

## Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité

La plupart des régions amazoniennes ont connu dès le début des années 80 une véritable ruée vers l'or, résultat conjugué d'une augmentation du prix de l'or et d'une aggravation d'une situation sociale et économiques précaire. Ainsi, au cours de ces deux dernières décennies les activités d'orpaillages se sont étendues à l'ensemble des régions amazoniennes. Différents types d'exploitations minières se sont développées se distinguant les uns des autres selon leur taille (petite, moyenne et grande) et leur degré de légalité (informelle, légale et illégale).

L'orpaillage est apparu comme une planche de salut pour une grande partie de la population se trouvant en situation de survie. Ainsi, le petit éleveur/cultivateur s'est engagé dans cette activité, poussé par la nécessité impérieuse de nourrir sa famille et payer ses dettes. D'où la multiplication rapide de petites exploitations à caractère artisanal et informel gérées par des orpailleurs néophytes, dépourvus d'expérience et de moyens financiers. Ces derniers ont été inévitablement conduits à employer des procédés très rudimentaires pour extraire l'or de sites déjà exploités par le passé ou encore de sites nouveaux. La méthode d'enrichissement du minerai aurifère par le mercure, en raison de son faible coût, de son efficacité et des facilités opérationnelles qu'elle offre, s'est révélée comme la plus appropriée dans ce contexte socio-économique particulier et s'est imposée un peu partout y compris dans les exploitations de grande tailles (Malm, 1998; Veiga, 1997; Lacerda, 1995).

### 1 - Exposition des groupes à haut risque

Dans le secteur minier artisanal, l'exposition professionnelle provient principalement de l'inhalation de vapeurs de mercure,  $Hg^0$ . Les orpailleurs, les raffineurs et les bijoutiers sont les plus directement touchés. L'importance de l'exposition dépend d'une part des méthodes utilisées pour amalgamer le minerai aurifère, l'enrichir et le purifier, d'autre part des équipements de protection employés et de leur bon usage. D'une façon générale, ils opèrent sans guère se soucier des dangers que représentent les émanations de  $Hg$ .

Les vapeurs de mercure sont également absorbées par la peau, mais en bien moindre proportion. La quantité ainsi pénétrant par voie cutanée est estimée représenter 2,6% de celle provenant de la respiration de l'air contaminé. Une application directe de mercure sur la peau doit causer très probablement des absorptions bien supérieures (Beliles, 1994).

Les populations vivant au voisinage des sources d'émission sont également exposées dans la mesure où elles respirent un air enrichi en vapeurs de mercure (Lacerda, 1995). Approximativement 80% des vapeurs inhalées passent dans l'organisme (IPCS, 1991).

Après inhalation, le  $Hg^0$  absorbé est rapidement transformé dans le sang sous la forme de mercure ionisé,  $Hg^{2+}$ . Il est ensuite véhiculé vers le cerveau et d'autres tissus du système nerveux puis finalement excrété en grande partie dans les urines (Ellenhorn, 1997, IPCS, 1991).

Trois formes d'exposition sont généralement identifiées, selon la durée et l'intensité des émissions : aiguë, chronique et aiguë-chronique. Elles touchent de façon inégale les trois grands groupes socio-démographiques concernés : les orpailleurs dans les sites miniers, les employés des entreprises spécialisées dans la purification de l'or et sa commercialisation (dénommées « casa de ouro » au Brésil, soit « maison d'or »), enfin les populations proches des sources de vapeurs de mercure.

## 1.1 – L'exposition des orpailleurs

Les différentes formes d'orpillage vont de l'usage manuel de la batée par le chercheur d'or individuel à l'emploi de moyens mécanisés dans les moyennes et grandes entreprises (dragues dans les lits de rivière, pelle mécanique en terre ferme). Mais quel que soit le type d'exploitation, l'usage du mercure est identique. Il comprend deux phases bien distinctes. La première phase correspond à l'enrichissement du minerai par formation d'un amalgame or-mercure après adjonction de mercure élémentaire,  $Hg^0$ . La seconde phase comprend l'élimination de l'excédent de mercure (une presse manuel est souvent utilisée à cet effet) puis la purification de l'amalgame formé par un traitement à chaud provoquant la vaporisation de  $Hg^0$  (Veiga, 1997; Lacerda, 1991; De Kom, 1998a).

Les quantités de mercure utilisées et les fractions perdues sont très variables. Elles dépendent de la forme d'extraction du minerai aurifère et des procédés retenus pour l'amalgame et ensuite se débarrasser de son mercure (Veiga, 1997). Les protocoles opérationnels diffèrent selon la taille de l'exploitation (voir l'annexe n° 13). Pour le Brésil, une estimation moyenne des pertes de mercure au cours des phases qui viennent d'être décrites a été faite par Veiga (1997) : 20% sont perdus en fin d'amalgamation, 70% sont volatilisés lors de la destruction de l'amalgame (en absence de retorte) et les 10% restant partent en vapeur lors de l'ultime purification dans la maison de vente de l'or. A ces émissions il faut ajouter les opérations, certes de moindre importance, qui accompagnent toute manipulation de ce métal à température ambiante, en dehors des phases de purification.

L'exposition est maximale chez ceux qui accomplissent des tâches les exposant directement aux émissions des vapeurs de mercure ; elle est plus réduite chez ceux qui se trouvent à proximité de ces sources d'émission. Les ouvriers directement exposés aux vapeurs de mercure lors de la destruction de l'amalgame souffrent d'une seconde exposition qui vient de la manipulation à main nue du mercure au cours des différentes phases de concentration et de purification de l'or.

Dans les grandes entreprises, il existe une différenciation poussée du travail et les ouvriers sont inégalement exposés. Dans une étude réalisée au Surinam sur une population de 77 individus, trois groupes de travailleurs ont été identifiés en fonction de leurs labours : 8 % étant des agents de la logistique (cuisiniers, mécaniciens, gardiens, ...), 18 % des cadres dirigeants (contre-maître, propriétaires et concessionnaires) et 74 % des mineurs. Dans ce dernier groupe sont distingués ceux qui procèdent aux travaux de terrassements à l'aide soit d'engins mécaniques, soit de lances à jet d'eau sous pression, ceux qui débroussaillent les sites, enlevant les pierres et les racines et enfin ceux qui se consacrent à préparer l'amalgame or-mercure et à le brûler (De Kom, 1998b).

Dans le cadre de ces activités minières l'hygiène tient peu de place. Le plus souvent pas la moindre mesure préventive n'est prise pour éviter l'exposition au mercure (De Kom, 1998b) et lorsque des mesures existent, les systèmes de protection sont dans la plupart des cas défectueux et peu efficaces. Ils vont du simple usage de feuilles d'arbre (assurant par la même occasion le recyclage du mercure) à celui de retortes, en passant par à l'emploi de masques à poussière, de mouchoirs, de troncs d'arbre creux, de cylindres surmontés d'une cheminée ou encore du travail à distance. Les retortes qui assurent la meilleure protection et le meilleur recyclage du mercure ne sont pas souvent utilisées (De Kom, 1998b). Cela s'explique parfois par l'ignorance fréquente concernant la toxicité du mercure, mais aussi par le coût d'achat trop élevé de tels équipements pour les petits groupes d'orpailleurs. Cette constatation ne se limite pas au Surinam. Lacerda (1991) observe une situation semblable au Brésil, toujours pour les mêmes raisons.

Les travailleurs passent des périodes très variables sur les sites miniers, allant de quelques semaines à plusieurs mois. Les chantiers sont souvent très proches les uns des autres de sorte que les travailleurs sont exposés aux vapeurs de mercure du proche voisinage. Autre fait aggravant, l'ensemble des travailleurs assistent à l'opération de destruction à chaud de l'amalgame qui représente le fruit de leur labeur. Nombreux sont également ceux qui, en plus de leurs tâches normales, occupent leur temps libre à orpiller à titre individuel, à la recherche de quelques gains supplémentaires (De Kom, 1998 a et b). Bien qu'ils aient différentes fonctions et qu'ils soient inégalement exposés au mercure, tous les travailleurs courent des risques de contamination.

Au Surinam, l'activité minière est avant tout un environnement d'homme, comme d'ailleurs dans d'autres pays d'Amérique du Sud. Toutefois au Brésil il y a des exemples de femmes travaillant dans les sites d'orpillage de taille moyenne. Elles pratiquent la batée pour apporter une aide financière à leur famille mais elles travaillent rarement avec leur partenaires masculins. En Colombie, il est courant de rencontrer des femmes enrichissant du minerai aurifère dans l'arrière-cours de leur maison (Veiga, 1997).

## 1.2 - Raffineurs, acheteurs/vendeurs et joailliers

Les lingots d'or qui viennent des mines sont fondus dans les « maisons d'or » sous la supervision du propriétaire.

### *Jules de Kom*

#### *Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure*

#### *chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité*

Ces opérations sont réalisées dans des pièces plus ou moins confinées, dépourvues d'une bonne circulation de l'air. Les concentrations de vapeurs de mercure y atteignent des valeurs très élevées. Le personnel qui assure les diverses tâches administratives et commerciales est autant exposé aux vapeurs que celui qui est directement chargé de la purification (Veiga, 1997; Lacerda, 1995).

Les joailliers qui manipulent avec une certaine continuité de l'or non raffiné, représentent également un autre groupe sujet au risque de contamination chronique (De Kom, 1998b).

### **1.3 - La population de proximité**

Les familles, femmes et enfants, des travailleurs qui vivent près des sites miniers n'échappent pas aux vapeurs de mercure provenant des opérations de concentration du minerai en or mais aussi à celles issues du mercure souillant les vêtements des travailleurs. Pour les femmes enceintes se présente en outre le risque de contamination du fœtus par voie placentaire.

Les familles des raffineurs d'or et celles des joailliers sont aussi des groupes à haut risque. Les émissions de Hg<sup>0</sup> qui proviennent de ces maisons de commerce de l'or représentent un véritable danger pour la population urbaine vivant à proximité, surtout lorsqu'il n'existe pas de mesures préventives, telles que l'usage de hottes munies de condenseurs, ou encore lorsqu'il est fait usage d'équipements défectueux. La plus grande partie du Hg<sup>0</sup> émis par les fondeurs de lingots retombe près de la source émettrice, c'est-à-dire à moins de 1 km (Veiga, 1997).

Ainsi, ces diverses familles vivants les unes proches des chantiers miniers, les autres à proximité des « maison d'or » sont sujettes à une contamination chronique. Ces maisons restent contaminées longtemps après la cessation des activités de raffinage de sorte qu'elles restent un danger pour les personnes qui viennent les habiter.

## **2 – Les Indicateurs d'exposition**

### **2.1 – Les bioindicateurs**

Pour mesurer l'exposition humaine au mercure métallique différents moyens peuvent être utilisés. Le moyen le plus courant pour effectuer la surveillance biologique (SB) est d'analyser le sang et les urines. Quelques mesures ont été faites sur le plasma, le sérum et les erythrocytes. La détermination de mercure métallique dans d'autres milieux n'est pas habituelle.

Le mercure dans le sang est un excellent indicateur de contaminations récentes. Si l'indicateur est une mesure du mercure total (somme du mercure inorganique et du mercure méthylé), il ne faut pas oublier qu'une part du mercure peut venir d'une contamination au méthylmercure (MeHg) provenant de poissons eux-mêmes contaminés. Un moyen de résoudre ce problème est de compléter la mesure du mercure total par une seconde mesure spécifique du mercure métalliques. Toutefois l'interférence venant du MeHg n'est pas importante quand l'analyse porte sur l'urine. Près de 90% du MeHg total est excrété par voie fécale (Berlin, 1986; IPCS, 1991). L'urine est donc la matière de choix pour des surveillances sanitaires à long terme à l'égard de l'exposition aux vapeurs de mercure.

L'exposition professionnelle est de préférence testée sur un prélèvement de la première urine du matin. Sa mesure est ensuite corrigée par rapport à la teneur en créatinine. La méthode de référence qui est utilisée pour mesurer le mercure dans le sang et les urines est la fluorescence atomique à vapeurs froides de mercure. L'interprétation des résultats n'est aisée que lorsqu'il s'agit d'une exposition récente et n'ayant pas été marquée par des variations temporelles importantes.

Des tentatives pour établir une corrélation entre les teneurs de mercure dans le sang et dans les urines ont été faites dans plusieurs études. Les résultats sont très variables. Il n'est pas possible d'affirmer que le rapport entre le mercure dans le sang et dans l'urine est constant à différents niveaux d'imprégnation (IPCS, 1991).

### **2.2 - Les échantillons d'air**

La surveillance des niveaux de mercure auxquels les travailleurs sont exposés est faite à partir de mesures de

***Jules de Kom***

***Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure***

***chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité***

mercure. L'échantillonnage de l'air pour les analyses de mercure peut être réalisé par des échantillonneurs automatiques à poste fixe ou bien par des prélèvements manuels. Ce dernier mode de prélèvement est préférable (IPCS, 1991).

Chez les employés des industries qui font usage du mercure, une bonne relation est souvent obtenue entre le temps d'exposition journalier et le taux journalier de mercure dans le sang et les urines (Roels, 1987). Dans les urines des teneurs de mercure d'environ 50 µg/g de créatinine ont été observés après une exposition professionnelle à 40 µg de Hg /m<sup>3</sup> d'air. On estime qu'une telle exposition conduit à une teneur de Hg dans le sang égale à 17 µg de Hg /l.

## 2.3 - Les résultats des études

Ces dernières années plusieurs études de surveillance ont été réalisées en Amazonie sur les mineurs exposés, les employés des maisons de vente et d'achat de l'or.

**Le tableau 1** regroupe des données sur des niveaux de mercure rencontrés dans les urines et le sang. Ces données montrent que les niveaux de Hg dans les urines et le sang sont nettement supérieurs aux niveaux de base attendus. Elles présentent aussi une grande variabilité, indiquant par là des profils d'exposition pouvant être très différents d'un individu à un autre. Peu d'études ont signalé l'apparition de symptômes d'intoxication mercurielle. En se basant sur les teneurs de Hg dans les urines, certains orpailleurs, raffineurs, acheteurs/vendeurs et joailliers ont dû connaître les premiers effets subtils de l'empoisonnement mercuriel pour des concentrations de Hg dans les urines comprises entre 30 et 100 µg/g de créatinine, d'autres les classiques signes cliniques d'empoisonnement pour des concentrations supérieures à 100 µg/g de créatinine. Quoi qu'il en soit, les diagnostics ne sont pas aisés à établir car les symptômes d'empoisonnement au Hg peuvent être masqués par d'autres maladies chez des populations souffrant généralement de bien d'autres troubles de santé. Les symptômes sont souvent confondus avec ceux provenant du paludisme, de l'alcoolisme ou encore d'autres maladies tropicales (Lacerda, 1995 ; Veiga, 1997).

Les études confirment bien que les émissions de Hg les plus importantes proviennent du brûlage de l'amalgame « AU-Hg ». De très fortes concentrations de Hg se trouvent dans l'air à cette occasion. Ces opérations d'enrichissement du mercure dans les mines sont relativement espacées dans le temps. Mais elles sont aisément identifiées par un pic de concentration de mercure dans l'air environnant. Les valeurs varient en fonction des quantités d'or extraites (Malm, 1998).

**Le tableau 2** fournit des données sur la contamination dans les atmosphères fermées des maisons de vente/achat de l'or et de l'environnement immédiat dans les villes et villages, occasionné par la purification des lingots d'or.

## 3 - Les risques de santé

Les symptômes classiques relevant de la contamination par des vapeurs de Hg<sup>0</sup> se manifestent au niveau du système nerveux central et des reins qui sont les organes cibles du mercure sous sa forme dissoute Hg<sup>2+</sup>.

### 3.1 – L'exposition aiguë

L'exposition aiguë se manifeste après l'inhalation de fortes concentrations de vapeur de Hg, par exemple, comme il a été dit, à l'occasion de la fusion de l'amalgame or-mercure dans les mines ou encore lors de la refonte des lingots d'or dans les maisons de vente/achat de l'or.

Les jours suivants l'exposition aux vapeurs divers signes apparaissent, semblables à ceux d'une grippe, se caractérisant par un refroidissement accompagné de fièvre, de courbatures, de gorge sèche et de maux de tête. Au bout de deux semaines, des symptômes plus sévères se manifestent, qui portent sur le système nerveux central, l'appareil respiratoire, les systèmes gastro-intestinal et urologique. Les symptômes du système nerveux central persistent tandis que les maux portant sur les autres organes se dissipent avec le temps.

### 3.2 - L'exposition chronique

#### *Jules de Kom*

#### *Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure*

#### *chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité*

L'exposition chronique se manifeste à la suite d'inhalation de faibles concentrations de vapeur de Hg<sup>0</sup> ou encore l'absorption cutanée de vapeurs au cours de périodes prolongées. C'est le cas des travailleurs qui travaillent durant des mois, voire des années, sur les sites d'orpaillage ou de raffinage de l'or, dans le voisinage immédiat des émissions de vapeurs de Hg<sup>0</sup> (manipulation du mercure dans les processus d'amalgamation, la destruction d'amalgames, la purification des lingots).

L'empoisonnement chronique par les vapeurs de Hg<sup>0</sup> peut produire trois types de symptômes

- (1) de légers tremblements des doigts et parfois du visages aux stades précoces, puis l'apparition progressive de mouvements brusques et saccadés des lèvres ;
- (2) des troubles neuropsychiatriques comportant fatigue, insomnie anorexie et éréthisme (perte de mémoire) ; des changements insidieux du caractère peuvent être notés, tel qu'une tendance à l'isolement à la dépression, entrecoupée par des moments d'irritabilité explosive, de perte de confiance en soi et d'assoupissement
- (3) des gingivites.

Les cas les plus sévères sont accompagnés de délires avec hallucinations et de psychoses. Des modifications subcliniques dans la fonction nerveuse périphérique et dans la fonction rénale peuvent surgir.

L'OMS a recommandé des normes pour estimer les risques de contamination. Si la concentration de mercure dans les urines est supérieure à 100µg/g de créatinine, la probabilité d'apparition des signes neurologiques classiques d'empoisonnement (tremblements, éréthisme) et protéinurie est élevée. Des effets subtils apparaissent quand la concentration dans les urines est comprise entre 30 to 100 µg/g de créatinine. Il s'agit de symptômes subjectifs tels que la fatigue, l'irritabilité, la perte d'appétit. Mais, à l'exception près de sujets plus sensibles, on n'observe pas de déficiences cliniques franches, tel que des performance psychomotrices amoindries, des tremblements détectables et évidents ou un retard dans la transmission de l'influx nerveux.

On ne dispose pas de donnée épidémiologiques précises pour des concentrations d'urine inférieures à 30 µg/g de creatinine (IPCS, 1991).

### 3.3 - Résultats des études

Divers signes cliniques de l'exposition chronique au Hg ont été étudiés chez les orpailleurs : les signes sur le métabolisme, la vision, le système immunitaire et des signes neurologiques et neuropsychiatriques. Les groupes qui ont été les mieux suivis sont les orpailleurs et les travailleurs dans les industries faisant usage de Hg (celles en particulier produisant des produits chloroalcalins en particulier). Au sein de ces derniers usines, les travailleurs exposés de façon permanente aux vapeurs de Hg, souffrent de troubles moteurs et psychiques qui peuvent perdurer plus de 10 ans après la dernière exposition aux vapeurs de Hg (Kishi, 1993 ; Mathiesen, 1999). Le **tableau 3** résume les principales données de ces études.

L'influence de l'intoxication mercurielle sur la capacité de résistance au paludisme a été étudiée dans certaines mines, peu de résultats ont été publiés à ce jour dans des revues internationales. On les retrouve essentiellement dans la littérature « grise ». Le site « Mercury Network (<http://www.hruscha.com/hg-net>) en est un exemple. Dans la littérature grise on trouve également des informations sur les pratiques qui permettent pour réduire l'exposition des orpailleurs aux vapeurs de mercure. Cela se fait par l'introduction de retorte pour la phase de brûlage de l'amalgame « Au-Hg » ou encore par l'introduction de méthodes alternatives permettant d'éviter l'usage du Hg. Le centre des Technologies Minières au Brésil (CETEM) a fait des études très poussées dans ce domaine.



**Tableau 1** - Etudes portant sur les concentrations de mercure dans le sang et l'urine

Sujets	Symptômes	Localisation	Exposition au vapeurs de Hg	N	Sang ( $\mu\text{g/L}$ ) moyenne $\pm \sigma$ ; Intervalle	Urine ( $\mu\text{g/g-creatinine}$ ) moyenne $\pm \sigma$ ; Intervalle	Référence
Orpailleurs, raffineurs d'or et villageois de proximité	Présence de signes et symptômes associés à une histoire d'exposition	Tapajós, Para/Amazonie brésilienne	60% des sujets sont des professionnels, exposition moyenne = 13,1 ans	55	30,5 $\pm$ ?; 4-130 (n=54)	32,7 $\pm$ ?; 0-151* (n=33)	Branches, 1993
Commerçants d'or, orpailleurs		Bassin du rio Tapajós, Amazonie brésilienne	Commerce	42	30,4 $\pm$ ?	78,9 $\pm$ ? *	Cleary, 1994
			Orpaillage	18	34,3 $\pm$ ?	18,5 $\pm$ ? *	
Orpailleurs, raffineurs et individus vivant près des lieux de raffinage	Signes et symptômes liés à une exposition, identifiés par un questionnaire	Etat du Para, Brésil	I = Récente < 2 j	10	24,8 $\pm$ 44,1; 7,6-158,8	75,6 $\pm$ 213,4; 6,5-35,9	Aks, 1995
			II = Intermédiaire < 60 j	11	7,6 $\pm$ 5,5; 2,2 – 19,4	23,8 $\pm$ 84,0; 7,8-297,0	
			III = Ancienne > 60 j	9	5,6 $\pm$ 3,3; 3,1-14,3	7,0 $\pm$ 9,8; 3,1-32,9	
Orpailleurs		Bassin amazonien, Brésil	Professionnels	20	?; 2,0-29,3 (n=10)	?; 1,0-155 (n=20)*	Palheta, 1995
Orpailleurs		Rio Tapanahony Surinam	Exposés	28	18,1 $\pm$ 11,0 (n=25)	27,5 $\pm$ 21,1	De Kom, 1998a
			Contrôles	17	26,8 $\pm$ 14,6 (n=16)	5,2 $\pm$ 2,9	
Orpailleurs, raffineurs d'or, joailliers		Sites d'orpaillage majeurs, Surinam	Orpailleurs	71		10,4 $\pm$ 8,6; 1,1-40,2	De Kom, 1998b
			Joailliers	39		9,2 $\pm$ 7,4	
Orpailleurs, raffineurs d'or, joailliers, commerçants d'or		Santarém, Itaituba et sa zone rurale, Rio Tapajós, Amazonie, Brésil	Raffineurs, commerçants	50		57,5 $\pm$ ?; 2,7-663 *	Jesus, 1999
			Raffineurs, commerçants	81		27,8 $\pm$ ?; 2,9-255 *	
			Orpailleurs	98		6,4 $\pm$ ?; 0,0-74,3 *	

?  $\sigma$  déviation standard non disponible; N = nombre d'individus examinés; \* exprimés en  $\mu\text{g/L}$  et non en  $\mu\text{g/g-creatinine}$

**Jules de Kom**

*Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure*

*chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité*

**Tableau 2** - Etudes sur les concentrations de mercure (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dans l'atmosphère en zones urbaines, rurales et sur des lieux d'orpaillage actifs (Malm 1998).

Localisation	Nature des sites	Moyenne	N	Range	Reference
Rondônia – Sud-ouest de l'Amazonie	Zone urbaine éloignée des lieux de raffinage	-	7	<0,02 - <0,66	Malm, 1991
	Zone urbaine proche des lieux de raffinage	2,8	8	0,45 – 7,5	
	Exposition professionnelle lors du raffinage dans les “casas de ouro”	71,4	7	17,5 – 107,2	
	Exposition professionnelle lors du brûlage de l'amalgame sur les lieux d'orpaillage avec usage de divers types de retortes	91,7	6	<10,24 - 296	
	Exposition professionnelle lors du brûlage de l'amalgame sur les lieux d'orpaillage sans usage de retortes	15 499	6	<4 229 – 59 600	
	Emanations lors de l'usage de la technique dite de reflux d'eau contraire destinée à récupérer le mercure	1 280	5	<120 – 5 162	
	Echantillons d'air près des chutes d'eau de rivières	-	3	<0,14 – 0,5	
Ville de Poconé (zone urbaine) Amazonie centrale, Brésil	Zone urbaine, proche des sites de rebrulage	-	10	<0,14 – 1,86	Marins, 1991
	Au dessous des résidus de minerais aurifères	0,08			Tumpling, 1995
Ville de Alta Floresta (Amazonie brésilienne méridionale)	Exposition professionnelle lors du raffinage dans les “casas de ouro”	5,14	86	0,07 – 40,6	Hacon, 1995
	Zone urbaine éloignée des lieux de raffinage	0,61	152	0,01 – 5,79	

N = nombre d'échantillons

*Jules de Kom*

*Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure*

*chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité*

**Table 3** Etudes des effets sur la santé des travailleurs professionnels de l'exposition chronique aux vapeurs de mercure.

Sujets exposés	Expositions	Effets sur la santé	Référence
<b>Caractère carcinogène</b>			
Orpailleurs et populations d'orpailleurs exposés aux vapeurs de Hg	Forte exposition professionnelle ou forte contamination environnementale par le passé	Données épidémiologiques éparses portant sur les risques d'atteinte des poumons des reins et du système nerveux central. Des données plus complètes sont indispensables.	Boffetta, 1993
<b>Fonctions métaboliques</b>			
Employés masculins exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> dans une usine de production de chlore et de soude 37 individus exposés et 39 individus non exposés (groupes de même tranche d'âge)	Urine (µg/g créatinine): 26,6 chez les sujets exposés, 3,5 chez les sujets non exposés	L'effet d'une exposition modérée aux vapeurs de mercure sur le métabolisme du sélénium est d'importance mineure sur le plan clinique	Barregård, 1990
Employés masculins exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> dans une usine de production de chlore et de soude 40 individus exposés et 40 non exposés (même tranche d'âge)	Urine (µg/g créatinine): 20,4 chez les sujets exposés, 3,2 chez les sujets non exposés	Une exposition aux vapeurs de mercure provoque une excrétion accrue de zinc par les urines	Sallsten, 1997
<b>Fonctions reproductives</b>			
Employées féminines exposées aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> : 46 femmes exposées et 19 non exposés (prises dans un secteur non productif de la même usine)	Période 1948-77, 104 grossesses enregistrées au total.	Une plus grande fréquence d'anomalies congénitales parmi les femmes exposées à des niveaux de mercure < 0.6 mg/ m <sup>3</sup> . Pas de différences significatives dans les taux de morts-nés ou les fausses couches entre deux groupes. Pour la même période taux de morts fœtales semblables à ceux établis aux niveaux de l'Etat et national aux Etats Unis.	Elghany, 1997
<b>Fonctions de la vision</b>			
Travailleurs exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> : 33 exposés, 33 non exposés pris comme référence. L'âge, le sexe, les habitudes d'alcool et de tabac étant vérifiés équivalents dans les deux groupes	Urine (intervalle, µg/g créatinine): 28 à 287 chez les exposés	L'exposition aux concentrations de vapeurs de Hg qui conduisent à des concentrations dans les urines > 50µg/g créatinine peut induire à une perte de la perception des couleurs.	Cavalleri, 1995
Même cas que le précédent : 21 sujets exposés 21 sujets de contrôle.	Urine (intervalle, µg/g créatinine): 115 ± 61.5 chez les exposés, tombant à 10, 12 mois après	Il peut y avoir une diminution au niveau de la perception des couleurs, selon un processus qui est de nature réversible	Cavalleri, 1998

**Jules de Kom**

*Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure*

*chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité*

<b>Fonctions immunologiques</b>			
Employés masculins exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> dans une usine de production de chlore et de soude 26 sujets exposés durant 10 ans en moyenne et 26 non exposés, de même âge	Urine (µg/g créatinine): 28,4 chez les exposés et 2,3 chez les non exposés	Il est signalé des effets cytogénétiques sur les lymphocytes-T.	Barregård, 1991
Employés masculins exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> dans une usine productrice de de chlore et de soude 41 exposés durant 9 ans en moyenne et 41 non exposés, (même tranche d'âge)	Urine (moyenne, µg/g créatinine): 27 chez les exposés et 3,4 chez les non exposés	Une défense immunitaire durable à un niveau élevé d'exposition est rare. Toutefois une faible fraction de la population peut développer une résistance immunitaire	Barregård, 1997
Employés, source industrielle de Hg : 36 exposés en moyenne 19 mois	Urine (moyenne ± σ, µg/g créatinine): 19.4 ± 10. Des niveaux au moment du test ainsi que 3 mois auparavant au dessous de 50 µg/g créatinine (le seuil de sécurité)	Le sérum immunoglobulin (IgE), anti-DNA et les anticorps anti-nucléaires ont été examinés. Une augmentation significative des niveaux de IgE a été observée, accompagnée d'une corrélation négative entre la durée d'exposition et les niveaux. Il n'a pas été noté d' anticorps anti-DNA et anti-nucleus. Les résultats suggèrent une réponse immunitaire humorale, indicatrice de modifications cellulaires chez les travailleurs chroniquement exposés au mercure avec des niveaux de mercure dans les urines considérés à l'abri de tout risque dans les aires de travail (< 50 µg/g créatinine).	Dantas, 1997
Employés masculins exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> dans une usine productrice de chore et soude : 89 exposés, 75 non exposés. (âges, éducation, compréhension verbale, travaux à la tâche semblables d'un groupe à l'autre)	Urine (µg/g créatinine): 25,4 chez les exposés et 1,9 chez les non exposés Sang (nmol/l) : 11 chez les exposés et 3 chez les non exposés	Les paramètres de dysfonctionnement rénal, immunoglobulines et anticorps vers les glomeruli et autres tissus ont été déterminés. Les concentrations d' immunoglobulines dans le sérum n'ont pas présentées de différence d'un groupe à l'autre. Les titres d'anticorps ont été trouvés faibles dans les deux groupes. Statistiquement des relations significatives ont été établies entre les niveaux de mercure dans les urines et l'urine NAG. Il n'apas été mis en évidence un effet sur le système immunitaire, ni des dommages glomérulaires ni des expositions habituellement cosidérées comme faibles. Dans le groupe exposé au mercure, de faibles doses affectent les cellules tubulaires.	Langworth, 1992b
Travailleurs exposés au mercure 48 sujets exposés, 48 non exposés de	Urine (µg/g créatinine): 24 ± 20.1 chez les sujets exposés; 44	Le résultat suggère qu'un niveau "sans risque" d'exposition peut conduire à une altération de la fonction neutrophile de leucocytes	Perlingeiro, 1995

### ***Jules de Kom***

#### ***Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure***

***chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité***

même âge et sexe	travailleurs au dessous de 50 µg/g créatinine (niveau "sans risque")	polymorphonucléaires.	
Travailleurs exposés au mercure 44 sujets exposés, 44 non exposés de même âge et sexe	Urine (moyenne ± σ, µg/g créatinine): 24,7 ± 19.1 chez les sujets exposés; 40 travailleurs au dessous de 50 µg/g créatinine (niveau "sans risque")	Les concentrations d'immunoglobulines (IgG, IgM, IgA) sont examinées et comparées entre les deux groupes. Les résultats indiquent que le niveau d'exposition "sans risques" peut conduire à une stimulation immunitaire de type humoral.	Queiroz, 1994
Workers mercury producing plant 33 sujets exposés, durant 19 mois en moyenne	Niveaux d'urine au moment du test et trois mois auparavant en dessous de 50 µg/g créatinine (niveau "sans risque")	Recherche d'effets sur les cellules "T-helper" et "T-suppressor", et sur la prolifération des cellules T. Il n'a pas été trouvé de corrélation entre des modifications de lymphocytes et des concentrations de mercure dans les urines, la durée d'exposition ni l'âge des travailleurs	Queiroz, 1997
Workers mercury producing plant Exposed 15, mean 12 years	Niveaux d'urine au moment du test et six mois auparavant en dessous de 50 µg/g créatinine (niveau "sans risque")	Il a été recherché la présence de micronuclei dans les lymphocytes. Le résultat semble mettre en évidence un effet génotoxique sur les travailleurs exposés de façon chronique à des niveaux considérés biologiquement sans risque	Queiroz, 1999
Travailleurs produisant du gaz naturel, mercure	Trois groupes de travailleurs à différents niveaux en dessous de l'index d'exposition biologique de 35µg/g créatinine	<b>Fonctions rénales</b> Les résultats suggèrent une augmentation momentanée des niveaux de NAG* , mais cette augmentation n'est pas un indicateur précoce de dysfonctionnement rénal.	Boogaard, 1996
Travailleurs d'une usine de fabrication de thermomètre à mercure 84 sujets exposés, 79 non exposés	Personnel respirant un air contenant 25,6-270,6 µg de Hg/m <sup>3</sup> Urine (moyenne, µg/g créatinine): 73 chez les exposés, 4 chez les non exposés	Une corrélation positive a été trouvée entre les niveaux de NAG* et ceux de mercure dans les urines	Ehrenberg, 1991
Employés masculins exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> dans une usine productrice de chore et soude : 60 sujets exposés, ((moyenne ± σ) 13,7±5.5 années, and 60 non exposés	Evaluation d'une exposition longue durée, donnée à partir d'une moyenne pondérée dans le temps d'une concentration de Hg dans le sang (approx. 25 µg/m <sup>3</sup> d'air)	La fonction rénale contrôlée par l'albumine urinaire et la NAG*. Il n'a pas été détecté ni effets glomérulaires ni d'effets tubulaires dans les groupes exposés.	Piikive, 1989
Employés masculins exposés aux vapeurs de Hg <sup>0</sup> dans une usine productrice de chore et soude :	Urine (µg/g créatinine): 25,4 chez les exposés, 1,9 chez les non exposés	<b>Fonctions du système nerveux central</b> Les calculs de dose-réponse ont montré de faibles mais statistiquement significatives relations entre la fréquence des symptômes et les niveaux de mercure dans le sang et l'urine. Les résultats suggèrent un léger effet	Langworth, 1992a

### **Jules de Kom**

#### ***Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure***

#### ***chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité***

89 individus exposés, 75 non exposés (âges, éducation, compréhension verbale, travaux à la tâche semblables d'un groupe à l'autre)	Sang ( $\mu\text{g/l}$ ) : 11 chez les exposés, 3 chez les non exposés	induit par le mercure sur le système Nerveux Central, SNC parmi les travailleurs	
Ex-employés masculins exposés aux vapeurs de $\text{Hg}^0$ dans une usine productrice de chore et de soude : 75 individus exposés, 7.9 ans en moyenne pour un intervalle de 1,1 à 36, 2) années, 52 non exposés (âges, éducation, compréhension verbale, travaux à la tâche semblables d'un groupe à l'autre)	Index d'urine cumulatif (nmol/L./year): Moyenne annuelle sur des sujets exposés 539, intervalle 41-2921 Durée moyenne après cessation : 12,7 (intervalle 1-35) années	Des examens ont été menés avec une batterie extensive de tests neuropsychologiques. Les résultats suggèrent un effet modéré mais persistant sur le SNC, impliquant surtout des fonctions motrices et l'attention, ainsi que, possiblement, la capacité visuelle. Une exposition antérieure ne semble pas avoir affecté le niveau général de l'intellect des travailleurs ou encore leur capacité à mener un raisonnement logique	Mathiesen, 1999
<b>Fonctions neurologique</b>			
Travailleurs d'usine : 18 individus exposés aux vapeurs de $\text{Hg}^0$ :	Indices moyen intégré dans le temps de $\text{Hg}$ dans l'urine 0,02 – 0,45 mg/l, valeur moyenne 0,29mg/l	Tests de conduction nerveuse périphérique. Corrélations significativement positives entre les concentrations de mercure dans les urines et un allongement des latences sensorielles et motrices distales.	Levine, 1982
18 travailleurs exposés au $\text{Hg}$ 18 non exposés	Urine ((moyenne en $\mu\text{g/l}$ ): 23 chez les sujets exposés	Tous les travailleurs asymptotiques à l'examen clinique neurologique, mais des tremblements anormalement fréquents se manifestent au niveau des doigts. Des expositions au mercure habituellement permises ont pour effet de provoquer des tremblements subtils lors de l'accomplissement de mouvements volontaires	Chapman, 1990
Ex orpailleurs hommes - Deux groupes équivalents de 76 individus exposés et non exposés (âges et niveau d'instruction comparable)	En moyenne de 18 ans après exposition de vapeur de $\text{Hg} > 1,0 \text{ mg/m}^3$ ; Histoire d'une intoxication retracée	Il y a de légers effets sur le comportement neuronal, spécialement sur la coordination motrice chez les orpailleurs qui peuvent persister 10 ans après la cessation d'exposition	Kishi, 1993

\* NAG = N-acetyl-beta-D-glucosaminidase, une enzyme lysosomiale présente dans les cellules tubulaires rénales. Des niveaux élevés de NAG reflètent plus couramment un processus traumatique qu'une intoxication aigüe (Ellenhorn's Medical Toxicology, diagnosis and treatment of human poisoning. M.J. Ellenhorn 2<sup>nd</sup> ed, 1997 pg 1595)

### ***Jules de Kom***

#### ***Les effets de l'exposition aux vapeurs de mercure***

***chez les orpailleurs, les raffineurs d'or et les populations de proximité***