



**HAL**  
open science

## Imprégnation mercurielle des femmes enceintes de Guyane (Haut Maroni) : étude et prévention

Rémy Pignoux, Pierre-Yves Gourves, Mohamedou Sow, Régine Maury-Brachet

### ► To cite this version:

Rémy Pignoux, Pierre-Yves Gourves, Mohamedou Sow, Régine Maury-Brachet. Imprégnation mercurielle des femmes enceintes de Guyane (Haut Maroni) : étude et prévention. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 2019, 31, pp.37 - 48. 10.1016/j.toxac.2018.12.002 . hal-03486305

**HAL Id: hal-03486305**

**<https://hal.science/hal-03486305>**

Submitted on 20 Dec 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial | 4.0 International License

**Étude et prévention de l'imprégnation mercurielle des femmes enceintes des communes  
de Maripasoula et de Papaïchton en Guyane française, 1er volet 2012-2013**

***Study and prevention of mercurial impregnation among pregnant woman of the  
municipality of Maripasoula and Papaïchton French Guiana, 1st part 2012-2013***

Rémy Pignoux<sup>a</sup>, Pierre Yves Gourvès<sup>b</sup>, Mohamedou Sow<sup>b</sup> et Régine Maury-Brachet<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Médecin de santé publique, Collectivité Territoriale de Guyane, 97300 Cayenne, Guyane, France

<sup>b</sup> Université de Bordeaux, UMR EPOC CNRS 5805, 33120 Arcachon, Gironde, France.

**\*auteur correspondant :**

Adresse e-mail : [regine.maury-brachet@u-bordeaux.fr](mailto:regine.maury-brachet@u-bordeaux.fr) (Régine Maury-Brachet)

**Résumé : (pas plus de 250 mots...)**

L'étude de la contamination par le mercure des femmes enceintes du Haut Maroni en Guyane française a permis d'évaluer leur niveau de contamination et le risque pour leur santé. Le suivi de la contamination est effectué au niveau des cheveux et ce sur une période d'un an. En parallèle, le corps médical a mis en place des actions de prévention pour les personnes qui dépassaient la norme de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de 10 µg/g. Les résultats indiquent que les femmes enceintes habitants dans les écarts (pas de commerce à proximité), sont sept fois plus contaminées que celles vivant dans les bourgs. Une différence significative de contamination suivant l'ethnie étudiée est constatée au sein des bourgs. Les femmes amérindiennes des bourgs sont moins contaminées que celles des écarts car elles diversifient leur alimentation en raison de la proximité

d'épiceries. Un focus est mis sur les femmes amérindiennes vivant dans les écarts. Les résultats révèlent que plus elles sont éloignées des bourgs, plus leur niveau de contamination est important. En effet, ces populations vivent en autosubsistance (pêche, chasse et culture en abattis) et consomment beaucoup de poisson. L'évaluation du risque de contamination par le mercure pour ces femmes enceintes amérindiennes a révélée qu'elles devraient moduler leur consommation de poisson quotidienne en fonction du régime alimentaire du poisson consommé. La mise en place d'actions de prévention a été bénéfique, leur imprégnation mercurielle dans les cheveux a baissé chez 82% des femmes étudiées traduisant l'importance et l'impact positif d'une prévention active et régulière.

**Mots clés : grossesse ; mercure ; cheveux ; poisson ; risque ; prévention.**

**Abstract:**

As part of a one year study on mercurial impregnation of pregnant woman hair from Haut Maroni, French Guiana, an evaluation of the health risk was conducted. This risk evaluation was implemented by a preventive survey for people exceeding the WHO safety limit of 10 µg/g. Results indicate that pregnant women living in town's centers are seven times less contaminated than those living far away from towns. Within towns, a significant difference in contamination is observed between ethnic groups. Native Americans and Brazilians are the most contaminated despite presenting contaminations below the WHO standard. A special focus was made on Native American women living far away from town's center. Results indicate that the contamination increases with the distance from the town's centers. The lower level of contamination observed in village's centers can be explained by the presence of grocery stores nearby which allow population to diversify their food consumption, while population living far away from town's centers live in self-sufficiency (fishing, hunting, and slash-and-burn farming). Risk assessment of contamination for these Native American

pregnant women revealed that they should modulate their daily fish consumption according to the diet of the fish consumed. After a year of preventive actions, 82 % of the woman present significant decrease in hair mercury contamination reflecting the importance and the positive impact of active and regular preventions.

**Keywords: pregnancy; mercury; hair; fish; risk; prevention.**

## **Introduction**

Le mercure (Hg) est liquide et volatile à température ambiante. Il peut être transporté dans l'atmosphère par les vents dominants sur de très grandes distances et se redéposer alors sur le sol. Ce mercure atmosphérique est ensuite lessivé par les eaux de pluies et pénètre dans les cours d'eau. Ce métal peut être soit d'origine naturelle (sols riches en mercure, volcans, océan...) soit il provient des activités humaines (orpaillage, déforestation, industries, combustions, etc. ...) [1-3]. De nos jours, Streets [4] estime que les activités humaines ont libéré dans l'atmosphère un total cumulé de mercure de  $1540 \pm 600$  milliers de tonnes, dont 73% ont été libérées après 1850 (début de l'ère industrielle) [4,5].

Le mercure est présent dans l'environnement sous trois formes chimiques principales : (i) le mercure élémentaire ( $Hg^0$ ), utilisé par les orpailleurs; (ii) le mercure inorganique divalent ( $Hg(II)$ ); (iii) le mercure organique ou méthylmercure (MeHg) [6]. La forme majoritaire  $Hg^0$  se trouve dans l'atmosphère, ce métal par des processus d'oxydo-réduction va se transformer en  $Hg(II)$  qui est la forme majoritaire au niveau des compartiments non biologiques (eau, sédiments...). La production de MeHg à partir du  $Hg(II)$  est principalement liée à des processus biologiques, *via* des bactéries sulfatoréductrices (BSR) impliquées dans le cycle du soufre qui sont localisées dans le périphyton et à l'interface « eau-sédiment » [7]. Ce composé est la forme chimique la plus dangereuse pour les êtres

vivants. Ces caractéristiques chimiques (forte capacité de diffusion au travers des membranes cellulaires, longue demi-vie au sein des êtres vivants) lui confèrent une capacité de bioaccumulation très élevée dans les organismes à des concentrations extrêmement élevées dans les tissus des consommateurs terminaux comme dans le muscle de poisson piscivore par exemple. En Guyane les quantités de mercure mesurées dans la colonne d'eau des rivières en Guyane sont extrêmement faibles (0,1 à 0,5 ng/l dans la fraction dissoute < 0,45 µm) [8, 9], avec seulement 1 à 2% présents sous la forme méthylée [8]. En bout de chaîne trophique, les concentrations en mercure total déterminées dans le tissu musculaire des poissons piscivores dépassent nettement la norme de consommation établie par l'OMS (WHO) (0,5 µg/g, poids frais) [10] et conduisent à des facteurs de bioconcentration (FBC = [Hg]muscle/[Hg]eau) supérieurs à plusieurs dizaines de million. Par exemple, ce FBC peut être calculé pour un poisson piscivore *Hoplias aimara* très consommé par les amérindiens du Haut Maroni (N=17, [0,7 ± 0,06 µg Hg/g poids frais]), le FBC est alors de 7 millions. A l'inverse de ce qui se passe dans l'eau, le Hg accumulé dans le muscle des poissons piscivores est majoritairement présent sous forme méthylée (> 95%) [11,12]. La source principale de contamination de l'homme par le MeHg est représentée par la consommation de poisson piscivores, le risque de contamination par l'eau étant négligeable compte tenu des très faibles niveaux de concentration.

Dans le bassin amazonien et plus spécifiquement en Guyane française, les activités d'orpaillage jouent un rôle prépondérant dans les rejets de mercure dans les hydrosystèmes. L'exploitation de l'or en Guyane a débuté vers les années 1850 et se poursuit de manière très intense de nos jours. La production officielle d'or serait estimée à 3 à 4 tonnes/an et pour l'orpaillage illégal de 10 à 12 tonnes/an (Direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) 2011). Sachant que pour extraire 1 kg d'or il faut utiliser 1,4 kg de mercure [13, 14], la quantité de mercure déversé dans l'environnement en Guyane est estimée à 286 tonnes [15]. De nos jours, seuls les orpailleurs clandestins utilisent le mercure pour récupérer l'or et le nombre de placers occupés par ces derniers est estimé à plus de 600 pour seulement une trentaine de sites légaux [16].

Ce mercure répandu dans l'environnement impacte la santé des populations humaines. Il a été largement démontré dans la littérature une étroite relation entre la proximité de l'orpaillage clandestin et la contamination des populations qui vivent à proximité [17-21]. Les deux sources d'exposition à ce métal sont (1) l'absorption des vapeurs de Hg<sup>0</sup> par les voies respiratoires des personnes se trouvant à proximité des sites d'extraction ou de raffinage de l'or [22] et (2) l'alimentation lors de la consommation de poisson riche en MeHg [23-28]. Chez les orpailleurs clandestins ces deux sources de contamination sont cumulées. Chez les consommateurs de poisson, la principale source de contamination par le mercure sera le MeHg. Les principaux facteurs qui déterminent les impacts du mercure sur la santé sont : la forme chimique du mercure, la dose, l'âge ou le stade de développement de la personne exposée, la durée de l'exposition et la voie d'exposition (inhalation, ingestion ou contact cutané).

Des études épidémiologiques ont été menées sur différentes classes d'âge. D'abord, chez des adultes d'Amazonie brésilienne où des recherches ont montré des relations dose-effet entre le niveau d'exposition au MeHg et des baisses de performances sur des tests mesurant la coordination et la rapidité des mouvements fins, et la perte de sensibilité aux contrastes visuels [29, 30]. Ces altérations neurologiques peuvent s'observer chez les individus présentant des niveaux d'imprégnation mercurielle dans les cheveux à partir de 6 µg/g [29, 30] et évoluent selon un continuum jusqu'aux signes cliniques graves observés lors d'intoxications sévères. L'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) ont mené des études d'une part chez les enfants amérindiens en démontrant le rôle toxique du méthylmercure sur les fonctions cognitives [30] pour un niveau d'imprégnation compris entre 10 et 20 µg de Hg par gramme de cheveux, et d'autre part, chez le fœtus en montrant des atteintes neurologiques pouvant survenir lors d'une exposition in utero à des concentrations maternelles supérieures à 10 µg/g [31, 32]. Les populations les plus à risque sont représentées par les fœtus et les enfants de moins de 7 ans pour des concentrations modérées d'imprégnation pré- et post-natale. D'ailleurs en 2017, la Haute Autorité de Santé humaine en France (HAS) [33] et la Joint FAO/WHO Expert Committee on Food

Additives (JECFA) [34, 35] préconise qu'au-delà d'une concentration en mercure dans les cheveux supérieure au seuil de 2,5 µg/g, les femmes enceintes doivent avoir un suivi médical adapté (suivi des concentrations en mercure au cours de la grossesse, recommandations alimentaires). Grandjean et al. (1994) [32] ont montré que l'exposition prénatale au mercure est susceptible d'entraîner des troubles neurologiques par altération du développement du système nerveux central in utéro du fœtus [36, 37]. Des effets neurotoxiques ont même été observés à partir de 4 µg/g [38-41].

Suite à la forte demande des populations exposées à la contamination par le méthylmercure de la région du Haut Maroni, l'Agence Régionale de Santé (ARS) a passé une convention en 2012 avec la Collectivité Territoriale de Guyane (CTG) et l'Université de Bordeaux pour qu'une nouvelle étude associée conjointement à la prévention du risque mercuriel soit conduite dans cette région. Notre étude a été menée chez les femmes enceintes, sans distinction d'ethnie, habitant dans des communes du Haut Maroni, en Guyane française. Cette étude vise à actualiser et suivre les concentrations en mercure dans les cheveux et à réaliser des campagnes de prévention pour réduire ainsi les risques de contamination fœtale. Cette étude est complétée par une évaluation du risque sanitaire effectuée à partir de données antérieures [12, 42]. Cette étude a permis de mettre en évidence l'évolution au cours du temps des concentrations en mercure de la population humaine qui vit dans cette région du Haut Maroni par rapport aux études précédentes [42-45].

## **Matériel et méthodes**

### Population étudiée et marqueur biologique :

Débutée en avril 2012, cette étude est ciblée sur les femmes enceintes résidant dans les communes de Maripasoula et de Papaïchton du Haut Maroni (figure 1). Les prélèvements ont été effectués au niveau des « bourgs » (présence de commerces de proximité) et des « écarts » (petits villages éloignés du bourg de Maripasoula). Les bourgs de ces deux communes sont peuplés essentiellement de descendants Alukus (anciens esclaves évadés des plantations de cannes à sucre

du Suriname à la fin du XVIIIe siècle au début du XIXe). Le reste de la population se compose de créoles (descendants des 1ers orpailleurs de l'île de Sainte-Lucie, fin XIXe ou d'haïtiens, fin XXe), de métropolitains, de familles amérindiennes Wayana, de travailleurs brésiliens et de quelques commerçants chinois [46]. A l'inverse, dans les écarts la population est représentée principalement par des amérindiens Wayana et Téko. Les villages les plus importants dans les écarts qui ont été pris en compte dans cette étude sont : Elahé, Kayodé, Taluen, Twenké, Antécum-Pata et Pidima.

Cette étude est basée sur le volontariat lors de la première visite médicale prénatale proposée à toute parturiente, quel que soit son origine ethnique. Le prélèvement capillaire a été privilégié au prélèvement sanguin pour comparer nos résultats avec les études antérieures [42-45]. De plus, les cheveux sont reconnus pour leurs qualités de biomarqueur de l'exposition au méthylmercure [31]. Leurs échantillonnages sont en effet aisés, intégratifs et non-invasifs. A l'inverse du sang, qui reflète une contamination par le MeHg à un instant précis, suite à digestion du bol alimentaire, les cheveux incorporent ce composé lors de leur formation et montrent ainsi une relation relativement directe avec les niveaux de mercure dans le sang. Ces cheveux sont donc considérés comme un bon marqueur d'exposition à long terme et constitue une méthode précise et fiable pour quantifier les niveaux d'ingestion de MeHg [47]. Avec une croissance d'environ 1,5 cm par mois pour les cheveux amérindiens, ils permettent de déceler la concentration maximale de mercure et de suivre l'exposition des individus dans le temps. Parmi les consommateurs de poissons, quatre-vingts pour cent du mercure fixé dans les cheveux proviennent du méthylmercure. L'âge, les teintures et l'appartenance ethnique (le type des cheveux varie selon l'ethnicité) peuvent avoir une incidence sur l'absorption du mercure dans les cheveux [30, 48]. Le premier prélèvement a été réalisé lors de la première visite médicale, les suivants ont été effectués au cours de la grossesse ou du post-partum. Des critères descriptifs de chaque patiente sont relevés et compilés dans une base de données. L'anonymat est conservé seulement pour l'exploitation des données mais pas pour le suivi médical des patientes. Les critères retenus pour la base de données sont les suivants : un code personnalisé d'identification afin de préserver l'anonymat des personnes, l'âge, le stade de grossesse, le lieu précis



d'habitation, la date, la concentration en Hg et le numéro du prélèvement.

#### Collecte des cheveux :

Ces prélèvements ont été effectués par le corps médical du Centre de Santé de Maripasoula, médecin et sage-femme, après un entretien individuel avec la patiente. Ce prélèvement est réalisé selon un protocole bien défini. Une mèche de 4 mm d'épaisseur est d'abord prélevée sur la région rétromastoïdienne gauche, la plus proche possible du cuir chevelu pour tenir compte de la contamination la plus récente. La mèche est ensuite agrafée sur une feuille d'échantillonnage où la racine est clairement distinguée de la pointe. L'ensemble des prélèvements correspondant à une mission de 4 jours sur le fleuve ou des prélèvements issus des consultations au centre de santé de Maripasoula ou Papaïchton. Ils sont réunis dans une enveloppe, avant expédition vers le laboratoire de l'Université de Bordeaux qui effectue les analyses de mercure total dans les mèches de cheveux.

#### Prévention contre l'imprégnation mercurielle :

En parallèle, un document de prévention de cette imprégnation mercurielle est réalisé par l'ARS de Guyane en collaboration avec la CTG et l'université de Bordeaux. Ce document est remis par le corps médical au cours de la première consultation à chaque femme enceinte. Ce livret détaille la méthode de prélèvement des cheveux, présente une riche iconographie des poissons contaminés (à éviter de consommer pendant la grossesse et l'allaitement), et des poissons faiblement contaminés. À chaque consultation mensuelle, une restitution des résultats des concentrations en mercure dans les cheveux est effectuée et ces résultats sont notés dans ce livret de prévention. Cette restitution permet de garantir une adhésion et une modification alimentaire des patientes sur le long terme pour que l'imprégnation mercurielle diminue et demeure à des niveaux acceptables. Si la première analyse de mercure dans les cheveux présentait un niveau de contamination supérieur à la norme OMS, d'autres prélèvements étaient alors réalisés pour suivre l'individu et mettre en évidence l'efficacité de la prévention. Par ailleurs, en complément des recommandations par rapport à la contamination par le

mercure, d'autres informations de prévention sur les autres risques toxiques comme ceux liés à l'alcool et au plomb sont données, ces deux risques étant aussi très présents dans ces populations [49,50].

#### Dosages :

La quantification du mercure dans les cheveux est effectuée par la plateforme de chimie analytique du laboratoire UMR EPOC 5805 (Arcachon, Université de Bordeaux) à réception des échantillons, soit une semaine à 15 jours après leur prélèvement. Ces derniers sont analysés le plus rapidement possible pour permettre au corps médical de restituer au plus vite les résultats et d'intervenir rapidement auprès des femmes enceintes pour protéger le fœtus. Seuls les trois premiers centimètres depuis la racine sont analysés pour avoir le reflet de la contamination des deux derniers mois. Chaque échantillon de cheveu a été broyé très finement, homogénéisé et analysé trois fois. Le poids de l'échantillon analysé est de 10 mg poids sec. L'écart type relatif (RSD) moyen sur notre jeu de donnée est de 0,6% ce qui traduit une très bonne répétabilité et reproductibilité de nos analyses. Le mercure total est déterminé par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA) (AMA 254 – SYMALAB France). Une aliquote de chaque mèche est introduit dans l'appareil par l'intermédiaire d'un passeur. Cet échantillon sera ensuite séché à 120°C, décomposé à 750°C sous un flux continu d'oxygène entraînant la libération du mercure qui s'amalgamera aux particules d'or du tube catalytique. Le mercure est ensuite relargué après chauffage à 800°C de l'amalgame, entraîné par le flux d'oxygène vers les cellules de lecture où l'absorbance est lue à 253,65 nm. Au cours des analyses, des échantillons biologiques certifiés (IAEA 085 et IAEA 086) sont utilisés pour valider la méthode. Les pourcentages de recouvrement sont respectivement de 98.2% et 100.5%. La limite de détection du mercure total sur l'AMA 254 est de 0,0342 ng. La précision de la méthode est donnée par l'erreur standard estimée (SE) et le coefficient de variation (CV) à partir de la répétition de 3 échantillons (CV=5%). Les résultats des concentrations en mercure total dans les différentes matrices sont

exprimés en  $\mu\text{g/g}$  poids sec dans les cheveux et en  $\mu\text{g/g}$  poids frais dans les poissons eu égard à la norme OMS de consommation qui est aussi exprimé en poids frais.

#### Analyse statistique :

Une transformation Box-Cox a été appliquée aux données en raison d'une variance non homogène. Après transformation si nécessaire, une analyse de variance (ANOVA) à un ou plusieurs facteurs suivie d'un test LSD de Fisher pour étudier la différence entre les moyennes ont été réalisés quand la normalité (approuvée par le test de Shapiro) et l'homogénéité des variances (approuvée par le test de LEVENE) ont été tous les deux respectées. Dans le cas où les hypothèses de base n'ont pas été pas vérifiées, une analyse non paramétrique de Kruskal Wallis et un test-U de Mann et Whitney ont alors été privilégiés. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel STATISTICA 6.1 (Statsoft, 2004) et le seuil de significativité a été fixé à 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Tous les résultats de statistiques descriptives sont donnés sous la forme de moyenne  $\pm$  erreur type (SE).

#### Évaluation du risque :

Une évaluation du risque lié à l'exposition au mercure des femmes enceintes amérindiennes a été réalisée à partir des données acquises précédemment [12, 42, 51]. L'ANSES recommande en 2004 que la DJT (Dose Journalière Tolérable) de méthylmercure soit ramené à  $0.23 \mu\text{g/kg/jour}$  pour protéger les femmes enceintes et allaitantes et les jeunes enfants. Cette évaluation est basée sur le calcul de la « dose journalière d'exposition (DJE) » et du « quotient de danger (QD) » [52-55]. La DJE est calculée à partir de la consommation des poissons du Haut Maroni par les femmes amérindiennes en âge de procréer (soit  $260 \text{ g/jour}$ ) [42]. La caractérisation du risque lié à la consommation des poissons de rivière, passe par le calcul du quotient de danger (QD). Le QD est le rapport entre la DJE et la DJT ( $\text{QD} = \text{DJE}/\text{DJT}$ ). Si le quotient de danger est supérieur à 1, des effets indésirables liés au mercure sont susceptibles de se produire. Dans le cas contraire, le risque peut être considéré comme théoriquement négligeable.

Calcul de la « dose journalière d'exposition (DJE) » :

$$DJE (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}) = \frac{[C_{\text{poisson}}] \times Q_{\text{té}_{\text{poisson}}}}{PC}$$

- $[C_{\text{poisson}}]$  : concentration du polluant dans les poissons ( $\mu\text{g}/\text{g}$  PF) (Poids Frais) [12]
- $Q_{\text{té}_{\text{poisson}}}$  : Quantité de poisson ingérée par les femmes amérindiennes en âge de procréer (de 20 à 45 ans) soit 260 g/jour de poisson sur le Haut Maroni [42]
- PC : poids corporel moyen d'une femme amérindienne soit 60 kg pour une femme amérindienne (données docteur Pignoux)

## Résultats

Les effectifs des femmes enceintes par ethnies et par village sont résumés dans le tableau 1. Les ethnies les mieux représentées par ordre décroissant sont les amérindiennes (40%), les alukus (37%), les brésiliennes (18%) et enfin les créoles, les chinoises et les métropolitaines (5%) formant un seul groupe appelé « Autres ».

Selon l'ethnie, les femmes n'ont pas toutes acceptées le prélèvement des cheveux par le corps médical. En effet, seulement 40 % des femmes Alukus résidant dans les bourgs de Maripasoula et de Papaïchton ont accepté ce prélèvement pour des raisons culturelles. Tandis que les femmes amérindiennes l'ont accepté à plus de 98% et les autres ethnies l'ont accepté à 100%. Toutes ethnies confondues, l'âge moyen est de 28,5 ans [15 à 41 ans] avec un temps de gestation moyen de 26 semaines (SA) [6 à 34 SA], au moment de la 1ère consultation obstétricale. Le tableau 1 résume les concentrations en mercure dans le premier prélèvement de cheveux des femmes enceintes aux différents sites étudiés.

Les concentrations moyennes (arithmétiques et géométriques) et médianes en mercure sont supérieures à la norme OMS (10  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) et respectivement 6,7, 8,5 et 7,6 fois plus élevées dans les cheveux des femmes habitant les écarts par rapport à celles des bourgs (tableau 1 et figure 2A). De

plus la concentration en Hg maximale dosée est 5,8 fois plus importante dans les écarts (49,9 µg/g) que celle dans les bourgs (8,6 µg/g). Dans les bourgs de Papaïchton et Maripasoula les moyennes géométriques sont respectivement de 1,7 µg/g et 1,2 µg/g et ne présentent pas de différence significative. Bien qu'aucune valeur ne dépasse la norme OMS de 10 µg/g dans ces bourgs, 24 femmes sur 98, toutes ethnies confondus (soit 24,5 % de la population étudiée) présentent des concentrations supérieures à la préconisation HAS de 2,5 µg/g. En revanche, une différence de concentrations est observée entre les ethnies au sein des bourgs avec des valeurs significativement plus élevées chez les amérindiennes et les brésiliennes que chez les Alukus et Autres (figure 2B).

En ne s'intéressant qu'à l'ethnie amérindienne (figure 3A), les femmes vivant dans les bourgs sont 3 fois moins contaminées que celle vivant dans les écarts avec des moyennes géométriques respectivement égales à 3,6 µg/g et 11,1 µg/g soit 1,5 et 4,5 fois supérieures à la valeur de surveillance préconisée par l'HAS [35]. Les concentrations dans les cheveux des femmes enceintes amérindiennes dans les différents villages des écarts montrent d'abord une hétérogénéité dans les valeurs avec une concentration minimale de 2,5 µg/g à Twenké/Taluen et maximale de 49,9 µg/g à Pidima (tableau 1). De plus, la figure 3B montre une variation des concentrations en fonction de l'éloignement des bourgs. Un gradient des concentrations en Hg dans les cheveux est en effet observé avec des valeurs qui semblent augmenter de manière significative avec l'éloignement du bourg de Maripasoula. En effet, la moyenne géométrique des femmes de Twenké/Taluen est significativement différente des trois autres sites et inférieure à la valeur de la norme OMS. Les trois autres écarts ont des valeurs supérieures à la norme OMS et les deux sites de Kayodé/Elahé et Antécume-Pata sont comparables. Le site de Pidima présente des résultats singuliers, avec une moyenne arithmétique et géométrique très élevée alors que la médiane est faible. En effet, la concentration forte et isolée (49,9 µg/g) tire la moyenne vers le haut.

Le tableau 2 [12, 42, 51-56] présente les différents éléments nécessaires à l'évaluation du risque liée à l'exposition au mercure des femmes enceintes amérindiennes des écarts. Ces données sont ex-

traites de publications précédentes [12, 42, 51-56], et ce tableau présente les concentrations moyennes en mercure total dans le muscle des poissons du Haut Maroni en fonction de leur régime alimentaire ainsi que le pourcentage de la quantité de poisson consommé par les femmes amérindiennes. Les pêches réalisées aux cours d'études précédentes [11-12, 17, 42, 45, 51] ont permis de calculer les pourcentages de la répartition des différents régimes alimentaires des poissons. De plus et afin d'être le plus représentatif des poissons consommés par les amérindiens, leurs techniques de pêche (nivrées, filets, cannes à pêche...) ont toujours été utilisées. Les concentrations observées révèlent que seul les piscivores présentent des valeurs au-dessus de la norme de consommation OMS de 0,5 µg/g poids frais. Les concentrations moyennes en MeHg dans le muscle de poisson en fonction du régime alimentaire et le calcul de la DJE et du QD sont également présentés dans le tableau 2. Quatre-vingt pour cents des poissons consommés quotidiennement sont représentés par les herbivores, benthivores, piscivores. Les 20% restant sont représentés par les périphytophages, omnivores et carnivores. Les QD sont inférieurs à 1 pour une consommation journalière moyenne de 260 g de poissons herbivores et périphytophages et sont supérieurs pour les autres régimes avec un QD important observé pour les piscivores (QD = 11,51). La quantité maximale de poisson à consommer par jour calculée pour ne pas dépasser un QD de 1 est très variable en fonction du régime alimentaire du poisson. Elle est de 20 g pour les piscivores et peut monter jusqu'à 1300 g pour les herbivores. Les mesures de prévention dispensées auprès de ces femmes enceintes du Haut Maroni sont basées sur ces résultats.

La figure 4 représente le pourcentage de la variation de la concentration en mercure dans les cheveux de 34 femmes enceintes après une campagne de sensibilisation. Une augmentation de cette concentration est représentée par une valeur positive (histogramme rouge) et une diminution par une valeur négative (histogramme vert). Les deux prélèvements sont séparés en moyenne de 187 jours (environ 6 mois) avec un minimum de 56 jours (environ 2 mois) et un maximum de 295 jours (environ 9 mois et demi). Le pourcentage de variation des concentrations en mercure entre deux prélèvements n'est pas corrélé au nombre de jours les séparant (test de Bravais-Pearson, p\_value =

0,13). Quatre-vingt-deux pour cent des femmes enceintes suivies soit 28 sur 34 tiennent compte des consignes de prévention et voient ainsi leurs concentrations en mercure dans les cheveux diminuer, avec une variation de leur concentration de 4 à 63% par rapport à la valeur initiale. Parmi ces 28 femmes, 17 d'entre-elles présentaient des concentrations initiales en mercure supérieures à la norme OMS, et seulement 6 femmes ont vu leur concentration passer en dessous de cette norme.

## **Discussion :**

### 1- Toutes ethnies confondues

#### *Bourgs-Ecarts*

La différence importante d'imprégnation mercurielle entre les femmes des bourgs et celle des écarts (facteur moyen : 6,7, figure 2A) s'explique principalement par leur habitude alimentaire. Les populations éloignées des bourgs ont une alimentation basée sur la consommation des poissons de rivière, alors que les habitants des bourgs diversifient leur alimentation et achètent leur nourriture dans les épiceries.

#### *Bourgs*

Aucune femme enceinte vivant dans les bourgs de Maripasoula et Papaïchton ne présente de valeur supérieure à la norme OMS (tableau 1) toutes ethnies confondues. Cependant, les femmes amérindiennes et brésiliennes des bourgs (figure 2B) sont deux à trois fois plus contaminées que les Alukus et les autres ethnies. Elles conservent en effet partiellement leur mode de vie et donc leurs habitudes alimentaires à savoir, la consommation de poissons au profit de produits alimentaires manufacturés ou de la viande congelée comme le poulet. Ce qui explique leur niveau de contamination plus élevés que celui des autres ethnies. De plus, les moyennes géométriques des femmes enceintes vivantes dans les bourgs toutes ethnies confondues (0,7 µg/g autres, 0,9 µg/g

Alukus, 2  $\mu\text{g/g}$  Brésiliens et 3,8  $\mu\text{g/g}$  Amérindiens) sont 1,8 à 9,5 fois supérieures à celles de la métropole en 2011 (moyenne de la concentration géométrique en France des femmes enceintes de 0,40  $\mu\text{g/g}$ ) [57-59]. Les femmes amérindiennes enceintes se situant dans les bourgs et ayant une concentration en mercure capillaire supérieure au seuil de 2,5  $\mu\text{g/g}$ , devraient avoir un suivi médical comme le préconise l'HAS [33] (Haute Autorité de Santé Humaine en France) et la JECFA [34, 35] (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Sur 8 femmes amérindiennes vivant dans les bourgs, seulement 2 sont en dessous de ce seuil.

## 2- Les femmes amérindiennes (Bourgs et Écarts) :

De par leur culture et leur mode vie, les amérindiennes sont l'ethnie la plus exposée à la contamination par le mercure dans la région étudiée. Au sein de cette population, les concentrations dans les bourgs observées sont 3 fois plus faibles que celles habitant les écarts (figure 3A). Cette différence peut être expliquée par la proximité des commerces présents uniquement dans les bourgs (Papaïchton et Maripasoula). Leur alimentation ne serait donc plus exclusivement dépendante de leur mode de vie. En effet les amérindiens vivant dans les écarts, très éloignés des bourgs, ne se déplacent qu'en pirogue et ne se nourrissent que de produits issus de la pêche, la chasse et les abattis. Fréry et al [42] ont quantifié une consommation inférieure à 50 g de poisson par jour dans les bourgs, et entre 200 à 350 g de poisson par jour pour les femmes dans les écarts.

Les femmes enceintes vivants dans les écarts ont une moyenne géométrique de 11,1  $\mu\text{g/g}$ , supérieure à la valeur limite de l'OMS de 10  $\mu\text{g/g}$  (figure 3B), avec plusieurs individus ayant des niveaux mercuriels au-delà de 20  $\mu\text{g/g}$  allant jusqu'à des valeurs extrêmes de 49,9  $\mu\text{g/g}$ . Les moyennes arithmétique ou géométrique sont supérieures à la norme OMS (soit 57% des femmes) par rapport aux sites les plus éloignés des bourgs (Kayodé/Elahé, Antécume-Pata et Pidima). Il est cependant important de noter que les niveaux d'imprégnation en mercure des sites Twenké/Taluen sont inférieurs à la norme (moyenne arithmétique et géométrique respectivement égales à 9,6 et 8,7



µg/g) et aux autres valeurs observés dans les écarts. Ces différences peuvent s'expliquer par la présence, depuis peu, de deux épiceries installées sur la rive gauche du Maroni au Suriname. Toute la population amérindienne qui vit dans les écarts présente des concentrations supérieures à la valeur de 2,5 µg/g de la HAS et ainsi toutes les femmes nécessitent un suivi médical pendant leur grossesse et l'allaitement.

En comparaison à des études menées en 1997 (moyenne géométrique : 10,8 µg/g) et en 2005 (moyenne géométrique : 12,2 µg/g) la moyenne géométrique de l'imprégnation mercurielle en pays amérindien entre 2012 et 2013 a encore progressé pour les villages les plus éloignés (Kayodé/Elahé, Antécume-Pata et Pidima) avec une valeur de 13,6 µg/g, sans la présence à proximité de commerces.

La consommation importante de poissons piscivores fortement contaminés par le mercure [42, 51] est la source principale de cette forte imprégnation par le mercure au sein de ces populations. De nombreuses études sur la contamination par le mercure des populations humaines natives dans le bassin amazonien révèlent des niveaux de contamination aussi élevées que dans la région du Haut Maroni, les valeurs les plus élevées vont jusqu'à 24.6 + 17.8 µg/g [25, 60-62].

La concentration en mercure des poissons piscivores du Haut Maroni ( $0,643 \pm 0.029$  µg/g poids frais, tableau 2) dépasse la norme OMS de consommation à 0,5 µg/g poids frais [10]. Cette valeur élevée s'explique d'une part par l'orpaillage clandestin intense pratiqué dans cette région du Haut Maroni sur le territoire du PAG (Parc Amazonien de Guyane) [64] et au Suriname et d'autre part par la richesse naturelle des sols amazoniens en mercure [15]. Les résultats du calcul du quotient de danger (QD) révèlent que pour une consommation journalière de poisson journalière de 260 g (tableau 2), seuls les herbivores et les périphytophages peuvent être consommés en abondance pour un QD inférieur à 1, soit respectivement 1300 g/jour et 450 g/jour. Cependant, il faut noter que la consommation des poissons herbivores est plus facile car ils représentent 23% de la pêche (tableau 2) par rapport aux périphytophages qui sont plus rares, seulement 6% (tableau 2). Pour les poissons benthivores et omnivores, pour ne pas dépasser un QD supérieur à 1, il ne faut pas consommer des

portions supérieures à 125 g/jour et 110 g/jour. Pour une femme enceinte la consommation journalière de poissons piscivores est à proscrire car seulement 20g de poisson piscivore consommé suffisent pour atteindre un QD de 1 dans cette région du Haut Maroni. Ces prédateurs sont de gros poissons très prisés par les populations locales (technique de pêche adaptée, qualité gustative du poisson, tradition culturelle...) et ils représentent 27% de la quantité quotidienne de poisson consommée. Cette recommandation représente donc de fortes contraintes pour ces femmes enceintes et aucune solution alternative n'existe actuellement. De même, un bol alimentaire basé sur le mélange de poisson de régime alimentaire différents (tableau 2) révèle que pour un QD proche de 1, ces femmes ne devraient pas dépasser une consommation de 70 g au lieu de 260 g quotidien.

Les mesures de prévention, basées sur ces précédents résultats ont pu être dispensées sur 34 des 52 femmes échantillonnées dans les écarts, lors de la deuxième visite du médecin et un deuxième prélèvement de cheveux a été effectué. La mise en place de ces actions de prévention a été bénéfique pour 82% de ces femmes (figure 4). Leur niveau de mercure dans les cheveux a baissé très significativement traduisant ainsi leur compréhension et l'intérêt d'une prévention active et régulière. Cependant, seulement 6 femmes sur 17 qui avaient leur concentration supérieure à la norme OMS ont vu cette valeur passer en dessous de ce seuil. Cet apprentissage de la femme enceinte dans le choix des poissons à éviter de consommer pour ne pas risquer des troubles neurologiques [36, 37] chez leur futur enfant s'est ensuite diffusé spontanément au sein de la communauté amérindienne. La prévention doit être régulière et adaptée à la population amérindienne pour qu'elle soit efficace. Par exemple une patiente de Pidima qui présentait une concentration initiale de 49,9 µg/g a vu cette valeur être divisée par 3 en 1 an entraînant ainsi la disparition progressive des signes neurologiques périphériques et des troubles de la mémoire. Cette exemple montre l'importance de la continuité d'une action de Santé Publique dynamique au plus près de la population basée sur une relation de confiance avec le corps médical et surtout pérenne dans le temps. Ces actions rendraient alors visible l'approche interventionnelle immédiate de l'épidémiologie.

De nos jours, l'augmentation sans précédent de l'orpaillage illégal relevée par le PAG [64], révèle que cette contamination ne peut que s'amplifier. L'orpaillage clandestin a un impact direct sur les populations amérindiennes qui vivent en aval de ces sites. Comme évoqué dans l'introduction, il a été largement démontré dans la littérature une étroite relation entre la proximité de l'orpaillage clandestin et la contamination des populations vivant à proximité [17-22 ]. Un renforcement de la lutte contre l'orpaillage illégal en Guyane s'impose. De plus, une coopération internationale avec les pays frontaliers de la Guyane française permettrait de légiférer sur des lois communes pour éviter la vente du mercure aux orpailleurs (ARRETE N° 1232/SG du 08 juin 2004, mise en application au 1er janvier 2006).

## **Conclusion**

Cette étude sanitaire a permis de suivre les niveaux de l'imprégnation en mercure dans les cheveux des femmes enceintes de six ethnies ayant des cultures et modes de vie différents. Les niveaux de contamination relevés ont été très hétérogènes. Sur l'ensemble des bourgs, aucune femme toutes ethnies confondues ne présente une concentration supérieure à la norme OMS actuelle et 25% dépasse le seuil de 2,5 µg/g ( préconisation HAS).

Les femmes amérindiennes des écarts (population qui vit en autosubsistance : pêche, chasse et culture en abattis) présentent des concentrations supérieures à celles des bourgs (présence de commerces) et en constante augmentation par rapport aux études précédentes (excepté pour les écarts de Twenké et Taluen). De plus, 67 % des femmes amérindiennes vivant dans les écarts ont une concentration capillaire en mercure supérieure à la norme OMS de 10 µg/g et au seuil de 2,5 µg/g préconisé par l'HAS.

Cette différence d'accumulation selon l'ethnie et le lieu de vie est à relier au mode de vie en autosubsistance des amérindiens suivis d'une forte consommation de poissons piscivores. Le mercure d'origine naturel et anthropique se retrouve en effet le long de la chaîne trophique par des processus

de bioaccumulation et de bioamplification, avec des concentrations les plus élevées chez les prédateurs. L'orpaillage illégal en constante augmentation [64] participe largement à l'augmentation de ces niveaux de contamination élevés. Cependant, les amérindiennes du Haut Maroni présentent des niveaux d'imprégnation inférieurs aux concentrations pouvant entraîner des signes cliniques neurologiques importants voire mortels comme cela a été observé chez les populations exposées aux pollutions historiques de Minamata au Japon [26] ou en Irak [28, 65]. Par exemple, les concentrations moyennes dans les cheveux étaient de 48.34 µg/g pour les habitants de Minamata et 13.6 µg/g pour ceux d'Irak avec des concentrations maximales respectives de 923 µg/g et 255 µg/g. Les actions de prévention régulières apportées par le corps médical entre 2012 et 2013 ont permis une diminution significative de la concentration en mercure dans les cheveux chez 82% des femmes amérindiennes.

Ces dernières ont donc saisi l'intérêt de la prévention et ont ainsi contribué activement à la diffusion du message au sein de leur communauté, faisant de ce programme un exemple de projet de Santé Communautaire et d'épidémiologie d'intervention. Les recommandations effectuées par le corps médical dans le cadre de la prévention basées sur le régime alimentaire des poissons à consommer est très bien assimilé par ces populations locales.

À l'issue de cette première année et au vu de ces résultats il a été décidé de réorienter les prélèvements de cheveux sur les femmes les plus à risque et de maintenir les actions de préventions pour réduire l'imprégnation mercurielle du fœtus et du nouveau-né. À partir de juin 2013, les prélèvements ont été effectués uniquement sur les femmes amérindiennes vivant dans les écarts et le suivi s'est orienté chez : (i) les femmes en désir de grossesse ; (ii) avant, pendant et après la grossesse ; (iii) durant l'allaitement ; (iv) chez les nouveaux nés. Ces résultats de mai 2013 à mai 2018 seront présentés dans une deuxième publication.

**Déclaration de liens d'intérêts :**

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

## **Remerciements :**

Cette étude est financée par l'Agence Régionale de Santé de Guyane et la CTG de Guyane (convention n°34 – 2012). Nous remercions toutes les femmes qui ont bien voulu participer à cette étude ainsi le corps médical du Centre de Santé de Maripasoula.

## **Références:**

1. Roulet M, Lucotte M, Saint-Aubin A, Tran S, Rhéault I, Farella N, et al. The geochemistry of Hg in central amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajòs river valley, Pará state Brazil. *Sci Total Environ.* 1998 ; 223(1): 297–313.
2. Roulet M, Lucotte M, Canuel R, Farella N, Courcelles M, Guimarães JRD, et al. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. *Chemical Geology*, 2000 ; 165 (3-4): 243-266.
3. Grimaldi C, Grimaldi M, Guedron S. Mercury distribution in tropical soil profiles related to origin of mercury and soil processes. *Sci Total Environ.* 2008 ; 401: 121–129.
4. Streets DG, Horowitz HM, Jacob DJ, Zifeng Lu ZN, Larnout L, Schure FH et al. Total Mercury Released to the Environment by Human Activities. *Environ. Sci. Technol.* 2017 ; 51:5969–5977.
5. Kocman D, Wilson SJ, Amos H, Telmer K, Steenhuisen F, Sunderland L, et al. Toward an Assessment of the Global Inventory of Present-Day Mercury Releases to Freshwater Environments. *Int J Environ Res Public Health* 2017 ; 14 : 1-16.
6. Wiener J G, Krabbenhoft DP, Heinz GH, Scheuhammer AM. Ecotoxicology of mercury. In *Handbook of Ecotoxicology*; Hoffman, D. J., Rattner, B. A., Burton, G. A., Cairns, J., Eds.; Lewis Publishers: Boca Raton, FL. 2003 ; p. 409-463.

7. Acha D, Iniguez V, Roulet M, Guimaraes JR, Luna R., Alanoca L, Sanchez S. Sulfate-reducing bacteria in floating macrophyte rhizospheres from an Amazonian floodplain lake in Bolivia and their association with Hg methylation. *Applied and Environmental Microbiology* 2005 ; 71: 7531–7535.
8. Coquery M, Cossa D, Azemard S, Peretyazhko T, Charlet L. Methylmercury formation in the anoxic waters of the Petit-Saut reservoir (French Guiana) and its spreading in the adjacent Sinnamary River. *J Phys IV* 2003 ; 107: 327–31.
9. Muresan B. Géochimie du mercure dans le continuum de la retenue de Petit-Saut et de l'estuaire du Sinnamary, Guyane française. Thèse Université de Bordeaux. 2006 ; n° 3178, p. 90.
10. WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants. technical report series 940 ; 2007; p. 109.
11. Laperche V, Maury-Brachet R, Blanchard F, Dominique Y, Durrieu G, Massabuau JC, et al. Répartition régionale du mercure dans les sédiments et les poissons de six fleuves de Guyane. Rapport BRGM/RP55965 FR – 2007 ; p 201.
12. Maury-Brachet R, Durrieu G, Dominique Y et Boudou A. Mercury distribution in fish organs and food regimes: Significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazonian basin). *Science of the Total Environment* 2006 ; 368 : 262-270.
13. Lacerda LD, Salomons W. Mercury from gold and silver mining : a chemical time bomb?. Berlin: Springer ; 1998.
14. Picot JC, Foucher JL, Wagner R. Production aurifère et mercure utilisé de l'origine à nos jours. 1993 ; Rapport BRGM-R37837, BRGM (ed). p 154.

15. Laperche V, Hellal J, Maury-Brachet R, Joseph B, Laport, P, Breeze D, Blanchard F. Regional distribution of mercury in sediments of the main rivers of French Guiana (Amazonian basin). SpringerPlus. 2014 ; 3 (322) : 1-12.
16. Moullet D, Saffache P et Transler AL. L'orpaillage en Guyane française : synthèse des connaissances. 2006 ; URL : <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/753> DOI : 10.4000/etudescaribeennes.753 ISBN : 978-2-8218-0652-8.
17. Boudou A, Maury-Brachet R, Coquery M, Durrieu G, Cossa D. Synergic effect of gold mining and damming on Hg contamination in fish. Environ Sci Technol 2005 ; 39: 48–54.
18. Laffont L, Sonke J, Maurice L, Monrroy L, Chincheros J, Amouroux et al. Hg Speciation and Stable Isotope Signatures in Human Hair As a Tracer for Dietary and Occupational Exposure to Mercury. Environ. Sci. Technol. 2011; 45: 9910–9916.
19. Vejrup K, Brandlistuen RE, Brantsæter AL, Knutsen LK, Caspersen IH, Alexander J, et al. Prenatal mercury exposure, maternal seafood consumption and associations with child language at five years. Environment International. 2018 ; 110 : 71–79.
20. Hacon S, Dórea JD, Fonseca M, Oliveira B, Mourão D, Ruiz C, et al. The Influence of Changes in Lifestyle and Mercury Exposure in Riverine Populations of the Madeira River (Amazon Basin) near a Hydroelectric Project. Int. J. Environ. Res. Public Health 2014 ; 11 : 2437-2455.
21. Bradley MA, Benjamin D, Barst BD and Basu N. A Review of Mercury Bioavailability in Humans and Fish. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017 ; 14-169; doi:10.3390/ijerph14020169.
22. Castilhos Z, Rodrigues-Filho S, Cesar R, Rodrigues AP, Villas-Bôas R, Jesus I. et al. Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. Environ Sci Pollut Res 2015 ; 22: 11255–11264.

23. Cordier S, Grasmick C, Pasquier-Passelaigue M, Mandereau L, Weber JP, Jouan M. Imprégnation de la population guyanaise par le mercure: niveaux et sources d'exposition. BEH 1997; 14: 59-61.
24. Nielsen A, White RF, Nielsen U, Cleary D, Grandjean P. Psychomotor performance of methylmercury exposed children from two Amazonian villages. In: Proceedings of the International Conference Health Effects of Mercury Exposure, 22–25 June 1997, Torshavn, Feroe Islands. 1997. Odense, Denmark:Odense University, 1997; p 59.
25. Myers GJ, Davidson PW, Cox C, et al. Prenatal methylmercury exposure from ocean fish consumption in the Seychelles child development study. Lancet 2003 ; 361: 1686-92.
26. Harada M, Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution, Crit Rev Toxicol. 1995 ; 25 (1) : 1–24.
27. Weihe P, and Joensen HD. Dietary recommendations regarding pilot whale meat and blubber in the Faroe Islands. International Journal Circumpolar Health. 2012 ; 71: 18594, <http://dx.doi.org/10.3402/ijch.v71i0.18594>.
28. Crump K, Wren J, Silvers A, Clewell JH, Gearhart J, and Shippl A. Reanalysis of Dose-Response Data from the Iraqi Methylmercury Poisoning Episode. Risk Analysis, 1995 ; 15, (4) : 523-532.
29. Cordier S et Garel M. Risque neurotoxiques chez l'enfant liés à l'exposition au méthylmercure. INSERM U 170 et U 149. Institut de Veille Sanitaire.1999 ; p.52.
30. Mergler D, Anderson HA, Chan LHM, Mahaffey KR, Murray M, Sakamoto M et al. Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. Ambio. 2007 ; 36 : 3-11.
31. WHO (World Health Organization), International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria 101: Methylmercury Genève:World Health Organization, 1990 ;



32. Grandjean P, Weihe P and Nielsen JB. Methylmercury: Significance of intrauterine and postnatal exposures. *Clin Chem*. 1994 ; 40 (7) : 1395-1400.
33. HAS. Exposition au mercure organique et grossesse : prise en charge de la femme enceinte et de l'enfant à naître. Synthèse des recommandations de bonne pratique. Décision n°2017.0190/DC/SBPP du 13 décembre 2017.
34. JECFA. Compendium of food additive specifications, sixty-seventh meeting FAO JECFA. Rome: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 2006 ; (3) p. 90.
35. JECFA. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to mercury and methylmercury in food (Request N° EFSA-Q-2003-030) (adopted on 24 February 2004) *The EFSA Journal* 2004 ; 34 : 1-14.
36. Llop S. et al. CYP3A genes and the association between prenatal methylmercury exposure and neurodevelopment. *Environment International* 2017 ; 105 : 34–42.
37. Wahlberg K, Lovcic TM, Pineda D, Engström K, Watson GE, Thurston SW et al. Maternal polymorphisms in glutathione-related genes are associated with maternal mercury concentrations and early child neurodevelopment in a population with a fish-rich diet; *Environment International*. 2018; 115: 142–149.
38. Nuttall KL., Review: Interpreting Hair Mercury levels in Individual Patients. *Annals of Clinical & Laboratory Science*, 2006 ; 36 (3) : 248-261.
39. Cordier S, Retentissement néonatal d'une alimentation maternelle riche en mercure (poisson) pendant la grossesse. *Journal de pédiatrie et de puériculture* 2003 ; 16 : 234–239.
40. Grandjean P. Review: Methylmercury toxicity and functional programming. *Reproductive Toxicology* 2007; 23:414:420.

41. Grandjean P, Weihe P, White RF, Debes F, Araki S, Yokoyama K, et al. Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. *Neurotoxicol Teratol.* 1997; 19: 41728.
42. Fréry N, Maillot E, Dehaeger M, Boudou A, Maury-Brachet R. Exposition au mercure de la population amérindienne Wayana de Guyane : enquête alimentaire Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 1999. <http://.invs.sante.fr/publications/>.
43. Quenel P, Cardoso T, Flamand C, et al. Mercure et Santé : enquêtes épidémiologiques sur les fleuves de Guyane. Journée scientifique « Mercure en Guyane », AFSSE-InVS, Alfortville. 2004.
44. Cardoso T, Bateau A, Chaud P, Ardillon V, Boyer S, Flamand C, Godard E, Fréry N and Quenel P. Le mercure en Guyane française : synthèse des études d'imprégnation et d'impact sanitaires menées de 1994 à 2005. *BEH* 2010 ; 118-120.
45. BAZAG Le mercure en Guyane Risques sanitaires et enjeux de santé publique 2007 ;7 :1-16. <http://.invs.sante.fr/publications/>.
46. Atlas des populations immigrées en Guyane. 2006 [https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/.../atlas\\_immigres\\_gy.pdf](https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/.../atlas_immigres_gy.pdf).
47. McDowell M, Dillon CF, Osterloh J, Bolger PB, Pellizzari E, Fernando R, et al. Hair mercury levels in U.S. children and women of childbearing age: reference range data from NHANES 1999-2000. *Environ. Health Perspect.* 2004 ; 112 :1165-1171.
48. Mergler, D and Lebel J. les effets de l'exposition au méthylmercure chez les adultes. In *Le Mercure en Amazonie* (JP Carmouze) IRD edition. 2001 ; p.373-389.
49. Nevin R. Trends in preschool lead exposure, mental retardation, and scholastic achievement: Association or causation? *Environmental Research* 2009 ; 109: 301–310.

50. ANSES. Avis de l'Anses Saisine n° 2013-SA-0139 ; AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à une demande d'appui scientifique et technique concernant le signalement d'une contamination au plomb de tubercules de manioc et des produits dérivés consommés en Guyane ; 2015.
51. Fréry N, Maury-Brachet R, Maillot E, Deheeger M, de Mérona B, Boudou A. Goldmining activities and mercury contamination of native Amerindian communities in French Guiana: key role of fish in dietary uptake. *Environ. Health Perspect.* 2001; 109: 449-56.
52. Ricoux C. Gasztowtt B. Evaluation des risques sanitaires liés à l'exposition de forts consommateurs de produits de la pêche de rivière contaminés par des toxiques de l'environnement. Etude Drass Midi-Pyrénées CIRE Sud-Ouest ; 2010.
53. FAO/WHO Expert consultation on the risks and benefits of fish consumption. FAO Fisheries and Aquaculture Report N°978. Rome 25-29 January. ISSN 2070-6987 ; 2010.
54. Rapport d'information sur les systèmes harmonisés pour mesurer la charge corporelle du mercure. UNEP. DTIE°/Hg/INC.2/1 ; 2010.
55. Afssa – Saisine n° 2002-SA-0014 ; 2010.
56. Bensefa-Colas L, Andujar P and Descathas A, Intoxication au mercure. *La revue de médecine interne* 2011 ; 32 : 416-424
57. Dereumeaux C, et al. Surveillance biologique de l'exposition des femmes enceintes françaises aux polluants de l'environnement : résultats du volet périnatal du programme national de bio surveillance mis en œuvre au sein de la cohorte Elfe. *Toxicologie Analytique & Clinique.* 2017 ; 29 (4) : 496-516.
58. Goullé JP, Guérbet M. Recensement des niveaux d'intoxications mortelles par l'arsenic, le chrome, le mercure, le plomb, le thallium. *Toxicologie Analytique & Clinique* 2016 ; 28 : 16-27.

59. Fréry N, Fillol C, Garnier R, Falq G, Bidondo ML, Guldner L, and Zeghnoun A. Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement — Étude ENNS 2006—2007. *Santé publique Toxicologie Analytique et Clinique*, 2017 ; 29 (4) : 441-482.
60. Donaldson SG, Van Oostdam J, Tikhonov C, Feeley M, Armstrong B, Ayotte P, et al. Environmental contaminants and human health in the Canadian Arctic. *Sci Total Environ*. 2010 ; 408:5165-234.
61. Berzas Nevado JJ, Rodríguez Martín-Doimeadios RC, Guzmán Bernardo FJ, Jiménez Moreno M, Herculano AM, do Nascimento JLM et al. Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: A review ; *Environment International*, 2010 ; 36 : 593–608.
62. Arrifano G, Rodríguez Martín-Doimeadios RC, Jiménez-Moreno M, Ramírez-Mateos V, da Silva FS, Souza-Monteiroa JR. Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2018 ; 147 : 299–305.
63. Kocman D, Wilson SJ, Amos H, Telmer K, Steenhuisen F, Sunderland L, et al. Toward an Assessment of the Global Inventory of Present-Day Mercury Releases to Freshwater Environments. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017 ; 14-138; doi:10.3390/ijerph14020138
64. PAG, Suivi environnemental des impacts de l'orpaillage illégal. 2017 ; 5 : :1-5.
65. Amin-Zaki, L., Elhassani, S., Majeed, M.A., Clarkson, T.W., Doherty, R.A., Greenwood, M.R., et al. Perinatal methylmercury poisoning in Iraq. *Am. J. Dis. Child*. 1976 ; 130 (10) : 1070–1076.

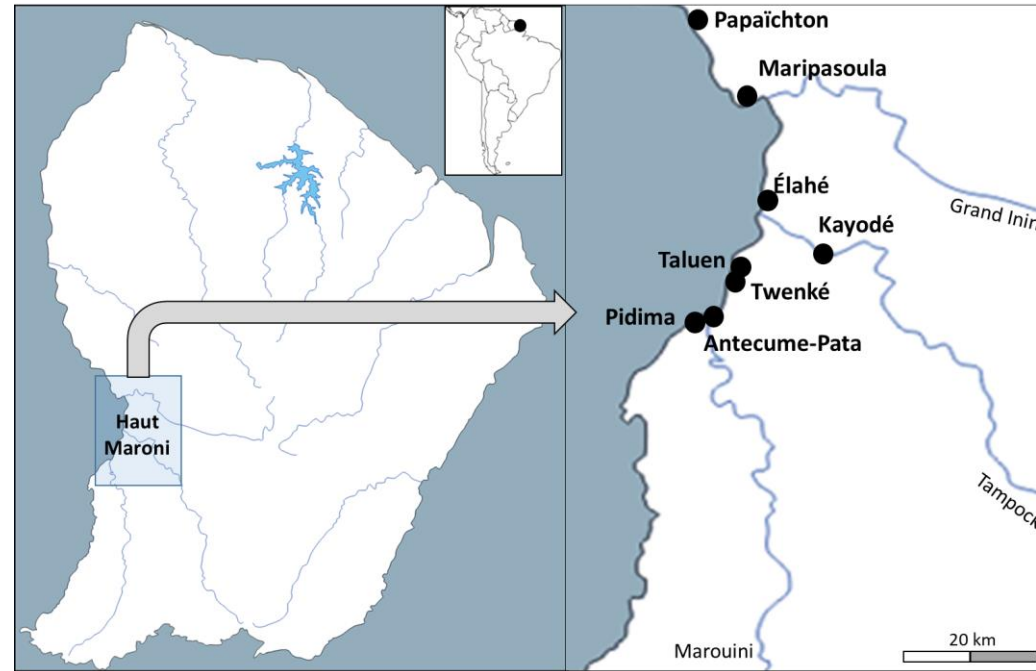
## Liste des figures :

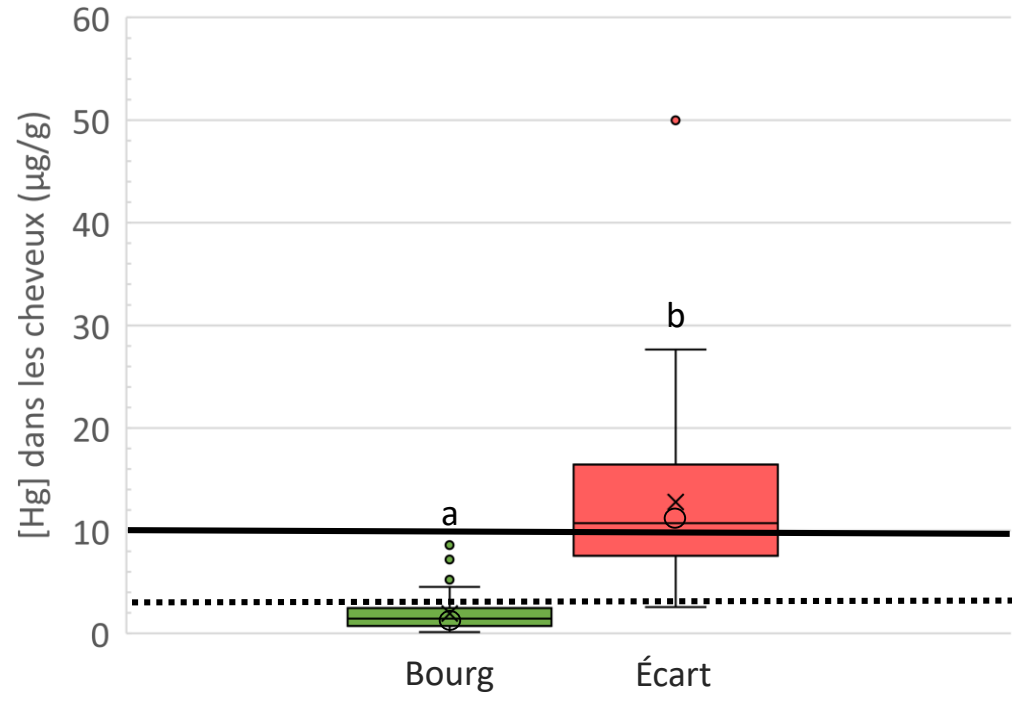
Figure 1 : Localisation des villages étudiés dans la région du Haut Maroni de la Guyane française.

Figure 2 : Concentrations en mercure dans les cheveux des femmes (A) des bourgs et des écarts toutes ethnies confondues et (B) dans les bourgs de Maripasoula et Papaïchton uniquement, toutes ethnies (alukus, brésiliennes, amérindiennes et autres (asiatiques, métropolitaines et créoles)) (en  $\mu\text{g/g}$  de poids secs). La croix, le rond vide et la barre représentent respectivement la moyenne arithmétique, la moyenne géométrique et la médiane. Les moustaches inférieure et supérieure illustrent le quartile 1 et le quartile 4. Les bornes inférieure et supérieure de la boîte désignent le quartile 2 et le quartile 3. Les valeurs sont considérées atypiques (petits ronds pleins) lorsqu'elles dépassent 1,5 fois l'écart interquartile au-dessous du 1er quartile et au-dessus de 3eme quartile. Des lettres différentes représentent les différences significatives ( $p\_value < 0,05$ ).

Figure 3 : Concentrations en mercure dans les cheveux des femmes des amérindiennes habitant (A) dans les bourgs et les écarts et (B) dans les villages des écarts (en  $\mu\text{g/g}$  de poids secs). La croix, le rond vide et la barre représentent respectivement la moyenne arithmétique, la moyenne géométrique et la médiane. Les moustaches inférieure et supérieure illustrent le quartile 1 et le quartile 4. Les bornes inférieure et supérieure de la boîte désignent le quartile 2 et le quartile 3. Les valeurs sont considérées atypiques (petits ronds pleins) lorsqu'elles dépassent 1,5 fois l'écart interquartile au-dessous du 1er quartile et au-dessus de 3eme quartile. Des lettres différentes représentent les différences significatives ( $p\_value < 0,05$ ).

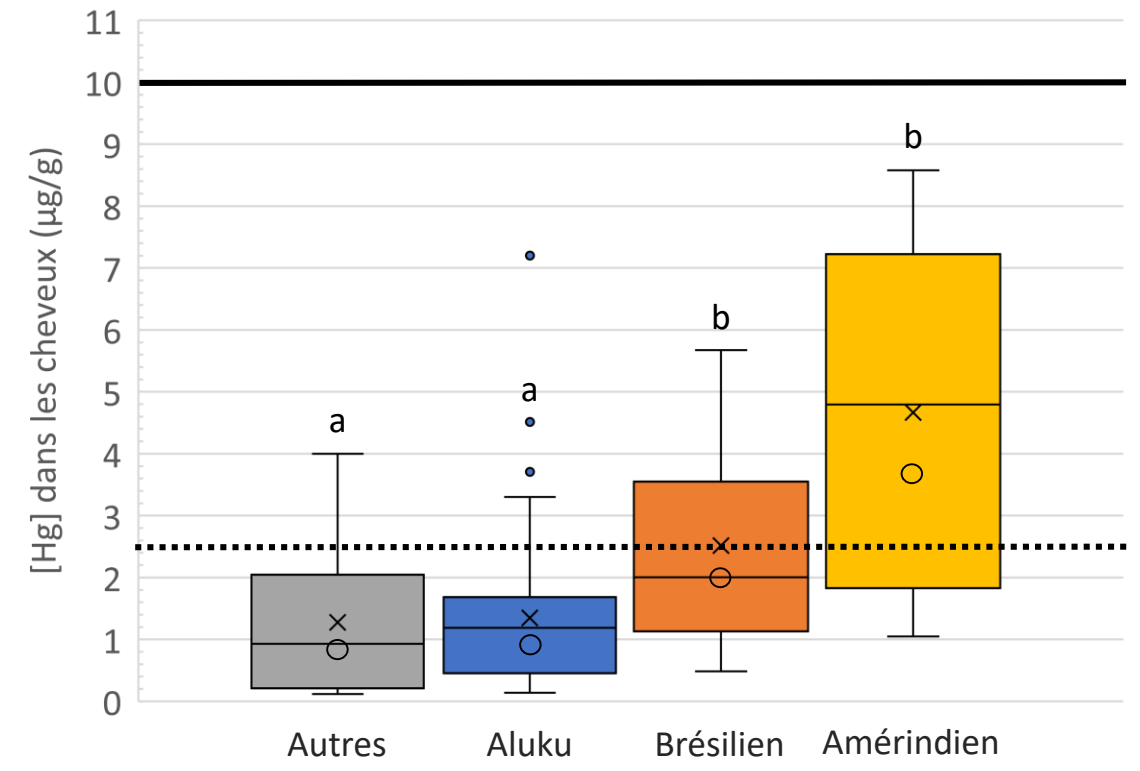
Figure 4: Variation de la concentration en mercure dans les cheveux de 34 femmes enceintes, exprimée en pourcentage suite à la campagne de prévention.

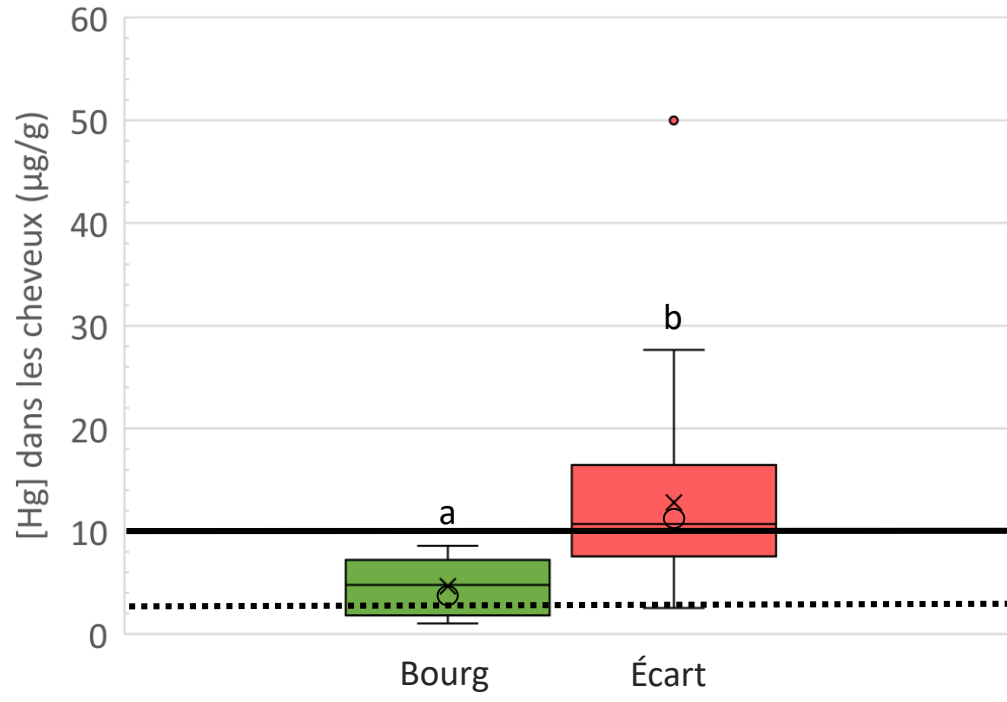


**A**

— Norme OMS

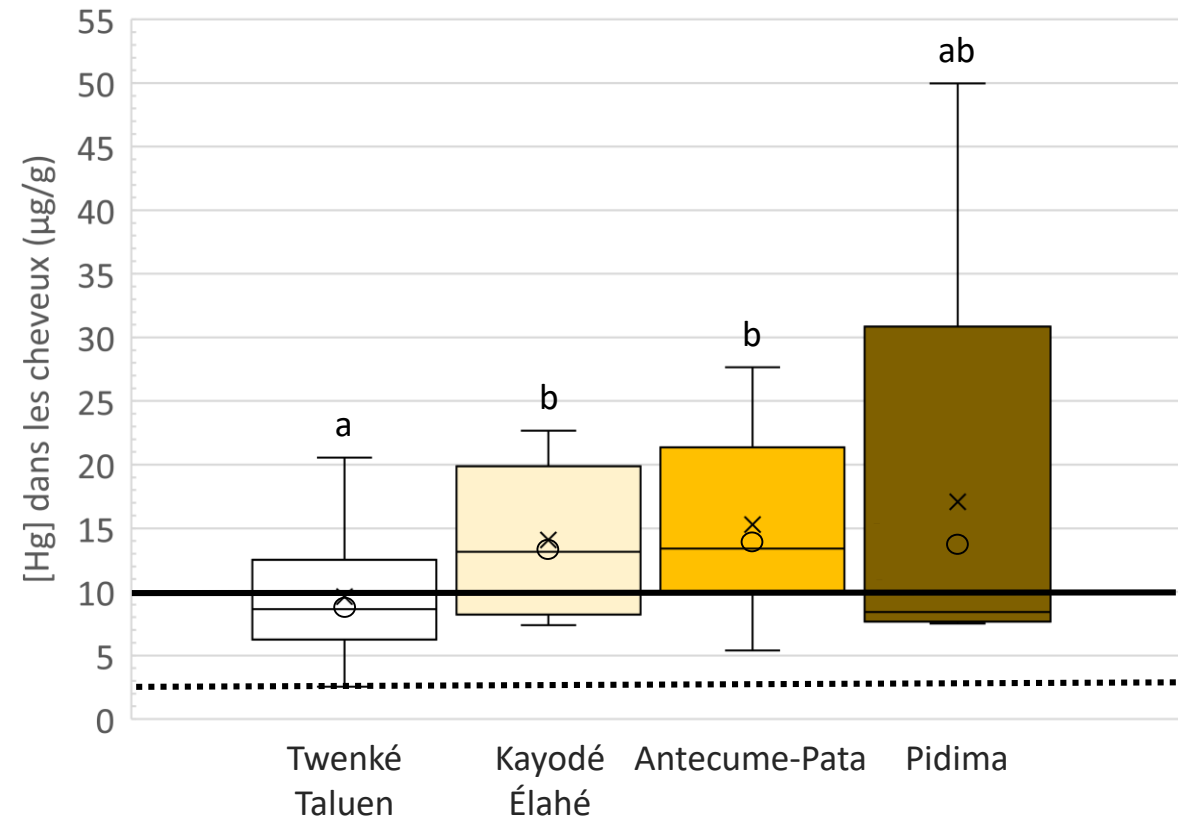
·· Recommandation HAS

**B**

**A**

— Norme OMS

- - - Recommandation HAS

**B**

— Norme OMS

- - - Recommandation HAS



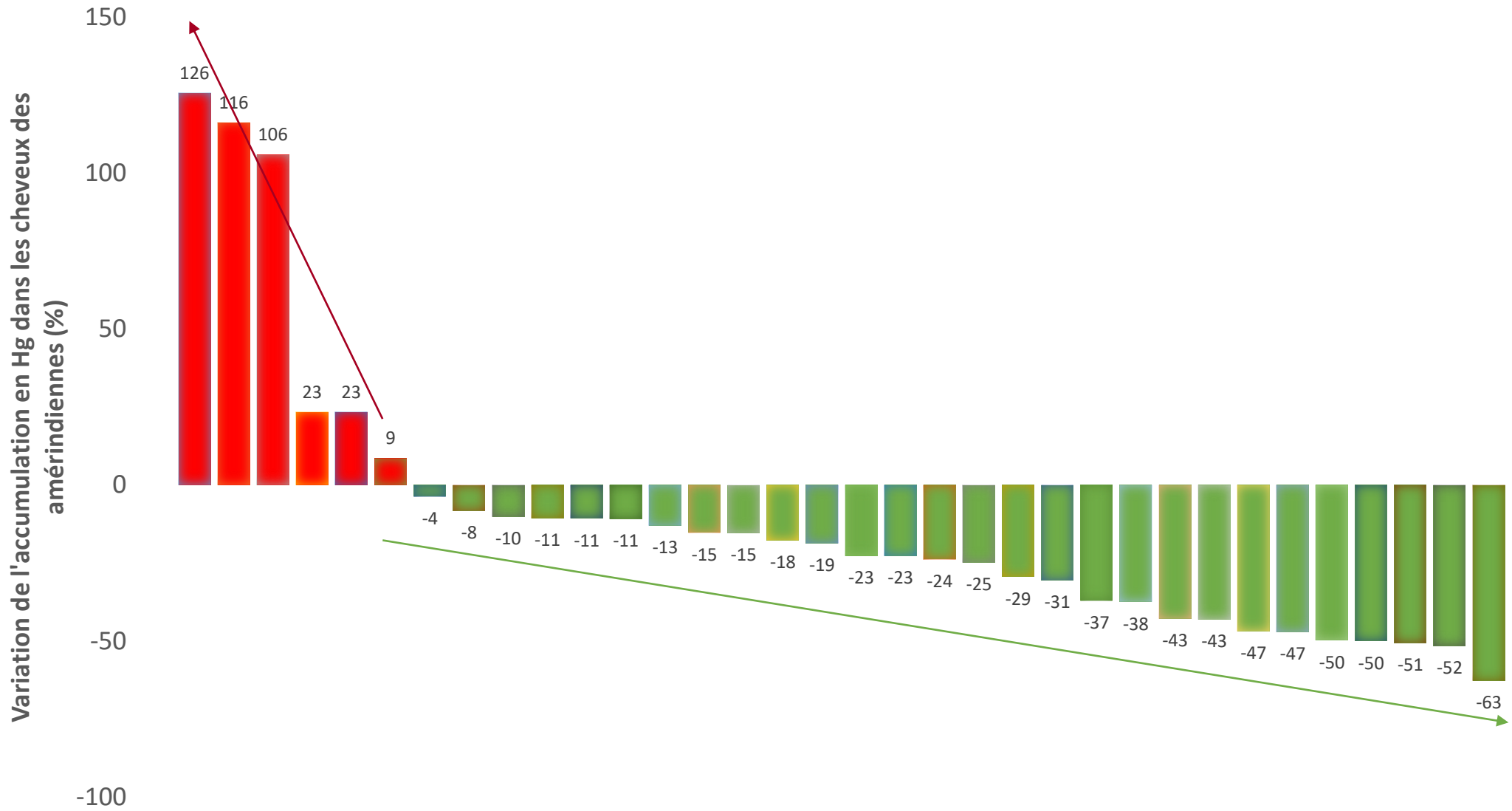


Tableau 1- Concentrations et effectifs des femmes enceintes dans les bourgs et dans les écarts de la région du Haut Maroni en Guyane française.

Unités			Effectif	Moyenne arithmétique	Moyenne géométrique	Médiane	Erreur-type	Concentration minimale	Concentration maximale
			-	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
<b>Bourg</b>	Ethnies	Villes	<b>98</b>	<b>1,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>8,6</b>
	Alukus	Maripasoula	45	1,3	0,9	1,2	0,2	0,1	7,2
		Papaïchton	10	1,6	1,2	1,4	0,4	0,3	4,5
	Brésiliens	Maripasoula	18	2,4	2	2,1	0,4	0,5	5,5
		Papaïchton	9	2,7	2,2	2	0,6	0,6	5,7
	Amérindiens	Maripasoula	6	4,6	3,9	4,8	0,9	1,1	7,8
		Papaïchton	2	4,9	3,3	4,9	3,7	1,3	8,6
	Autres *	Maripasoula	8	1,3	0,7	0,9	0,5	0,1	4
		Papaïchton	-	-	-	-	-	-	-
		Maripasoula	77	1,8	1,2	1,4	0,2	0,1	7,8
		Papaïchton	21	2,4	1,7	1,7	0,5	0,3	8,6
	Alukus		55	1,3	0,9	1,2	0,2	0,1	7,2
	Brésiliens		27	2,5	2	2	0,3	0,5	5,7
	Amérindiens		8	4,6	3,7	4,8	0,9	1,1	8,6
Autres *		8	1,3	0,7	0,9	0,5	0,1	4	
<b>Ecart</b>	Ethnies	Villes	<b>52</b>	<b>12,8</b>	<b>11,1</b>	<b>10,7</b>	<b>1,1</b>	<b>2,5</b>	<b>49,9</b>
	Amérindiens	Pidima	5	17,1	12,4	8,4	8,2	7,5	49,9
		Antécume-Pata	13	15,3	13,9	13,4	1,9	5,4	27,6
		Twenké/Taluen	22	9,6	8,7	8,6	0,9	2,5	20,5
		Kayodé/Elahé	12	14,1	13	13,1	1,6	7,3	22,7

\* "Autres" regroupe des ethnies minoritaires dont les effectifs sont très faibles (asiatiques, créoles, métropolitains)

Tableau 2- Évaluation du risque de l'exposition au mercure des femmes amérindiennes des écarts selon le type de poisson consommé. Ces données sont extraites des publications [12, 42, 51]

Régime alimentaire du poisson	Nombre de poissons	Quantité de poisson par régime alimentaire consommée par les femmes	Concentrations Hg-Total (moyenne arithmétique ± SE) dans les muscles de poissons	Quantité de MeHg dans le muscle des poissons	DJE *	QD **	Poids maximal du poisson par régime alimentaire à consommer pour QD= 1
Unités	-	%	µg/g poids frais	%	µg/kg/jour	-	g
Herbivore	102	22,6	0,013 ± 0,001	78	0,045	0,2	1300
Périphytophage	96	6	0,045 ± 0,01	70	0,137	0,6	450
Benthivore	127	30	0,149 ± 0,01	73	0,471	2,05	125
Omnivore	187	7,9	0,141 ± 0,006	90	0,551	2,4	110
Carnivore	108	6,3	0,207 ± 0,017	95	0,852	3,71	70
Piscivore	157	27	0,643 ± 0,029	95	2,648	11,51	20
<b>Mélange de poissons</b>	<b>777</b>	<b>100</b>	<b>0,247 ± 0,01</b>	<b>83,5</b>	<b>0,894</b>	<b>3,89</b>	<b>70</b>

\* DJE : Dose Journalière d'Exposition en MeHg

\*\* QD (Quotient de Danger) = DJE/DJT (Dose Journalière Tolérable : 0,23 µg/kg/jour)