

■ **EN DEUX MOTS** ■ Les chercheurs d'or quand ils ne prennent aucune précaution sont doublement responsables de la pollution au mercure en Guyane. Le métal présent dans les rivières et les poissons provient effectivement en partie du mer-

curé qu'ils utilisent pour recueillir l'or et qu'ils rejettent dans l'environnement. Mais aussi de l'érosion des sols très anciens, naturellement riches en cet élément, qu'ils amplifient. Dans l'eau, le mercure se trouve à l'état de trace. Mais même à partir de ces

quantités infimes, des bactéries peuvent le transformer en méthylmercure, la forme la plus toxique. C'est elle qui se concentre le long des chaînes alimentaires aquatiques et intoxique *in fine* les populations grandes consommatrices de poissons.

Cet **OR** qui file un mauvais mercure

Pourquoi des Amérindiens qui vivent dans des zones reculées de la Guyane, loin de toute activité minière, sont-ils contaminés par du mercure ? Plusieurs années d'enquête et d'analyses mettent en lumière le périple compliqué de ce métal, depuis les camps des chercheurs d'or jusque dans la chair des poissons préférés des Indiens.

Laurent Charlet
est professeur de géochimie
de l'eau à l'université
Grenoble I
(UMR CNRS-IRD 5559).
laurent.charlet
@obs.ujf-grenoble.fr

Alain Boudou
est professeur
d'écotoxicologie
à l'université Bordeaux I
(UMR CNRS 5805).
a.boudou
@epoc.u-bordeaux.fr

En 1994, une étude du Réseau national de santé publique et de l'Inserm révèle une contamination au mercure, neurotoxique pour l'homme, chez des populations d'Amérindiens vivant dans des zones reculées de la Guyane, les Wayanas. Après cette alerte, des études plus poussées sont menées en 1997 [1]. Elles confirment des taux d'imprégnation* importants dans les villages qui bordent le fleuve Haut Maroni : 57 % des Wayanas ont une concentration en mercure dans les cheveux supérieure à 10 µg/g, la valeur seuil recommandée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Les examens neurologiques et les tests d'évaluation psychologique et comportementale des enfants n'ont cependant pas mis en évidence de déficiences majeures. On est loin de la centaine de morts que fit la contamination d'origine industrielle à Minamata, au Japon, dans les années cinquante. Mais les tests effectués chez les enfants ont néanmoins révélé des réflexes rotuliens accrus, une moins bonne coordination des jambes, une diminution des capacités d'organisation visuo-spatiale, le tout étant lié aux ingestions de mercure [2]. Comment est-il ingéré ? Par la consommation de poissons : selon l'enquête nutri-

tionnelle, tout Wayana entre 15 et 45 ans en consomme en moyenne 350 grammes par jour. Certains hommes adultes peuvent même en manger jusqu'à 600 grammes les jours de grande pêche [3]. Or les niveaux de contamination des poissons sont tels que la quantité de mercure ingérée par semaine (entre 200 et 450 µg) est égale, voire deux fois supérieure, à la dose hebdomadaire tolérable* recommandée par l'OMS, et jusqu'à dix fois plus élevée que la nouvelle dose de référence définie par l'Agence pour la protection de l'environnement aux États-Unis.

Le CNRS met alors en place un programme de recherche interdisciplinaire sur le sujet [4] : pour concevoir et proposer les mesures à prendre, c'est tout le cheminement biogéochimique du mercure, de ses sources aux cheveux des Amérindiens, qu'il faut comprendre et quantifier. Le mercure est un métal très particulier dont le cycle est complexe [5,6]. C'est le seul métal présent sous forme gazeuse dans l'atmosphère, il peut donc circuler à l'échelle du Globe. Il est aussi l'un des seuls capable de s'accumuler le long de la chaîne alimentaire, on parle alors de bioamplification : c'est ce processus qui peut conduire à une contamination humaine [7]. Le mercure existe sous trois formes



LA NOUVELLE FIÈVRE DE L'OR EN GUYANE a multiplié les camps clandestins d'orpailleurs, où les pratiques sont le plus souvent ancestrales et où le souci des retombées environnementales sont peu de mise. © REPORTAGE PHOTOS CHRISTOPHE GIN/VU



principales : le mercure élémentaire (Hg^0), le mercure divalent ($Hg(II)$) et le méthylmercure ($MMHg$) [fig. 2]. Cette dernière forme est la plus toxique pour l'homme, celle qui est bioamplifiée. Mais elle n'est pratiquement jamais le résultat direct des activités humaines : où, quand et comment est-elle donc produite ? À partir de 1998, une douzaine d'équipes s'attellent à résoudre l'énigme. Différentes questions se posent : d'où vient ce mercure ? Sous quelle forme est-il émis ? Où est-il transformé en méthylmercure et en quelles quantités ? Dans quelles conditions cette forme toxique s'accumule-t-elle dans les poissons ? Pour étudier les différents aspects du problème, cinq sites ont été sélectionnés [voir fig.1 ci-contre]. Deux d'entre eux sont situés en aval de mines d'or, suspectées d'être les sources de mercure : la rivière Petit Inini, au niveau du site minier de Dorlin, au sud-ouest de la Guyane ; et la zone de Saint-Elie, avec la rivière Leblond, qui se déverse dans le barrage hydro-électrique de Petit-Saut, localisé à une centaine de kilomètres au sud-ouest de Kourou. Le troisième site est la retenue du barrage elle-même, où le mercure peut être volatilisé ou transformé en méthylmercure. Un quatrième site, Ecerex, sert de référence. Il se trouve de l'autre côté

* **Le taux d'imprégnation** se mesure dans les cheveux car le méthylmercure s'y accumule environ 250 fois plus que dans le sang.

* **La dose hebdomadaire tolérable** est la dose qui peut être consommée chaque semaine au cours d'une vie entière, sans incidence négative sur la santé. Pour l'OMS, elle est de 200 μg de méthylmercure pour un consommateur moyen de 60 kilos, mais la nouvelle dose de référence établie par l'US-EPA en 2001, est de 42 μg .

[1] Programme « Exposition au mercure de la population amérindienne Wayana de Guyane » (1997-1998), à l'initiative de l'Institut de veille sanitaire, de l'Inserm et du Laboratoire d'écophysiologie et d'écotoxicologie des systèmes aquatiques de Bordeaux, rapport de synthèse IVS, Paris, 1999.

⇒ de Kourou, sur la côte près de l'embouchure de la rivière Sinnamary, loin des mines d'or et de leurs retombées atmosphériques. Et, bien sûr, un site a été choisi en territoire Wayana, près du village d'Antecume-Pata, à la frontière avec le Surinam.

Très vite, les résultats ont confirmé la responsabilité des chercheurs d'or. Après la ruée vers l'or de la fin du XIX^e siècle, comme l'ensemble du bassin amazonien, la Guyane française connaît une nouvelle course au métal précieux depuis une vingtaine d'années. Les nouveaux orpailleurs, pour la plupart illégaux, exploitent principalement des sites ayant déjà été explorés superficiellement et utilisent du mercure élémentaire pour séparer l'or des autres particules. Ils dégagent d'abord les sites de leur cou-

verture végétale et des couches superficielles, parfois avec des moyens semi-industriels. Puis, ils érodent les sols par projection d'eau, dans des fosses d'exploitation, les « baranques ». Ils peuvent aussi exploiter directement les sédiments des cours d'eau, qui sont alors aspirés à partir de barges flottantes. Dans les deux cas, la boue produite est acheminée par des pompes puissantes vers des tables inclinées qui retiennent les paillettes d'or dans un tapis. Entre alors en scène le mercure : c'est le seul métal liquide à température ambiante capable de concentrer les fines particules d'or en formant avec elles un amalgame, semblable aux « plombages » utilisés par les dentistes. Au cours de l'opération d'amalgamation, une partie du mercure élémentaire est rejetée directement dans la rivière, sous forme de billes similaires à celles qui s'échappent d'un thermomètre qui se brise. L'amalgame est quant à lui récupéré et chauffé avec un chalumeau, l'or restant au fond du récipient alors que le mercure est volatilisé.

Le mercure est très peu recyclé

Bien qu'une importante partie du mercure puisse être facilement recyclée par distillation et que l'on sache aujourd'hui purifier l'or sans mercure, la majorité des camps d'orpaillage illégaux utilisent l'amalgame sans recycler le métal. De plus, beaucoup d'orpailleurs considèrent qu'au-delà de deux ou trois utilisations, le mercure perd ses propriétés d'amalgamation. Dans la plupart des cas, il est alors enfoui dans le sol, à l'intérieur même des camps ou à proximité, sous couvert forestier. Ainsi, en moyenne, pour chaque kilogramme d'or extrait, on consomme 1,3 kilogramme de mercure élémentaire, dont 65 % à 85 % sont rejetés dans l'atmosphère et retombent, *via* les précipitations, plus ou moins loin des zones d'émission [8]. Quant à la production totale d'or en Guyane française, elle varie suivant les sources : 3 tonnes par an pour la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (Drire), 6 tonnes par an d'après les déclarations aux services des douanes, 10 tonnes (voire 12) selon des sources non officielles tenant compte des exploitations « illégales » et de l'exportation clandestine [9]. C'est donc en gros entre 5 et 10 tonnes de mercure qui sont rejetées dans l'air, les sols et les rivières de Guyane chaque année. À l'échelle de l'ensemble du bassin amazonien, on estime ces rejets annuels à plus de 200 tonnes [8,10]!

Mais les chercheurs d'or sont-ils les seuls responsables de la contamination au mercure ? Des travaux récents ont montré qu'en Amazonie brésilienne les apports de mercure attribuables aux activités d'orpaillage et à la déforestation des trente dernières années représenteraient moins de 3 % des teneurs cumulées dans les sols superficiels [10]. Contrairement aux sols européens, qui datent seulement de la fin de la dernière glaciation (c'est-à-dire d'environ dix mille ans), les sols tropicaux ont accumulé, souvent plusieurs millions d'années durant, de grandes quantités de mercure d'origine naturelle, *via* les retombées atmosphé-



« L'ENFER VERT » N'EST PAS UN MYTHE. Quand on survole la Guyane, ce qui frappe est cette immense couverture végétale intacte, les seules percées étant les sites d'orpaillage.



L'ÉROSION EST L'UN DES GROS PROBLÈMES DE L'ORPAILLAGE. Pour exploiter le sol, les chercheurs d'or mettent les sites à nu et sens dessus dessous, sans réaliser qu'ils disséminent ainsi du mercure d'origine naturelle jusque-là piégé dans les sols.

riques des émissions volcaniques et océaniques. Ces sols, souvent épais d'au moins plusieurs mètres, sont donc de véritables réservoirs à mercure, qu'ils stockent sous sa forme divalente ($Hg(II)$). Et ce d'autant plus qu'ils sont riches en matière organique et en oxydes de fer. Les travaux menés dans la région du Tapajos, au Brésil, indiquent des teneurs allant de 10 à 30 mg/m^2 dans les vingt premiers centimètres du sol, soit environ dix fois plus que dans les sols des régions tempérées et boréales [10]. Qu'en est-il exactement en Guyane ? Les mesures effectuées près des rivières Leblond, Toussaint (site Ecerex) et Petit Inini par Michel Grimaldi, de l'Institut de recherche pour le déve-

loppement (IRD), et ses collaborateurs, confirment l'importance de ces stocks naturels et montrent même qu'ils sont bien plus élevés qu'au Brésil : dans les sols riches en oxydes de fer, les teneurs atteignent une moyenne de 1 000 mg/m^2 sur les trois premiers mètres de profondeur ! Mais il faut noter que les différences sont très fortes d'un type de sol à l'autre.

Une partie de ce mercure peut retourner vers l'atmosphère, lorsque les sols sont temporairement saturés en eau, comme l'ont démontré David Amouroux, chimiste à l'université de Pau, et Michel Grimaldi sur le site Ecerex. Dans de tels milieux privés provisoirement d'oxygène, ⇨

[2] S. Cordier et M. Garel, « Risques neurotoxiques chez l'enfant liés à l'exposition au méthylmercure en Guyane française », rapport IVS, Paris, 1999.

[3] N. Fréry *et al.*, *Environ. Health Persp.*, 109, 449, 2001.

[4] Programme « Mercure en Guyane », Programme environnement, vie et sociétés (PEVS/CNRS), rapports de synthèse 2001 et 2002.

[5] F.M.M. Morel *et al.*, *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 29, 543, 1998.

[6] D. Cossa et C. Gobeil, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57, 138, 2000.

[7] A. Boudou et F. Ribeyre, « Mercury in the food webs », in *Mercury and its Effects on Environment and Biology*, A. Sigel et H. Sigel (éd.), M. Dekker (New York), 1997, p. 289-319.

Fig.2 Le cycle du mercure



DEPUIS DES MILLIONS D'ANNÉES, L'OcéAN, LES LACS ET LES VOLCANS ÉMETTENT DU MERCURE dans l'atmosphère sous forme élémentaire volatile (Hg^0) [16, 17]. À ces sources naturelles s'ajoutent aujourd'hui en Guyane les orpailleurs qui volatilisent du mercure quand ils chauffent l'amalgame utilisé pour recueillir l'or. Ce mercure est en partie oxydé sous l'effet combiné du rayonnement solaire et de l'ozone, et donne la forme ionisée et divalente du métal ($Hg(II)$). Hydrosoluble, celle-ci se concentre dans l'eau et peut aussi se fixer sur les aérosols. C'est principalement sous cette forme que le mercure se retrouve *via* les précipitations dans le sol et les feuilles des arbres [18]. Quand le sol est érodé – naturellement ou par des activités humaines, minières par exemple –, les particules migrent vers les rivières. Elles décantent et sont piégées avec le mercure qu'elles transportent dans les sédiments des cours d'eau et des lacs. L'orpaillage contamine aussi directement les cours d'eau avec du mercure élémentaire liquide (Hg^0) dont une partie peut être oxydée en mercure divalente. Ce dernier pourra ensuite, en milieu dépourvu d'oxygène (eau ou sédiments), être transformé par des bactéries en méthylmercure, la forme la plus toxique du mercure.

ENVIRONNEMENT

* L'eau filtrée est débarrassée des particules dont le diamètre est supérieur à 0,7 µm.

* La spectrométrie de fluorescence atomique est fondée sur la mesure des photons émis par des atomes lorsqu'ils sont excités par un rayonnement électromagnétique, spécifique de l'élément étudié.



UNE SOLUTION POUR LES INDIENS WAYANAS : ne plus manger de poissons carnivores !

⇒ des bactéries peuvent transformer le mercure divalent en forme élémentaire volatile, soit directement *via* l'intervention d'une enzyme (la réductase mercurique), soit indirectement en produisant du fer ferreux qui, à son tour, réduit le mercure [11]. Mais les expériences réalisées en laboratoire par Jean-Paul Gaudet et ses collaborateurs à l'université de Grenoble indiquent que plus de 90 % du mercure reste piégé dans les sols à l'échéance d'une vingtaine d'années. Il y est peu mobile, la très grande majorité du métal étant liée aux agrégats du sol. Ainsi, tant que l'on ne touche pas à ces sols, aucune contamination significative n'est à craindre, et le mercure – pourtant massivement présent – ne passe même pas dans les eaux souterraines. En revanche, tous les processus qui contribuent à accroître l'érosion des sols, qu'ils soient d'origine naturelle (comme le ruissellement lors des orages) ou anthropique (comme les activités minières, la déforestation, l'agriculture ou la construction des réseaux routiers), génèrent un flux important de matières en suspension, donc potentiellement de mercure.

Eau filtrée : aucun danger

À la différence de l'Amazonie brésilienne, où la déforestation est déjà très importante, la couverture végétale est encore quasi intacte en Guyane. Les activités d'orpaillage y sont pratiquement les seules à amplifier les phénomènes d'érosion naturelle. Même quand ils ne rejettent pas direc-

tement de mercure élémentaire lors de l'amalgamation, les chercheurs d'or « injectent » donc dans les rivières des particules porteuses du mercure divalent, jusque-là piégé dans les sols.

C'est par le biais de l'eau que le mercure finit par contaminer les Indiens Wayanas qui, rappelons-le, contrairement aux orpailleurs clandestins (lire « Les plus exposés, les moins contrôlés », p. 58), n'ont jamais été au contact du mercure par inhalation. Mais cela n'explique pas tout car, étonnamment, une fois filtrée*, l'eau des rivières amazoniennes ne contient pratiquement pas de mercure ! Marina Coquery, de l'Agence internationale de l'énergie atomique de Monaco, a mesuré la concentration en mercure dans l'eau filtrée de différents sites à l'aide de techniques dites ultrapropres. Ces concentrations sont de l'ordre du nanogramme ou milliardième de gramme de mercure par litre, ce qui correspond, à titre de comparaison, au rapport entre la surface d'un timbre-poste et celle d'un département français ! À de tels niveaux d'ultra-traces, la moindre contamination pendant le prélèvement ou le transport des échantillons fausse complètement les mesures, qui sont aujourd'hui effectuées, après une étape de préconcentration du mercure élémentaire sur des pièges d'or, par spectrométrie de fluorescence* atomique. La consommation d'eau filtrée ne présente donc aucun danger pour les populations, pas plus que les baignades dans l'ensemble des cours d'eau du bassin amazonien.

[8] L.D. Lacerda, *Nature*, 374, 20, 1995.

[9] C. Taubira-Delannon, « L'or en Guyane : éclats et artifices », Rapport au Premier ministre, 2001.

[10] M. Roulet et al., *Water Air Soil Pollut.*, 112, 297, 1999.

[11] L. Charlet et al., *Chem. Geol.* 190 (124), 301, 2002.

[12] M. Roulet et R. Maury-Brachet, « Le mercure dans les organismes aquatiques amazoniens », in *Le Mercure en Amazonie*, coll. « Expertise collégiale », IRD Éditions, Paris, 2001.

[13] J.W.M. Rudd, *Water Air Soil Pollut.*, 80, 697-713, 1995.

[14] J.R.D. Guimaraes et al., *Sci. Total Environ.*, 261, 99-107, 2000.

[15] Y. Sciamia, *La Recherche*, 339, 93, 2001.

Comment alors expliquer que les poissons pêchés soient impropres à une consommation quotidienne ?

Les teneurs en mercure mesurées dans le muscle dorsal des poissons, sur l'ensemble des sites, montrent tout d'abord que de très grandes différences existent entre les espèces : les poissons piscivores, situés au sommet des chaînes alimentaires, peuvent concentrer mille fois plus de mercure que les espèces herbivores strictes, se nourrissant uniquement de végétaux aquatiques ou de feuilles, fleurs et fruits provenant des rives des cours d'eau [3]. Mais, quel que soit le poisson considéré, le mercure s'accumule majoritairement dans le tissu musculaire sous une nouvelle forme chimique, le méthylmercure, la forme toxique que l'on retrouve dans les cheveux des Amérindiens. Selon les espèces, ce composé représente 70 % à 100 % du mercure total [12]. Cela est d'autant plus surprenant que le méthylmercure est très peu abondant au sein des biotopes aquatiques (colonne d'eau et sédiments) : il y représente le plus souvent moins de 1 % du mercure total, dans l'eau comme dans les particules, soit des concentrations de l'ordre du centième de milliardième de gramme par litre.

On sait que cette forme organique du métal est produite à partir du mercure divalent. Cette transformation, la méthylation*, est principalement assurée par des bactéries

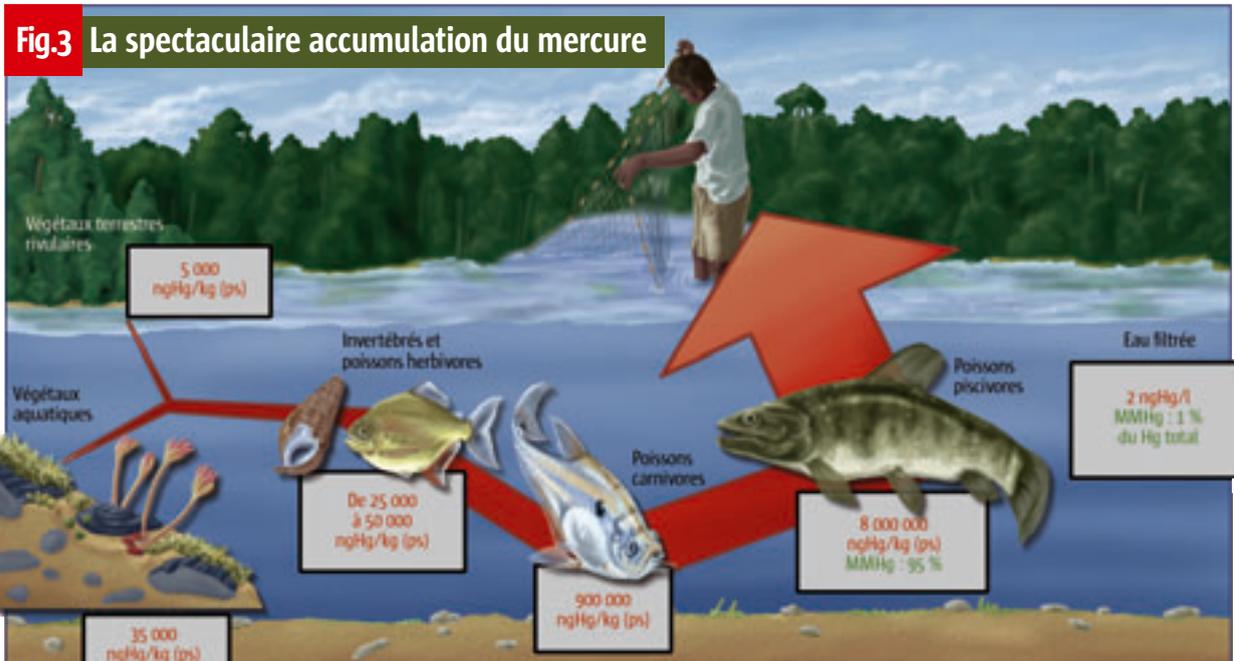
associées au cycle du soufre, même si d'autres voies de cette réaction existent [13]. Elle se fait au sein des compartiments aquatiques dépourvus d'oxygène, comme les eaux anoxiques des plaines inondées ou des lacs stratifiés, ainsi que dans les couches superficielles des sédiments [14]. Mais les bactéries sont aussi capables de dégrader le méthylmercure et de produire *in fine* du mercure élémentaire. Cela explique le bilan peu important de la production nette de méthylmercure. Cependant, même à partir de ces teneurs très faibles, voire négligeables, dans l'eau et les sédiments, le méthylmercure est capable d'atteindre des concentrations spectaculaires dans le tissu musculaire des espèces situées au sommet des réseaux alimentaires [fig.3]. Les résultats de Régine Maury-Brachet, de l'université de Bordeaux, montrent par exemple que l'espèce *Hoplias aimara*, un poisson carnivore/piscivore sédentaire et abondant dans les cours d'eau de Guyane, concentre dans ses muscles jusqu'à cinquante millions de fois plus de méthylmercure que l'eau, dépassant ainsi de trois fois les normes* en vigueur [15].

Cette bioaccumulation dépend-elle du taux de mercure total du départ ? Nous avons comparé deux rivières voisines en amont du barrage de Petit-Saut : Leblond, aux eaux turbides en raison des activités d'orpaillage de la

* **La méthylation** est la fixation d'un groupement méthyle (- CH₃) sur un composé ou un atome.

* **Les normes** pour les teneurs en mercure dans les poissons (mesurées dans le muscle dorsal) varient selon les pays : 0,5 µg/g (poids frais) sur les continents nord et sud-américains et 1 µg/g en France, pour les espèces carnivores. Aux États-Unis, la *safety limit* a été ramenée à 0,3 µg/g en janvier 2001.

Fig.3 La spectaculaire accumulation du mercure



Les taux de mercure chez les organismes vivant dans les cours d'eau de Guyane augmentent de manière spectaculaire au fur et à mesure que l'on s'élève le long des chaînes alimentaires. Cette bioamplification résulte de transferts cumulatifs entre les proies et les prédateurs. Sont indiquées ici les valeurs moyennes des concentrations du mercure total mesu-

rées pour la rivière Leblond, en amont du barrage de Petit-Saut ; elles sont exprimées en nanogrammes de mercure par kilogramme de matière sèche (poids sec) pour les organismes et par litre pour l'eau. Les concentrations dans le muscle des poissons piscivores sont plusieurs centaines de fois supérieures à celles mesurées à la base de la chaîne alimentaire

(végétaux aquatiques ou terrestres) et 4 millions de fois plus grandes que les teneurs dans l'eau. Quant au méthylmercure, il ne représente environ que 1 % du métal présent dans l'eau mais en moyenne 95 % de celui mesuré dans les muscles des poissons piscivores.

Données : LEESA-université Bordeaux I / CESAC-université Toulouse III / AIEA Monaco).

« Les plus touchés, les moins contrôlés »

■ Directement confrontés aux vapeurs de mercure quand ils chauffent des amalgames, les orpailleurs sont en fait les plus exposés. Ils sont souvent brésiliens et travaillent en situation très précaire dans des chantiers illégaux et isolés, sans contrôle médical ni information sur les risques encourus. Ils peuvent présenter des symptômes d'exposition aiguë ou chronique au mercure élémentaire : perturbation de la fonction respiratoire, dysfonctionnements du système nerveux central (tremblements des mains et du visage, mouvements brusques et saccadés des lèvres), de l'appareil gastro-intestinal et de la fonction rénale. Ces populations à risques sont en plus très souvent affectées par d'autres maladies endémiques, comme le paludisme, les hépatites ou la fièvre jaune.



⇒ zone de Saint-Elie, et Courcibo, aux eaux claires car non orpaillée au cours des dernières décennies [fig. 4]. Leblond contient environ cinq fois plus de particules en suspension, et donc beaucoup plus de mercure total que Courcibo. On pouvait donc s'attendre logiquement à un excès de contamination des poissons dans la rivière Leblond. Or, il n'en est rien : le dosage dans le muscle de douze espèces communes aux deux cours d'eau ne montre pas de différences significatives entre l'un et l'autre. Le vrai facteur déterminant est donc le taux de méthylmercure présent dans l'eau filtrée et non celui du mercure total. Les teneurs en méthylmercure sont en effet très proches dans les deux rivières, représentant 1 % du mercure total dissous pour Leblond, et 1,7 % pour Courcibo, d'où une bioamplification similaire dans les deux cours d'eau.

Toute une chaîne de réactions

On voit ainsi toute la difficulté à définir la contamination d'un milieu uniquement par la concentration totale en mercure, qui est un indicateur certes relativement simple à mesurer mais insuffisant. C'est toute une chaîne de réactions biogéochimiques qu'il faut prendre en compte. L'étude du barrage de Petit-Saut, mis en eau en 1994 pour alimenter en électricité le centre spatial de Kourou, est exemplaire à cet égard. Cette retenue, qui a recouvert plus de 350 km² de forêt amazonienne, a très rapidement été dépourvue d'oxygène sur la quasi-totalité de la colonne d'eau. En 2001, sept ans après la mise en eau, seuls les 5 premiers mètres étaient oxygénés. Tout le reste (la profondeur maximale est de 35 mètres) est donc un milieu favorable tant à la réduction qu'à la méthylation du mercure [11, 16]. Les dosages de méthylmercure à diverses profondeurs dans le lac, et juste à l'aval du barrage, indiquent des concentrations moyennes de 0,50 ng/l, soit plus de dix fois celles mesurées en amont et dans les autres sites ! Ainsi, la retenue de Petit-Saut se comporte comme un réacteur biogéochimique capable de générer de fortes

quantités de méthylmercure qui sont exportées vers l'aval, via les eaux profondes de la retenue qui alimentent les turbines du barrage. Les concentrations mesurées chez neuf espèces de poissons communes aux différentes stations (Courcibo, Leblond, retenue, aval du barrage) prouvent à nouveau le rôle clé du méthylmercure dans l'eau. Les poissons capturés juste en aval du barrage en accumulent nettement plus que ceux pris en amont et dans les autres sites, jusqu'à dix fois plus pour l'espèce *Curimata cyprinoides*.

Ainsi de tous les sites étudiés le plus contaminé se trouve en réalité à des centaines de kilomètres des villages du Haut Maroni. D'autres populations pourraient donc être plus exposées au mercure, à condition d'être de grandes consommatrices de poissons comme les Indiens Wayanas. Pour les identifier, un inventaire est en cours (niveaux de contamination des principales rivières de Guyane, tant au niveau des sédiments que des poissons) ainsi que des études similaires à celles menées sur les Wayanas, dans d'autres secteurs de la Guyane (Sinnamary, Bas Maroni, etc.).

Au vu de l'ensemble de ces résultats, que peut-on faire pour contrôler la pollution au mercure et tenter d'en réduire les conséquences ? Aborder cette question conduit inévitablement à recommander de traiter l'ensemble des problèmes économiques, sociaux, culturels et politiques que pose l'orpaillage [8]. Car cette activité est bel et bien responsable de la contamination, soit directement par apports de mercure élémentaire, soit indirectement par l'amplification des processus d'érosion des sols.

La première mesure, la plus efficace et la seule dont on soit actuellement certain du résultat, consisterait à convaincre les Amérindiens de ne plus manger certains poissons carnivores/piscivores (les études réalisées en 1997 sur les villages Wayanas montraient que quatre espèces sont à elles seules responsables de plus de 70 % des apports nutritionnels en mercure [3]) et de consommer plutôt les espèces herbivores et omnivores. Une telle mesure semble difficilement acceptable pour eux. Elle pourrait être envisagée dans le cadre de campagnes d'information pertinentes et adaptées – les autorités guyanaises y travaillent actuellement – tenant compte de l'importance des poissons carnivores dans la culture des Amérindiens. Quand on leur en parle, ces derniers répondent légitimement que les poissons à éviter sont les meilleurs et que l'on devrait d'abord interdire l'orpaillage...

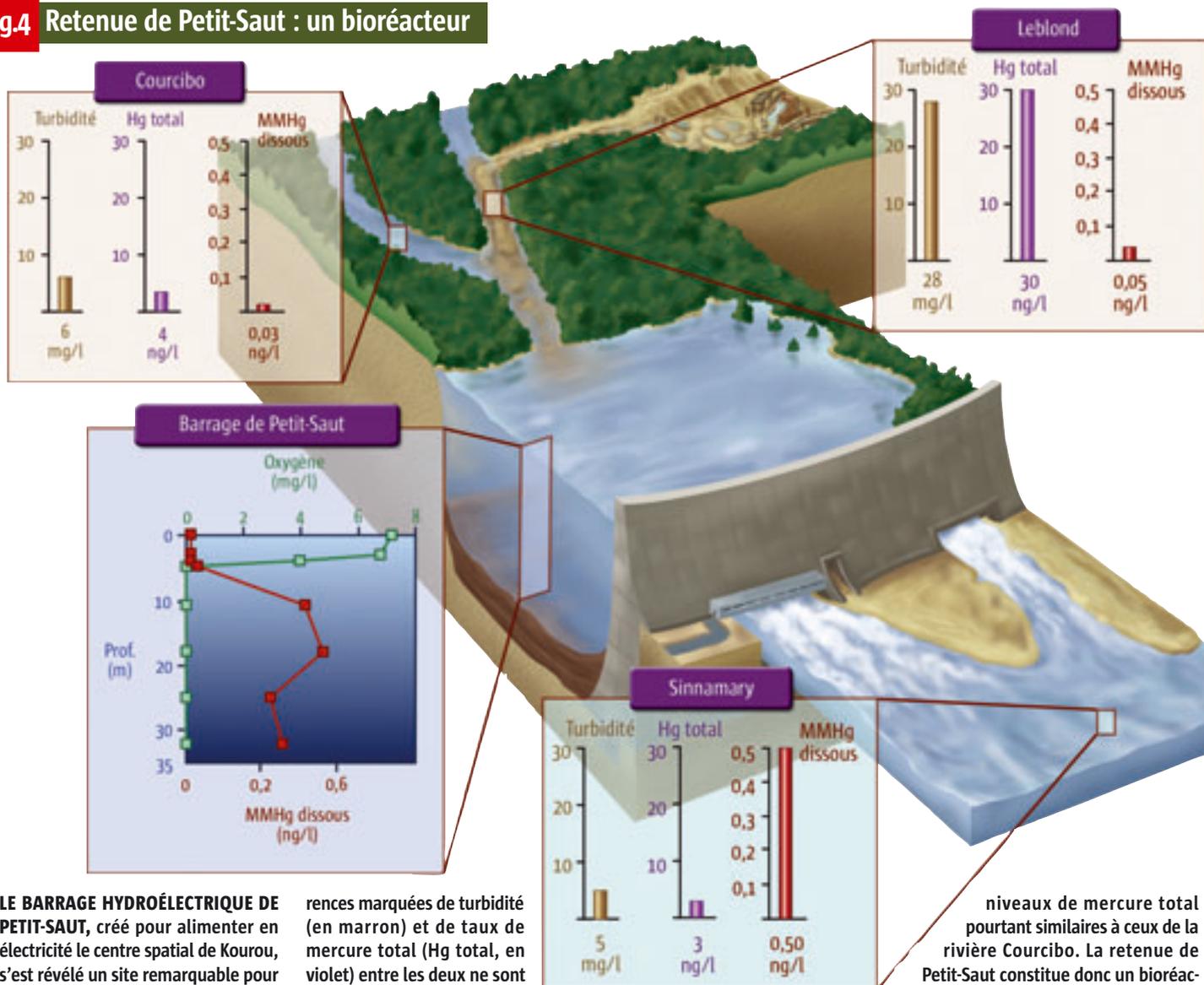
On pourrait effectivement préconiser de remettre en question l'orpaillage, ou au moins d'adopter une politique plus sévère de gestion des activités minières. Cela passerait par un contrôle strict et fréquent des sites, et par la formation des orpailleurs, car des solutions techniques de récupération de mercure et de limitation des rejets existent. Mais en raison du caractère souvent clandestin de ces activités et de l'isolement des sites d'orpaillage, la tâche n'est pas simple. De plus, on manque encore de données *in situ* sur les impacts réels de l'orpaillage et de l'exploitation

[16] D. Amouroux *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 33, 3044, 1999.

[17] C. Beucher *et al.* *Sci. Tot. Environ.*, 290, 131, 2002

[18] M. A. Mélières *et al.*, *Sci. Tot. Environ.*, sous presse.

Fig.4 Retenue de Petit-Saut : un bioréacteur



LE BARRAGE HYDROÉLECTRIQUE DE PETIT-SAUT, créé pour alimenter en électricité le centre spatial de Kourou, s'est révélé un site remarquable pour l'étude du mercure. En amont du barrage, deux rivières confluent avant de se déverser dans la retenue : la première, Leblond, draine les apports du site d'orpaillage de Saint-Elie ; la seconde, Courcibo, n'a pas été influencée par les activités minières au cours des dernières décennies. Les diffé-

rences marquées de turbidité (en marron) et de taux de mercure total (Hg total, en violet) entre les deux ne sont donc pas surprenantes : l'orpaillage, qui conduit à une amplification de l'érosion des sols naturellement riches en mercure et à des rejets de la forme élémentaire du métal les explique. En revanche, et beaucoup plus étonnant, les concentrations de la forme organique du mercure, le

méthylmercure dans l'eau filtrée (MMHg, en rouge) sont tout à fait comparables entre les deux rivières. Ce qui n'est plus vrai en aval du barrage, où les eaux du fleuve Sinnamary contiennent dix fois plus de méthylmercure, pour des

niveaux de mercure total pourtant similaires à ceux de la rivière Courcibo. La retenue de Petit-Saut constitue donc un bioréacteur extrêmement efficace pour la transformation du mercure en méthylmercure : dès qu'il n'y a plus d'oxygène dans l'eau (courbe verte), en dessous de 5 mètres de profondeur, les conditions sont réunies pour produire du méthylmercure (courbe rouge).
Données M. Coquery

minière contrôlée. Des études débuteront en 2003 sur un site minier expérimental pour distinguer les apports anthropiques des apports naturels en mercure.

En termes de politique d'aménagement du territoire, les résultats concernant la richesse naturelle en mercure des sols de Guyane sont très importants. On l'a vu, ce métal ne porte pas à conséquence tant qu'il reste piégé. Aujourd'hui, les orpailleurs sont pratiquement les seuls à toucher à cet énorme stock. Mais, si à l'avenir on construisait des routes, de nouvelles mines, etc., on risquerait de connaître de gros problèmes. Une deuxième mise en garde découle des résultats obtenus sur le site de Petit-Saut : toute création ou extension de zones d'eaux anoxiques (style barrages, marécages ou zones inondables) favori-

sera le développement de bactéries sulfato-réductrices, et donc les conditions de production de méthylmercure. Or, une fois que cette forme de mercure est présente dans les systèmes aquatiques, il se révèle difficile de contrôler les processus de bioamplification qui conduisent à la contamination des populations. ■ L. C. et A. B.

POUR EN SAVOIR PLUS

- L.D. Lacerda et W. Salomons, *Mercury from Gold and Silver Mining : a Chemical Time Bomb*, Springer, Berlin, 1998.
- *Le Mercure en Amazonie*, coll. « Expertise collégiale », IRD Éditions, 2001.
- *Mercury and its Effects on Environment and Biology*, M. Dekker Inc., New York, 1996.
- J.G. Wiener et al., « Ecotoxicology of mercury », in *Handbook of Ecotoxicology* (seconde édition), CRC Press, Boca Raton (États-Unis), 2002.