évaluer l'exposition et l'imprégnation au mercure des soufleurs de verre néoniste. Dans ce procédé, le mercure est utilisé en petite quantité : environ deux kilos par an et par entreprise. Le service Prévention de la Caisse régionale d'assurance maladie a permis de pratiquer ce bilan en mettant à disposition le matériel de prélèvement et en effectuant les analyses atmosphériques.

Cette profession expose, par ailleurs, au risque de brûlures par chalumeaux et d'électrocution par utilisation de courants à 20 000 volts.

ELEMENTS TOXICOLOGIQUES

Cycle du mercure

Le mercure (Hg) est un métal blanc argenté, liquide à température ordinaire, qui émet des vapeurs toxiques dès la température ambiante. En milieu professionnel, la voie pulmonaire est la principale voie d'absorption du mercure métallique, l'absorption digestive restant négligeable. La voie transcutanée est possible mais rare, surtout consécutive à des bris de thermomètre.

Le mercure circule, sous forme métallique, dans le compartiment sanguin, surtout fixé aux hématies (98 %), avec une décroissance rapide du rapport érythroplasmatique [1].

Inhalé sous forme de vapeur, le mercure métallique s'accumule dans le cerveau et se fixe au niveau des reins, où il induit la synthèse de métallothionéine.

La principale voie d'élimination est la voie digestive. Il existe également une élimination urinaire par sécrétion tubulaire ; une élimination possible du mercure par voie placentaire a été signalée avec des taux identiques chez la mère et le fœtus.

Mécanisme d'action

Les effets toxiques de toutes les formes de mercure inorganique sont liés à la transformation de mercure métallique en ions divalents Hg^{++} par une catalase aussi bien dans les globules rouges que dans les différents tissus de stockage. Ces ions ne seraient pas capables de passer les barrières hémoméningée et placentaire, ce qui expliquerait le stockage important dans le cerveau [2].

L'ion mercurique, ayant une grande affinité pour les groupements thiols, interfère avec l'activité de nombreuses enzymes contenant ces groupements, les lipoprotéines de membrane, les acides désoxyribonucléiques, le système immunitaire et l'induction de la métallothionéine.

Intoxication chronique

L'hydrargyrisme chronique comprend essentiellement des signes digestifs, nerveux et rarement des signes rénaux et cutanés.

L'atteinte digestive se manifeste par une stomatite, une gingivite, une hypertrophie des ganglions salivaires avec, au maximum, une perte des dents.

L'atteinte neurologique est aussi bien centrale, avec principalement un tremblement typiquement cérébelleux, que

(*) Assistante hospitalo-universitaire, service du Professeur CURTES, IUMT, Rennes.

périphérique, avec une polynévrite sensitivo-motrice. Ces signes, notamment le tremblement, sont caractéristiques de l'imprégnation mercurielle, mais ne semblent pas survenir pour des expositions atmosphériques inférieures à 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de mercure.

Pour sa part, LAUWERYS observe un trémor infraclinique pour des sujets exposés chroniquement et excrétaient plus de 50 μg de mercure par g de créatinine [3]. Ces données démontrent l'intérêt d'une évaluation concomitante des concentrations atmosphériques de mercure dans les ateliers et des mesurages biologiques.

Les signes rénaux sont essentiellement une tubulopathie, voire une glomérulopathie avec protéinurie pouvant conduire au syndrome néphrotique.

SURVEILLANCE DES SALARIES

La surveillance des salariés exposés se fait :

- par la surveillance atmosphérique grâce à des mesurages des vapeurs de mercure dans l'air (prélèvements d'ambiance sur poste fixe ou prélèvements individuels) ;
- par la mesure de l'imprégnation, de deux façons : dosage de mercure élémentaire dans les milieux biologiques ou mesure des effets biologiques.

Le mercure peut être dosé dans le sang, les urines, les cheveux, la salive ou les tissus après biopsie. Les urines sont le plus facile à recueillir en milieu de travail, mais le dosage du mercure urinaire présente plusieurs inconvénients :

- nombreuses variations intra- et interindividuelles,
- reflet de l'exposition récente et non ancienne,
- absence de corrélation entre les taux urinaires de mercure et les signes cliniques d'hydragryisme,
- modification de l'excrétion rénale de mercure par toute altération de la fonction rénale, quelle qu'en soit la cause.

On peut par ailleurs évaluer les effets d'une imprégnation mercurielle par la mesure de certains marqueurs urinaires comme la β_2 -microglobuline, la protéine porteuse du rétinol, l'albumine ou l'enzymurie ou de protéines sanguines comme la métallothionéine, ou d'activités enzymatiques (galactosidase, catalase plasmatique ou cholinestérase globulaire) [4, 5].

Valeurs limites recommandées

Dans l'air

Aux Etats-unis, l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) propose une TLV (threshold limit value = valeur seuil) de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Un groupe d'experts de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) souhaiterait voir cette valeur abaissée à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En France, une valeur limite de moyenne d'exposition indicative (VME) a été fixée par le ministère du Travail à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les vapeurs de mercure (circulaire du ministère du Travail du 13 mai 1987, non parue au J.O.).

Dans les urines

En Allemagne, la DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) propose une valeur limite tolérée (BAT ou Biologische Arbeitsstoff Toleranzwerte) de 0,2 mg/l pour le mercure métallique et ses composés organiques.

Aux Etats-unis, l'ACGIH propose un indice biologique d'exposition (BEI = Biological exposure indices) de 35 $\mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine pour le mercure inorganique total, le prélèvement étant réalisé avant la prise de poste de travail.

L'interprétation des résultats par la plupart des auteurs est la suivante [2, 3] :

< 5 $\mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine : sujet normal,

> 50 $\mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine : signe d'alarme exigeant la révision des mesures de prévention,

> 100 $\mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine : excrétion excessive requérant l'écartement du poste de travail.

ENQUETE CHEZ LES NEONISTES

Le recensement exhaustif des entreprises de soufflage de verre néoniste en Bretagne a permis d'identifier 9 entreprises et 2 centres de formation.

Procédé de fabrication et organisation des ateliers

Le mercure sert à aviver les couleurs des tubes, qui sont préalablement recouverts sur leur face interne de poudre fluorescente. De plus, ce métal facilite la conduction électrique entre les deux électrodes.

Par chauffage au chalumeau, la canne de verre-pyrex est pliée selon le modèle souhaité, la forme du tube étant maintenue par le souffle de l'ouvrier, afin d'éviter que le tube ne se collabe. Les électrodes et le piège à mercure sont ensuite installés à l'une des extrémités du tube. L'ouvrier y introduit une goutte de métal et soude le tube, par l'intermédiaire du piège, à la pompe à vide (ou bâti de pompage). Le vide est alors fait dans le tube et l'air y est remplacé par un mélange argon-néon, adapté à la couleur recherchée. Une fois cette opération effectuée, le tube est désolidarisé de la pompe et la bille de mercure basculée dans le tube afin d'aviver les couleurs. Le piège à mercure est alors enlevé et le tube est vérifié en le laissant allumé plusieurs heures. A noter que lors de ces opérations de pompage et de vérification, le tube monte à une chaleur de près de 400 °C et les électrodes à 800 °C environ.

Les ateliers sont tous organisés selon le même principe : il existe plusieurs tables de soufflage à côté desquelles sont installés les chalumeaux qui permettent de déformer les cannes de verre ; dans un coin de l'atelier est installé le bâti de pompage avec la table de pompage attenante. La bouteille, en verre, pouvant contenir 500 g de mercure est située à côté de la table de pompage. Certaines entreprises récupèrent et stockent les tubes cassés sans les réparer, pratique polluante.

Population et méthodologie de l'enquête

12 salariés, 3 formateurs et 30 élèves (24 qui partagent leur temps entre formation pratique et cours théoriques et 8 en formation à temps complet) ont été recensés.

Dans chaque entreprise, les **prélèvements**, qu'ils soient atmosphériques d'ambiance, individuels ou urinaires ont été effectués le même jour, sans qu'il soit tenu compte du jour de la semaine :

- les **prélèvements à poste fixe** ont été réalisés aux mêmes endroits : sortie de la pompe à vide au niveau du sol, sur la table de pompage et sur une table de soufflage. Ils sont donc au nombre de 3 pour chaque entreprise, sauf pour un

centre de formation où il y en a eu 5 en raison de la taille de l'atelier. Chaque prélèvement a duré 3 heures ;

– chaque salarié a bénéficié d'un à deux *prélèvements individuels par pompe* de 1 h 30 à 2 h (réalisés en même temps que les prélèvements d'ambiance) ;

– un formateur de chaque centre et 3 élèves par centre de formation ont eu un *prélèvement atmosphérique individuel* de 1 h 30 à 2 h ;

– les *échantillons d'urines* ont été recueillis pour chaque salarié, élève ou formateur en fin de poste. Un flacon en plastique de 30 ml leur était confié et le recueil était effectué en dehors de l'atelier sans précaution particulière (pas d'usage d'antiseptique – mercuriel ou non -, pas de changement de tenue). Chaque flacon contient 100 mg de persulfate de potassium (pour éviter une prolifération bactérienne éventuelle). Le transport s'est effectué en boîte isotherme jusqu'au laboratoire où les flacons ont été congelés à -18°C , après dosage de la créatinine, s'ils n'étaient pas analysés immédiatement.

Les **analyses**, aussi bien atmosphériques qu'urinaires, ont été effectuées par absorption atomique sans flamme selon la méthode préconisée par PELTIER et DEMANGE [6]. Les dosages urinaires ont été ramenés au gramme de créatinine. L'analyse des prélèvements atmosphériques a été réalisée au centre de recherche de l'INRS (Nancy), celle des prélèvements urinaires, ainsi que le dosage de la créatinine urinaire, était effectuée à Rennes dans le laboratoire de toxicologie du Pr ANGER.

Résultats et discussion

Prélèvements d'ambiance

La figure 1 montre les résultats des 35 prélèvements atmosphériques d'ambiance en fonction des ateliers, par rap-

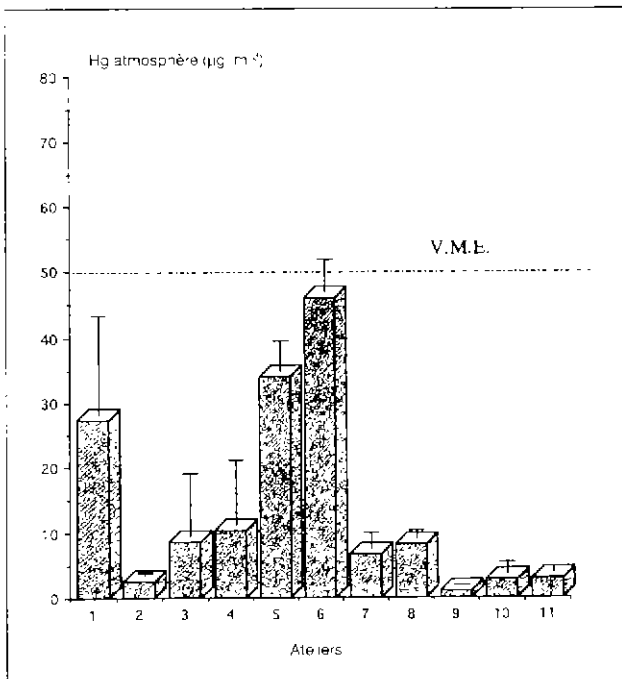


Fig. 1. Résultats des prélèvements atmosphériques d'ambiance en fonction des ateliers (poste fixe, 3 < prélèvements par entreprise < 5)

port à la VME ($50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en vapeurs de mercure), exprimés en moyenne dans les ateliers numérotés de 1 à 9 et moyenne dans les centres de formation (10 et 11).

Les concentrations en vapeurs de mercure sont non nulles dans toutes les entreprises : les ateliers sont de manière générale plus pollués que les centres de formation (notamment les ateliers 1, 5 et 6 mais sans que la VME soit atteinte). Plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

– les centres sont neufs, les surfaces et les sols pourraient être moins « imprégnés » ; ils sont globalement beaucoup plus aérés (même en l'absence de ventilation spécifique) que les ateliers,

– les élèves dans les centres travaillent soit à temps partiel, soit à temps plein. Dans ce dernier cas, l'absence du souci de rentabilité ne fait pas tourner le bâti de pompage à plein régime, comme c'est le cas dans les ateliers, engendrant un risque de pollution moins grand.

Enfin, les disparités interentreprises peuvent s'expliquer par les différences de tailles de celles-ci, les moyens de ventilation et le souci de la propreté qui varient d'une entreprise à l'autre.

Prélèvements individuels

La figure 2 expose les résultats des 26 prélèvements atmosphériques individuels en fonction des ateliers. Là encore, les mesures effectuées dans les ateliers 5 et 6 (sur un salarié dans chaque atelier) rapportent les résultats les plus élevés (respectivement 34 et $61\ \mu\text{g}/\text{m}^3$).

A noter une grande différence entre les résultats des prélèvements individuels des deux centres de formation (10 : $16,6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ et 11 : $1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ qui n'a pas d'explication précise (élèves qui auraient profité des prélèvements pour « s'amuser » avec le mercure ?), ce d'autant que les prélèvements d'ambiance ont donné des résultats homogènes ($2,9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne).

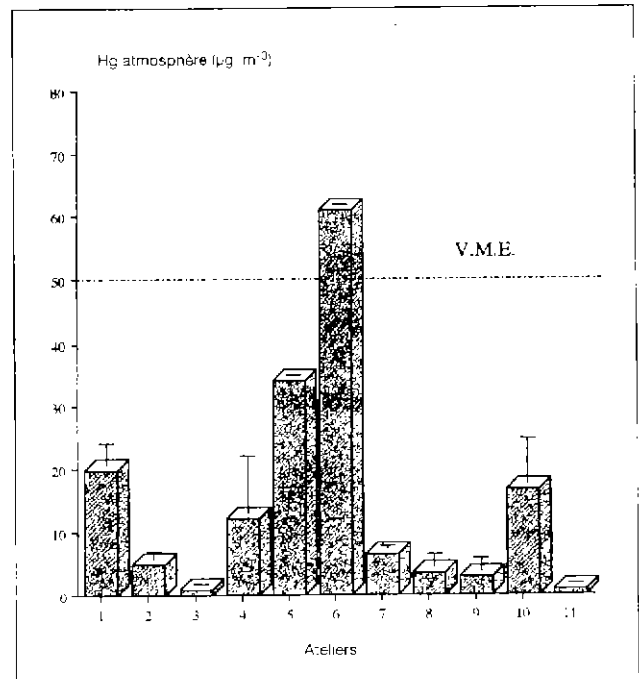


Fig. 2. Résultats des prélèvements atmosphériques individuels en fonction des ateliers (1 < prélèvements par entreprise < 5)

Prélèvements urinaires

Les résultats des concentrations urinaires de mercure (moyennes exprimées en $\mu\text{g/g}$ de créatinine) sont présentés en figure 3 par rapport à la valeur de l'indice biologique d'exposition, soit $35 \mu\text{g/g}$ de créatinine (bien que les prélèvements aient été effectués en fin de poste et que l'indice biologique d'exposition se réfère à un prélèvement en début de poste). Les résultats sont relativement homogènes (toujours inférieurs à $20 \mu\text{g/g}$ de créatinine), hormis dans l'entreprise 6 où la concentration urinaire est très élevée (un seul prélèvement à $84 \mu\text{g/g}$ de créatinine) : une contamination ne peut être exclue.

Corrélations

- Le coefficient de corrélation entre les deux types de prélèvements atmosphériques est bon ($r = 0,918$, fig. 4), ce qui peut s'expliquer par une très bonne homogénéité des résultats dans 9 entreprises sur 11.
- Les résultats sont moins bien corrélés pour les 2 ateliers (1 et 3) où un seul prélèvement individuel a été réalisé ; on peut se demander si les lieux de prélèvements étaient bien représentatifs de l'air ambiant de l'atelier.
- La corrélation entre les taux atmosphériques individuels et les taux urinaires est bonne ($r = 0,898$, fig. 5), ce qui confirme la corrélation bien connue entre le facteur reflétant la quantité de mercure inhalée par le sujet et celui reflétant l'imprégnation du sujet.
- La corrélation entre les taux atmosphériques d'ambiance et les taux urinaires est moins bonne ($r = 0,787$, fig. 6).

Cependant ces différentes corrélations doivent être prises avec beaucoup de réserves : d'une part à cause du faible nombre de prélèvements, d'autre part en raison de l'absence de prise en compte de facteurs intercurrents tels que l'alimentation (poissons, fruits de mer, champignons), la notion de soins dentaires récents et le nombre des amalgames dentaires portés et surtout la quantité d'alcool ingérée.

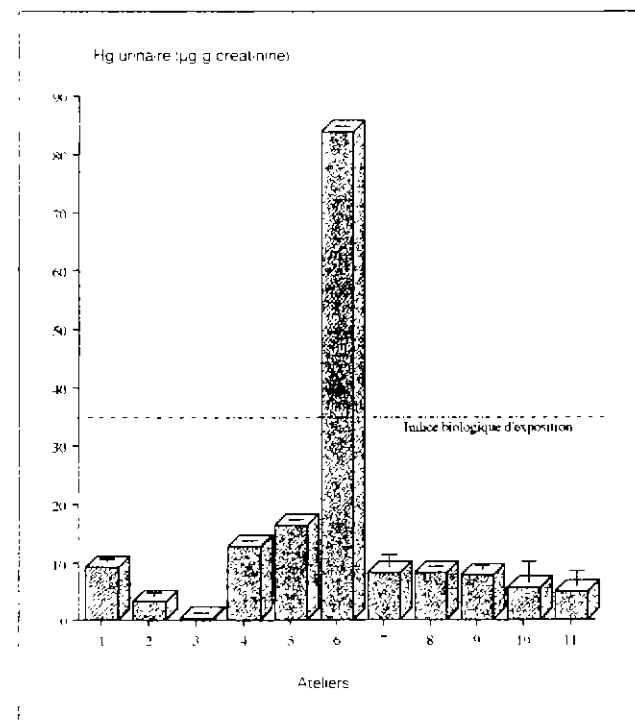


Fig. 3. Résultats des prélèvements urinaires en fonction des ateliers

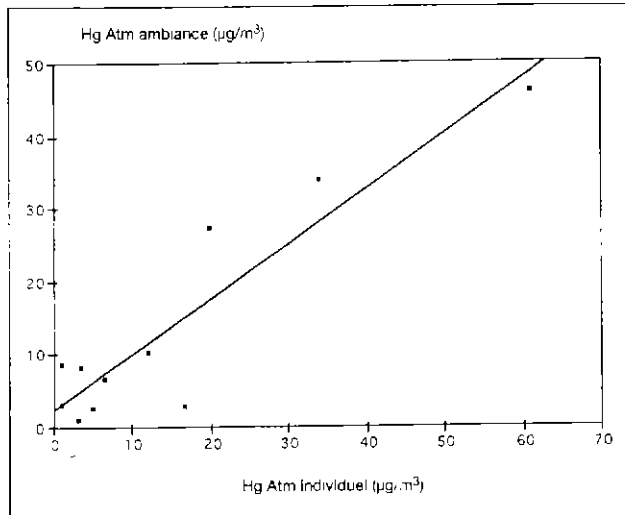


Fig. 4. Corrélation entre taux atmosphériques d'ambiance et taux atmosphériques individuels ($r = 0,918$)

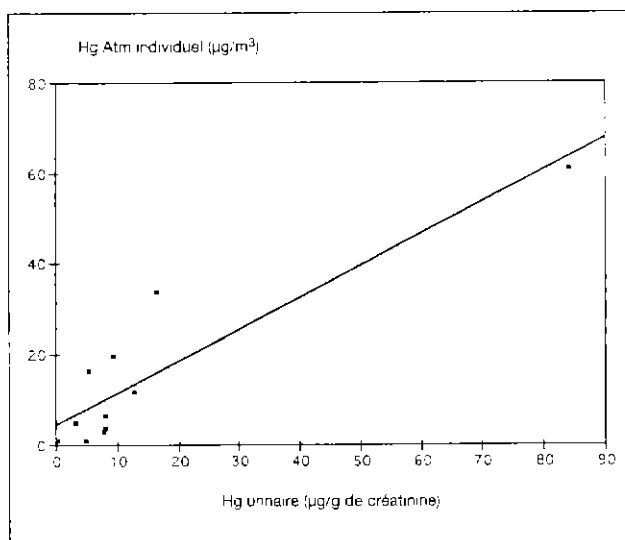


Fig. 5. Corrélation entre taux atmosphériques individuels et taux urinaires ($r = 0,898$)

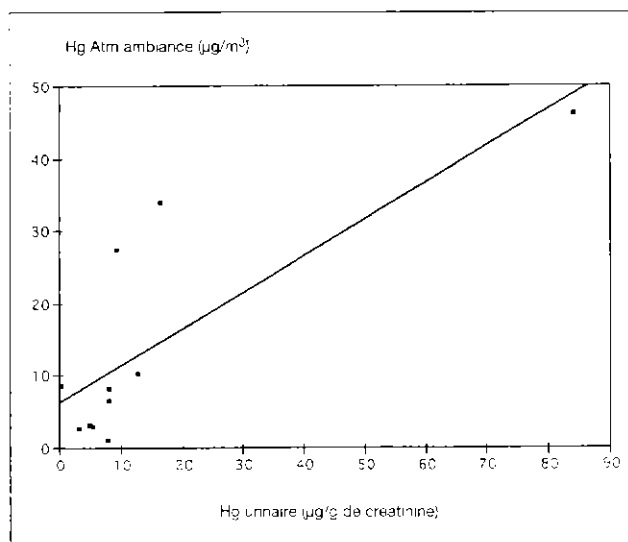


Fig. 6. Corrélation entre taux atmosphériques d'ambiance et taux urinaires ($r = 0,787$)

Le tabagisme a été par contre pris en compte mais seulement pour la population des centres de formation pour laquelle les données étaient complètes : 18 fumeurs et 15 non-fumeurs, répartis de façon homogène entre les deux centres ; la quantité moyenne de cigarettes fumées par jour est de 10. Dans les deux centres, il n'est pas permis de fumer pendant le travail. Dans le centre 10, les pauses se font obligatoirement en dehors de l'atelier alors que dans le centre 11, elles peuvent se faire à l'intérieur de l'atelier. Dans les deux cas, les pauses sont de 1/4 h par demi-journée. Si l'on compare les taux urinaires de mercure entre les fumeurs et les non-fumeurs, on obtient :

- fumeurs : $3,8 \pm 1,6 \mu\text{g Hg/g}$ créatinine.
- non-fumeurs : $7,1 \pm 4,3 \mu\text{g Hg/g}$ créatinine.

Cette différence est significative ($p = 0,006$) et ce résultat est à première vue étonnant, les fumeurs paraissant moins imprégnés que les non-fumeurs.

Peu d'études ont été réalisées sur le sujet. Seul un article de ZANDER [7] fait mention d'une absence de différence entre les taux urinaires de mercure chez les fumeurs et les non-fumeurs, mais les concentrations moyennes globales sont de $0,75 \text{ mg/l}$.

L'imprégnation en mercure a été comparée entre les élèves et les salariés à plein temps :

- imprégnation des élèves : $5,44 \pm 3,5 \mu\text{g/g}$ créatinine,
- imprégnation des salariés : $13,72 \pm 21,5 \mu\text{g/g}$ créatinine.

La différence est significative ($p = 0,035$). Les élèves sont donc moins imprégnés que les salariés alors que paradoxalement la surveillance des conditions de travail en centre de formation est moindre : totalement absente pour le centre 11, celle du centre 10 est effectuée par un médecin scolaire peu informé des risques liés à l'exposition au mercure et des mesures de protection à prendre. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce résultat :

- les centres de formation ont une ventilation mieux adaptée que les ateliers et sont moins « pollués »,
- le temps de présence à proximité des tables de pompage est plus bref,

- l'ancienneté dans la profession est bien évidemment plus courte (on sait que le mercure est un toxique cumulatif),
- les règles simples d'hygiène sont mieux respectées.

CONCLUSION

Malgré la petite taille des échantillons, plusieurs constats ont pu être établis :

- même manipulé en petite quantité, les concentrations atmosphériques de mercure ne sont pas négligeables, ce d'autant que l'atelier est peu ventilé et peu nettoyé (nombreuses billes de mercure sur le sol et sur les tables) ;
- il existe une bonne corrélation entre les taux atmosphériques d'ambiance et les taux atmosphériques individuels, ainsi qu'entre les taux atmosphériques individuels et les taux urinaires de mercure, alors que la corrélation est moins forte entre les taux atmosphériques d'ambiance et les taux urinaires ;
- les élèves sont moins imprégnés que les salariés.

On peut en déduire que l'intensité de l'exposition des salariés peut être correctement évaluée par les mesures simultanées des taux atmosphériques individuels et des taux urinaires de mercure.

Dans l'une de ces entreprises, les taux de mercure aussi bien atmosphériques que urinaires apparaissent nettement plus élevés qu'ailleurs. Il paraîtrait intéressant d'effectuer des mesures complémentaires qui, si elles étaient confirmées, nécessiteraient une intervention d'information, de prévention et d'amélioration des conditions de travail.

L'auteur remercie les médecins qui lui ont facilité l'entrée dans les entreprises ainsi que ces dernières d'avoir accepté de participer à cette étude, A. BRAULT et C. LE TRIONNAIRE de l'avoir initiée aux techniques de prélèvements et de lui avoir fourni le matériel nécessaire, l'INRS Nancy d'avoir effectué les dosages atmosphériques et les Professeurs J.P. CURTES et J.P. ANGER.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BARREGARD L., SÄLLSTEN G. et coll. - Kinetics of mercury in blood and urine after brief occupational exposure. *Archives of Environmental Health*, 1992, 47, 3, pp. 176-184.
- [2] HAGUENOER J.M., FURON D. - Mercure. In : Toxicologie Professionnelle, Tome 1. Paris, Technique et Documentation, 1981. 483 p.
- [3] LAUWERYS R. - Mercure et ses dérivés inorganiques. In : Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, 3^e éd. Paris, Masson. 1990, 693 p.
- [4] VIAU C., LAUWERYS R., BERNARD A. - Le rein et le dépistage précoce des néphropathies en milieu de travail. *Travail et Santé*, 1986, 2, 1, pp. 30-35.
- [5] WALLIS G., BARBER T. - Variability in urinary mercury excretion. *Journal of Occupational Medicine*, 1982, 24, 8, pp. 590-595.
- [6] PELTIER A., DEMANGE M. - Méthode de prélèvement et de dosage de vapeurs de mercure et de mercure urinaire. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1977, 89, pp. 419-426.
- [7] ZANDER D., EWERS U. et coll. - Exposure to mercury in the population. I. Mercury concentrations in the urine of normal subjects, (only abstract). *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin*, 1990, 190, 4, pp. 315-324.