



HAL
open science

ORPAILLAGE ET CONSTRUCTION DE BARRAGES EN GUYANE FRANÇAISE, UNE ALCHIMIE RISQUEE

Bogdan Muresan

► **To cite this version:**

Bogdan Muresan. ORPAILLAGE ET CONSTRUCTION DE BARRAGES EN GUYANE FRANÇAISE, UNE ALCHIMIE RISQUEE. ORPAILLAGE ET CONSTRUCTION DE BARRAGES EN GUYANE FRANÇAISE, UNE ALCHIMIE RISQUEE, May 2008, Créteil, France. hal-00414234

HAL Id: hal-00414234

<https://hal.science/hal-00414234>

Submitted on 8 Sep 2009

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.

ORPAILLAGE ET CONSTRUCTION DE BARRAGES EN GUYANE FRANÇAISE, UNE ALCHEMIE RISQUEE

Bogdan MURESAN, CEREVE, UMR-MA 102, Université Paris-Est et
AgroParisTech-ENGREF

Université Paris 12 Val de Marne, Faculté de Sciences et de Technologie, 61
avenue du Général de gaulle, 94010 Créteil Cedex
Tél : 01 45 17 16 25. Fax : 01 45 17 16 27.

Courriel : bogdan.muresan@univ-paris12.fr

Résumé

Le 28 février 2005, la Charte de l'Environnement est adoptée par le Parlement français et promulguée le 1^{er} mars 2005 par le Président de la République. L'article premier stipule que « chacun a le droit de vivre dans un environnement équilibré et respectueux de la santé ». Or, ces dernières années ont vu les services de l'Etat (DIREN, InVS, ONF, etc.) et certains acteurs politiques prendre conscience du désordre régnant dans les méthodes d'exploitation de l'or en Guyane Française et des conséquences de l'exposition au mercure (Hg) pour la santé et l'environnement. Il était temps! Sur l'ensemble de la Guyane on compte 2 compagnies internationales, 26 PME, 60 artisans et 600 à 800 chantiers illégaux d'orpaillage. On (sous)estime ainsi que l'orpaillage illégal emploie près de 10 000 personnes souvent dans des conditions sanitaires déplorable et participe chaque année au rejet direct de 5 à 10 tonnes de mercure dans l'environnement. Alors que les stocks sont estimés à 120 tonnes d'or primaire, les orpailleurs professionnels guyanais admettent un rapport de 1,3 grammes de mercure additionné pour 1 gramme d'or produit. Cependant, les importations de mercure et la production déclarée d'or ne correspondent guère (respectivement 8,4 et 3,2 tonnes en 2003)! Ce mercure d'origine anthropique, d'une part a réalisé des stocks historiques énormes (300 tonnes selon le BRGM) et d'autre part se partage le terrain avec un mercure naturellement important (10 fois plus concentré qu'en Europe), partiellement libéré par l'activité d'extraction minière. C'est pourquoi, l'abandon du mercure légal dont l'interdiction est survenue en 2006, ne règle ni la question de l'orpaillage illégal ni celle de la remobilisation du mercure naturel.

C'est dans ce contexte préoccupant qu'a été initiée en 2003 la phase II du programme « Mercure en Guyane ». L'axe II de la phase II du programme (incluant notre projet de recherche) a pour vocation d'étudier le cycle biogéochimique du mercure depuis les sources d'émission jusqu'aux voies de transfert vers les populations humaines. Il a pour cadre géographique le continuum formé par la retenue de Petit-Saut et l'Estuaire du Sinnamary. Le travail effectué s'est attaché à analyser l'impact de la retenue sur le cycle du mercure dans les compartiments sols, eau et atmosphère du continuum. Il a permis d'identifier, de décrire et de quantifier les sites privilégiés de transformation, les cinétiques des processus et les flux de mercure aux interfaces.

Mots-Clés : *orpaillage, Guyane française, pollution, mercure, méthylation.*

1. Chronique d'une contamination annoncée

L'eau est un enjeu. Son utilisation à des fins énergétiques est d'autant plus manifeste que les besoins ne cessent d'augmenter au détriment des ressources disponibles. Une simple constatation : sur notre planète bleue moins de 2,5 % de l'eau est douce, moins de 33% de l'eau douce est fluide, moins de 1,7 % de l'eau fluide s'écoule dans les rivières ou les fleuves. Et l'Homme s'obstine à bloquer le cours de la fraction restante. Alors que la moitié des fleuves et des rivières subissent la régulation de barrages, leur construction ne cesse de s'accélérer à un rythme et une échelle sans précédents. Ainsi, un barrage est construit toutes les heures (World Commission on Dams, 2000) et leur nombre dépasse 45 000 (dont 22 000 en Chine, 6 400 aux Etats-Unis d'Amérique et à peine plus de 4 000 en Inde). La construction de barrages a pour vocation de permettre l'irrigation de diverses cultures, l'utilisation domestique ou industrielle de l'eau, la production d'hydroélectricité ainsi que la maîtrise des crues. Toutefois, plus un projet est ambitieux, plus ses conséquences sont lourdes et durables (jusqu'à plusieurs dizaines d'années). En noyant des vallées entières, la construction de barrages peut provoquer à la fois (i) des bouleversements humains en forçant des populations entières à se déplacer (barrage des Trois Gorges en Chine) et (ii) avoir un impact écologique en perturbant fondamentalement l'écosystème local (par exemple en empêchant la migration d'espèces aquatiques entre l'amont et l'aval d'un barrage). En modifiant le cours, les débits ou la qualité des eaux rejetées, les barrages conditionnent par ailleurs l'accès ainsi que le droit d'une partie des populations riveraines à l'eau (e.g., barrage Atatürk sur l'Euphrate en Turquie). Ils constituent un outil politique, économique et environnemental incontournable du 21^{ème} siècle, aussi bien à l'échelle régionale, nationale qu'internationale.

Les réservoirs d'eau créés par les barrages et l'inondation des zones avoisinantes sont particulièrement préoccupants parce qu'ils instaurent des conditions favorables à la formation de l'espèce la plus toxique de mercure (Hg) : le monométhylmercure (MMHg). En submergeant d'immenses surfaces, les barrages contribuent à une brusque dégradation de la matière organique (MO) contenue dans les sols ou la végétation. Celle-ci libère du Hg qui dans certaines conditions se transforme en MMHg susceptible de s'accumuler le long des chaînes alimentaires (World Commission on Dams, 2000). Selon Hydro-Québec, dans plusieurs réservoirs du Canada (e.g., complexe hydroélectrique La Grande, barrage et la baie James), les concentrations en Hg des poissons sont supérieures à celles jugées sans danger pour la consommation par les humains ou par les animaux ichtyophages comme les loutres ou les huards. Près de ces barrages, les femmes enceintes et les enfants doivent s'en tenir à une consommation limitée de poissons (moins de 200 grammes par semaine d'une espèce contenant 1 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Hg). Ce constat n'est pas limité aux hautes latitudes, il s'applique surtout aux régions tropicales (e.g., barrage de Tucurui au Brésil, de Guri au Venezuela, d'Assouan en Egypte, de Mae-peum en Thaïlande). Une présence accrue de mercure, des conditions favorables de méthylation (températures stables et élevées, forte dégradation de la MO, intense activité bactérienne) et des changements notables de la chaîne alimentaire, expliqueraient les fortes teneurs en MMHg rencontrées dans les poissons des réservoirs tropicaux et en aval de ceux-ci. Ainsi, dans les lacs de barrage du Brésil, les organismes aquatiques sont en règle générale plus fortement imprégnés en MMHg que dans les milieux non perturbés situés en amont (Porvari, 1995). Par ailleurs, il est fréquent que des communautés humaines s'installent sur les rives des réservoirs néoformés construisant des villages et ouvrant des voies d'accès vers l'intérieur des terres. En procédant au déboisement, elles accroissent la lixiviation et l'érosion des sols et, par conséquent, l'exportation de Hg vers le milieu aquatique (Roulet et al., 1999). Finalement, la mise en eau de réservoirs amazoniens génère un risque de développement de maladies tropicales comme le paludisme,

la fièvre jaune et la dengue. L'affaiblissement de l'état de santé des populations riveraines les rend dès alors plus sensibles à l'intoxication par le Hg via la consommation de poissons contaminés.

2. Le barrage de Petit-Saut en Guyane Française

Entre 1976 et 1983 les besoins en énergie de la Guyane ont triplé, passant de 59 à 164 GWh. Compte tenu de l'accroissement démographique (~ 2,9 % en 2000), du développement de projets tels que Télédiffusion de France ou du Centre Spatial Guyanais (CSG), la consommation d'électricité a continué d'augmenter à raison de 10 % a⁻¹. En 2002, elle représentait près de 460 GWh (CIA World Factbook, 2005). C'est pour faire face à la demande et pour limiter l'importance des combustibles fossiles qu'en 1989 la décision de construction du barrage de Petit-Saut fut prise. Edifié par Electricité de France (EDF), le barrage de Petit-Saut est situé à la confluence du moyen Sinnamary et d'un cours d'eau mineur, la crique Coeur Maroni, dans le resserrement naturel favorable à une telle installation (coordonnées GPS, 5°03,45'N - 53°02,46'O). Sa construction s'achèvera en 1994 après quatre ans de travaux sans guère provoquer de mobilisations écologiques, à l'exception notable d'une campagne de banderoles le jour de la mise en eau. Avec une puissance de 116 MWh, la centrale hydroélectrique de Petit-Saut a fourni en 1999 près de la moitié (~ 47 %) de l'énergie électrique guyanaise.

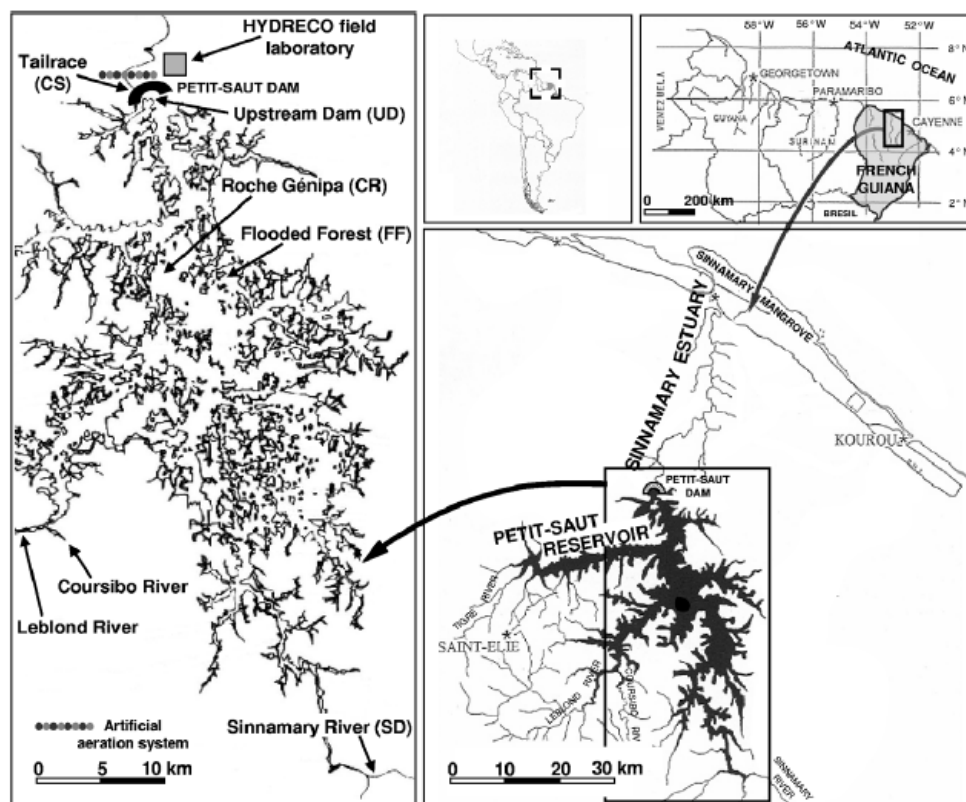


Figure 1 : Sites de la retenue de Petit-Saut et de l'estuaire du Sinnamary en Guyane française.

La mise en eau du barrage a conduit à la création d'un lac artificiel de 60 km de long par 60 km de large (Figure 1). Il s'agit de la plus grande retenue d'eau et surface immergée sur le

territoire français (données CFBR, 2005). Avec une profondeur maximale de 35 m en son centre, la retenue recouvre près de 350 km² de forêt primaire pour un volume de 3,5 milliards de m³ (Huynh et al., 1997). Le temps de résidence moyen des masses d'eau y est estimé entre 5 et 6 mois (Sissakian, 1997). Le réservoir est alimenté en permanence par le fleuve Sinnamary (débit moyen de 190 m³ s⁻¹) et suivant les saisons via les cours d'eau (localement appelées « Criques ») Courcibo, Leblond et Tigre. Il est intéressant de noter que les criques Leblond et Courcibo drainent la zone minière de St.-Elie où l'or demeure exploité artisanalement. Deux mois après la mise en eau, la dégradation de la matière organique (MO) des sols et de la végétation immergée (certains troncs laissés sur pied mesurent près de 30 m de haut) a abouti à la stratification de la colonne d'eau (Richard et al., 1997). Le réservoir stratifié, quasi méromictique, est composé d'un épilimnion oxygéné depuis la surface jusqu'à 7 m de profondeur. Plus en profondeur, selon Horeau et al. (1998), l'hypolimnion anoxique est enrichi par un flux constant de produits de dégradation de la MO inondée (N ammoniacal, phosphates, acides humiques, etc.) et de matériaux relargués par le substrat géologique (fer, manganèse, silice et... mercure). En aval du barrage, le fleuve Sinnamary se prolonge sur 70 km et sous couvert forestier tropical jusqu'à l'océan Atlantique. Si l'on définit l'estuaire par l'intrusion de la marée dynamique, une grande partie de ce fleuve est en fait son estuaire. Sur la base de la marée saline, il ne commence toutefois que dans les parages du village de Sinnamary. A la sortie des turbines, une cascade artificielle provoque l'oxygénation des eaux en grande partie issue de l'hypolimnion de la retenue. Toutefois, des produits réducteurs résiduels (e.g., sulfures, fer dissous, méthane) entraînent une consommation graduelle de l'oxygène apporté. La distribution de l'oxygène dissous vers l'aval adopte un profil en sac du pied du barrage à l'embouchure de l'estuaire.

En 2001 (phase I du programme « Mercure en Guyane »), sept ans après la mise en eau, seuls les 5 premiers mètres de la colonne d'eau étaient oxygénés. Tout le reste semble donc un milieu favorable tant à la réduction qu'à la méthylation du Hg (Charlet et Boudou, 2002 ; Amouroux et al., 1999). 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⁻¹, soit plus de dix fois celles mesurées en amont et dans les autres sites (Coquery et al., 2003). Ainsi, la retenue de Petit-Saut se comporte comme un véritable 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* (Boudou et al., 2005).

3. Le cycle local du mercure

Depuis l'atmosphère en passant par la retenue, l'estuaire du Sinnamary et jusqu'à l'océan atlantique, la construction du barrage de Petit-Saut perturbe profondément le cycle naturel du mercure à l'échelle locale.

Le mercure atmosphérique (Figure 2) accède directement à la retenue via les précipitations. Cette source représente 11 ± 7 moles a⁻¹ de Hg_{TUNF} (près de 75 % du dépôt total) dont 0,7 moles a⁻¹ sous forme de MMHg_{TUNF} (les indices UNF et D correspondant aux fractions non filtrée et dissoute, respectivement). L'intense rayonnement solaire et une végétation éparse favorisent les mécanismes de photoréduction dans les eaux de surface de la retenue et par

Orpaillage et construction de barrages en Guyane française, une alchimie risquée

conséquent le recyclage du mercure aquatique vers l'atmosphère. L'évasion atteint 23 ± 10 moles a^{-1} . La variabilité saisonnière est marquée : en saisons humides les dépôts dominent (150 vs 130 $pmol\ m^{-2}\ j^{-1}$) tandis qu'en saisons sèches il s'agit de l'évasion (400 vs 100 $pmol\ m^{-2}\ j^{-1}$). En moyenne, les flux annuels de Hg entrants et sortants à l'interface air / eau de la retenue (respectivement 60 et 90 $nmol\ m^{-2}\ a^{-1}$) sont comparable à ceux de l'océan Atlantique (respectivement 40 et 110 $nmol\ m^{-2}\ a^{-1}$).

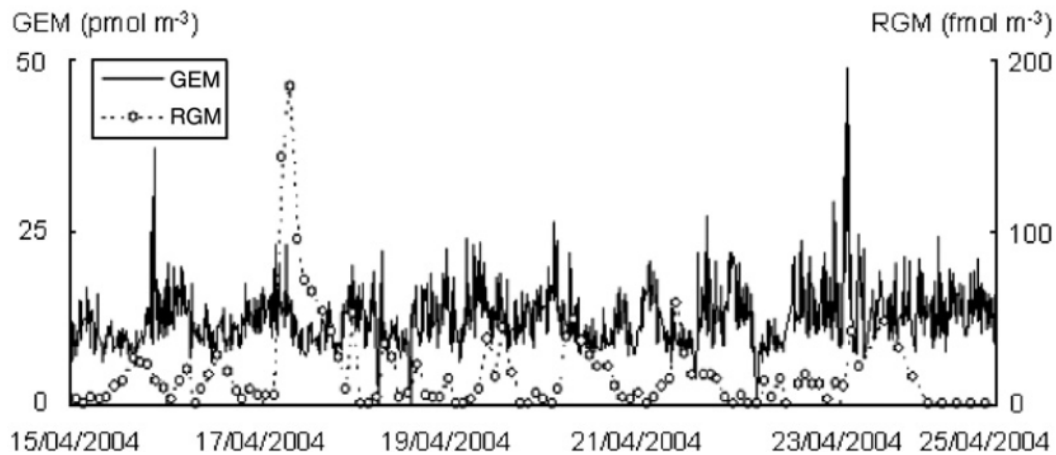


Figure 2 : Variations des concentrations en mercure élémentaire gazeux (GEM) et mercure réactif gazeux (RGM) dans l'atmosphère surplombant la retenue de Petit-Saut.

Depuis 1995 (date de mise en eau du barrage), les entrées cumulées de Hg dans la retenue de Petit-Saut sont estimées à environ 8000 moles. Celles-ci sont en grande partie ($> 95\%$) d'origine « naturelle » : dégradation des sols et de la végétation immergée. De nos jours, la retenue importe principalement le mercure via ses affluents : soit 76 moles a^{-1} de $Hg_{T_{UNF}}$ dont $4,7$ moles a^{-1} en tant que $MMHg_{UNF}$ (Figure 3). Les sources historiques (sols + végétation envoyée) ne représentent plus que $\sim 20\%$ des apports via les affluents. Bien qu'apparente, la signature de la zone minière de St.-Elie demeure cantonnée (sauf événements pluviaux majeurs) en amont des cours d'eau orpaillés (Courcibo et Leblond). Une fois dans de la retenue, le mercure subit toute une chaîne complexe de transformations couplant changements de substrat et de spéciation. A terme, le Hg est transféré vers l'atmosphère, les sédiments, le biota ainsi qu'en contrebas du barrage. On estime que ce dernier exporte 78 moles a^{-1} de $Hg_{T_{UNF}}$ dont $13,5$ moles a^{-1} de $MMHg_{UNF}$.

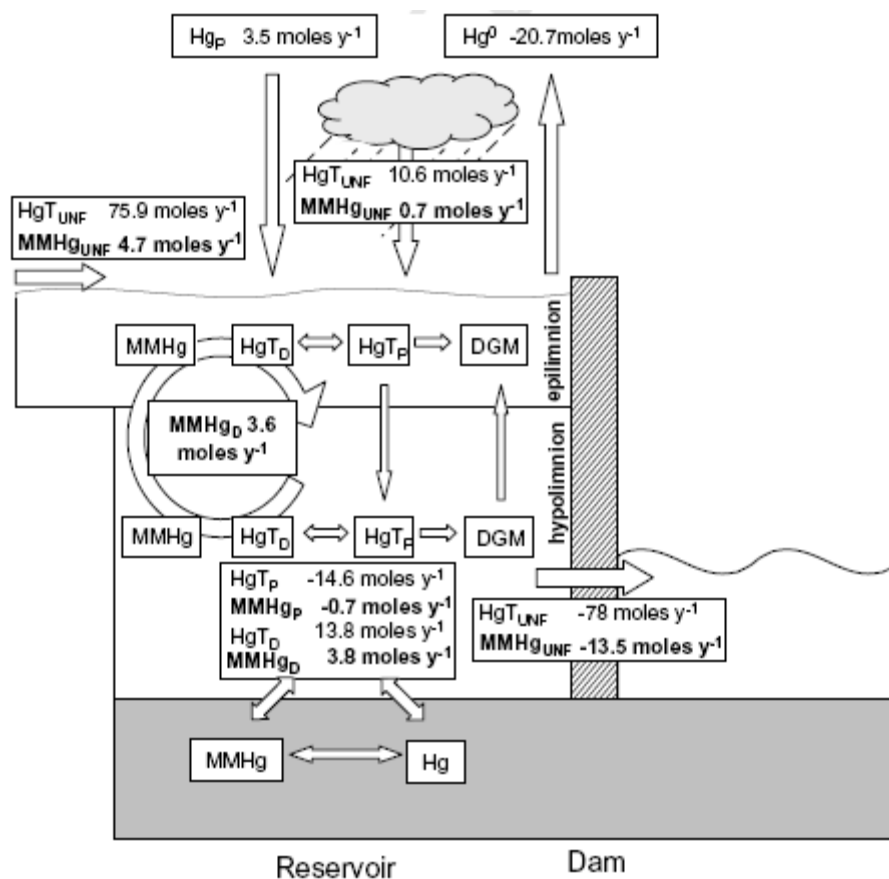


Figure 3 : Cycles du mercure total et du monométhylmercure dans la retenue de Petit-Saut.

A partir du bilan de masse en MMHg et de la distribution verticale des espèces de Hg, nous avons conclu que la retenue constitue un site privilégié de méthylation. La production *in situ* de MMHg a lieu dans des sites particuliers que sont la chemocline et l'interface benthique. A l'aide d'outils de modélisation, nous avons montré que ces sites, couplant conditions rédox transitoires et intense recyclage de la MO, Fe et S, favorisent la formation d'espèces inorganiques méthylables de mercure. La production *in situ* de MMHg_{UNF} (ou de MMHg_D) atteint pour l'ensemble de la retenue 8,1 (7,3) moles a⁻¹ soit un taux de méthylation de 0,06 (0,08) % j⁻¹. Cette valeur met en évidence le rôle de réacteur chimique joué par la retenue de Petit-Saut : altération de la spéciation du mercure au profit des composés méthylés.

L'estuaire du Sinnamary représente plus qu'un simple tuyau convoyant l'eau exportée par la retenue vers l'océan Atlantique. Il définit le véritable réacteur chimique du système regroupant (parmi d'autres) des processus de partition et de méthylation (10 moles a⁻¹) du mercure (Figure 4). Ces processus résultent avant tout de l'oxygénation incomplète persistante des masses d'eau anoxiques exportées par la retenue. L'expression de gradients rédox prononcés couplée à un intense recyclage de la MO, Fe et S, y favorisent la production d'espèces inorganiques méthylables de Hg ainsi que l'activité des bactéries sulfatoréductrices (agents reconnus de la méthylation). Par ailleurs, l'existence d'une source permanente de MMHg_{UNF} en amont (17 moles a⁻¹ au niveau des oxygénateurs) contribue à maintenir les concentrations de l'estuaire à un niveau élevé tout au long de l'année.

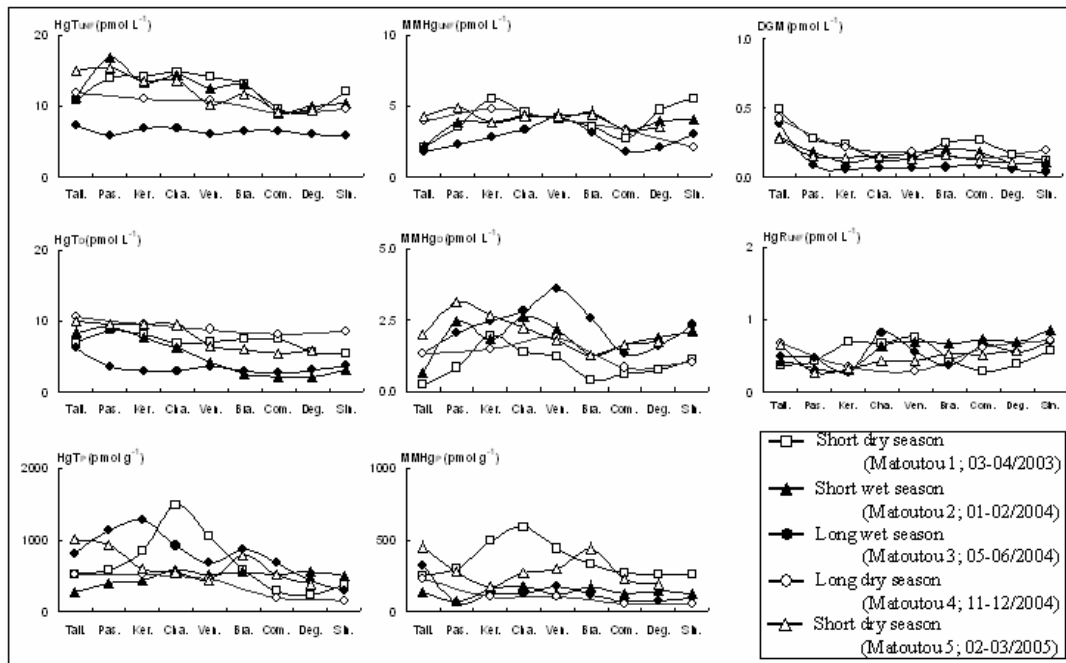


Figure 4 : Distribution des différentes formes de mercure dans l'estuaire du Sinnamary, depuis le barrage de Petit-Saut (Tail.) jusqu'à la zone d'intrusion saline (Sin.).

L'estuaire du Sinnamary est une source significative de Hg pour le milieu côtier : 62 moles a^{-1} de HgT_{UNF} dont 27 moles a^{-1} de $MMHg_{UNF}$. Le cycle côtier du mercure est perturbé par les apports constants et en grande partie méthylés de l'estuaire : la zone saline de l'estuaire joue un rôle de dilution et de réacteur chimique pour le mercure fluvial. Au sein de cette région, nous avons mis en évidence : (i) un comportement non conservatif du Hg de la phase dissoute, (ii) un appauvrissement global en mercure des particules suite au mélange avec le panache de l'Amazone et (iii) une dilution progressive des concentrations par les masses d'eau océaniques. Le piégeage du Hg réactif sous forme colloïdale dans la région de turbidité et sa floculation sont des phénomènes majeurs. Plus au large, la diminution rapide des concentrations de $MMHg_D$ suggère un ralentissement des mécanismes de méthylation (oxygénation accrue des eaux, diminution des niveaux de MO) et/ou l'activation des mécanismes de déméthylation (formation de chlorocomplexes, photodégradation du $MMHg$ formé).

Au final, le continuum retenue de Petit-Saut / estuaire du Sinnamary définit un pôle de transformation du Hg associant un substrat abondant (mais aux sources variées) à des sites actifs de méthylation (aux interfaces rédox).

4. Perspectives

Au cours de l'avancée de notre travail, de nouvelles questions se sont posées. Certaines d'entre elles (une grande partie en fait!) n'ont pas obtenu de réponse dans le cadre de ce travail. Les causes en sont le manque de temps, de moyens financiers ainsi que l'inadéquation de nos compétences et accessoirement celle des techniques d'investigation. Cette section présente ces « questions qui restent à résoudre » et donne quelques pistes de recherche pour approfondir la compréhension du cycle du mercure dans les lacs artificiels tropicaux.

- Quelle sera l'évolution des échanges de Hg à l'interface air / eau à l'échelle du temps de vie du barrage ?
- Quelle est la part de Hg anthropique dans le dépôt de Hg atmosphérique au niveau de la retenue ?
- Quelles sont les souches de bactéries impliquées dans les processus d'oxydation / réduction abiotiques ? Quels en sont les mécanismes ?
- Quelle sera l'évolution des niveaux de MMHg dans la retenue à l'échelle du temps de vie du barrage ?
- Comment les niveaux de MMHg dans la retenue de Petit-Saut affecteront-ils ceux de l'estuaire du Sinnamary ?
- Quelles sont les souches de bactéries impliquées dans les processus de méthylation / déméthylation ? Quels en sont les mécanismes ?
- Quelle part est occupée par les processus de méthylation abiotiques ?
- Quel rôle jouent les biofilms (fixés sur les sols, les troncs d'arbres immergés, la matière en suspension etc.) dans la méthylation du Hg ?
- Quelles sont les transformations du Hg dans les sédiments anoxiques de la retenue ?
- Existe-t-il une distinction fondamentale entre le cycle du Hg à la chemocline et à l'interface benthique ?
- Quel est le devenir du mercure dans l'océan Atlantique hauturier ?

Par ailleurs, au cours de notre recherche, quelques éléments de remédiation quant à l'état du système sont venus compléter les questions sur le devenir du cycle local du mercure. Ils intègrent le fait que la décontamination des milieux aquatiques dépend de la compétition entre réactions de méthylation et de réduction de ce métal. En effet, la méthylation contribue à l'imprégnation des chaînes alimentaires tandis que la réduction favorise le recyclage du Hg vers l'atmosphère.

- (i) En surface de la retenue, l'approfondissement progressif de la photocline tend à avantager les processus de photoréduction du Hg divalent et de photodégradation du MMHg.
- (ii) Plus en profondeur, au voisinage de l'oxycline, l'export du Hg⁰ néoformé, une baisse de l'acidité ainsi qu'une oxydation (réduction) accrue du Fe (ou S) par rapport au S (ou Fe) bénéficierait à la réduction du Hg.

Autrement,

- (iii) Le substrat initialement immergé pourrait de nos jours s'avérer un support de fixation du Hg de la colonne d'eau mais également de méthylation au niveau des biofilms.
- (iv) L'accroissement de l'activité de l'opéron mer au sein des bactéries résistantes au

mercure permettrait de réduire ce dernier et dans certains cas de déméthyle le MMHg.

A ce jour, les travaux visant à étudier le cycle du mercure dans les milieux aquatiques tropicaux sont l'apanage des grandes puissances économiques (Etats-Unis d'Amérique, Australie, Union Européenne, Brésil, Chine, Japon, etc.). Or les régions tropicales regroupent des pays qui ne peuvent s'offrir les moyens de cette recherche (Guinée, Soudan, Tchad, Laos, Vietnam, Bangladesh etc.). Une simple constatation : En 2006 sur 50 articles majeurs concernant le cycle du Hg en milieu tropical, seulement 7 proviennent des pays tropicaux en voie de développement (Elsevier publications). Il ne faut cependant pas généraliser : l'ambassade de France a financé en 2003 l'achat d'un analyseur de Hg au Vietnam et plusieurs thèses pour des géochimistes... Ce déséquilibre profond contribue à une connaissance fragmentée des conséquences de la pollution par le Hg et de sa méthylation. En effet, si la problématique du mercure est un enjeu global, il est dommage qu'il n'en soit pas de même pour son étude. La question est de savoir si nous voulons transmettre aux régions concernées la compétence d'analyse des métaux trace plutôt que de financer des projets ponctuels et provisoires ?

Bibliographie

Amouroux D., Wasserman J.C., Tessier E., Donard O.F.X. (1999) Elemental mercury in the atmosphere of a tropical Amazonian Forest (French Guiana). *Environ. Sci. Technol.* **33**, 3044-3048.

Boudou A., Brachet R.M., Coquery M., Durrieux G., Cossa D. (2005). Synergic effect of goldmining and garming on mercury contamination in fish. *Environ. Sci. Technol.* **39**, 2448-2454.

Central Intelligence Agency (2005) *United States government profiles of countries and non-self-governing territories around the world*. <http://www.cia.gov/cia/publications/factbook/>

Charlet L., Boudou A. (2002). Cet or qui file un mauvais mercure. *La Recherche*, **359**, 52-59.

Comité Français des Barrages et Réservoirs (2005) *Base bibliographique sur le barrage de Petit-Saut. Quelques chiffres*. www.barrages-cfbr.org

Coquery M., Cossa D., Azemard S., Peretyazhko T., Charlet L. (2003) Methylmercury formation in the anoxic waters of the Petit-Saut reservoir (French Guiana) and its spreading in the adjacent Sinnamary River. *J. Phys. IV* **107**, 327-331.

Elsevier Publications (2006) *Electronic collection of science, technology and medicine full text and bibliographic information*. <http://www.sciencedirect.com/>

Horeau V., Richard S., Cerdan P. (1998) La qualité de l'eau et son incidence sur la biodiversité. L'exemple de la retenue de Petit Saut (Guyane Française). *JATBA, Rev. Ethnobia*. **40**, 53-77.

Huynh F., Charron C., Betoulle J.L., Panechou K., Gardel A., Prost M.T., Loubry D. (1997) *Suivi de l'évolution géomorphologique et botanique de l'estuaire du Sinnamary par télédétection*. Final report ORSTOM-EDF, 64 p.

Hydro-Québec (2005) *Suivi de la teneur de mercure dans les réservoirs*. <http://www.hydroquebec.com/>

Povari P. (1995) Mercury levels of fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and in river Mojuí in Amazonia, in the state of Para, Brazil. *Sci. Total Environ.* **175**, 109-117.

Richard S., Arnoux A., Cerdan P. (1997) Evolution in physicochemical water quality in the reservoir and downstream following the filling of Petit-Saut dam (French Guiana). *Hydroecol. Appl.* **9**, 57-83.

19^{èmes} JSE - Environnement : les territoires à l'épreuve de la démocratie (5-6 mai 2008)

Roulet M., Lucotte M., Farella N., Serique G., Coelho H., Passos C.J.S., Silva E.J., Andrade P.S., Mergler D., Guimaraes J.R.D. (1999) Effects of recent human colonization on the presence of mercury in amazonian ecosystem. *Water, Air Soil Pollut.* **112**, 297-313.

Sissakian C. (1997) Présentation générale de l'aménagement hydroélectrique de Petit-Saut (Guyane Française) et du programme de suivi écologique lié à sa mise en eau. *Hydroécol. Appl.* **9**, 1-21.

World Commission on Dams (2000) *Dams and development, a new frame work for decision-making*. Earthscan Publications VA, 356 p.

4-JSE-2008-Muresan-Manuscrit-Edite-2009-09-03.doc