

Evaluation des valeurs de fonds géochimiques dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer

Rapport Final

**Jean-François Chiffoleau ⁽¹⁾, Dominique Auger⁽¹⁾, Bernard Averty⁽¹⁾,
Gilles Bocquené⁽²⁾ & Emmanuelle Rozuel⁽¹⁾.**

*(1) IFREMER Centre de Nantes - Département Biogéochimie et Ecotoxicologie /
Laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Métalliques – BP 21105 – 44311
Nantes cedex*

*(2) IFREMER Centre de Nantes - Département Biogéochimie et Ecotoxicologie /
Cellule d'Analyse de Risques – BP 21105 – 44311 Nantes cedex*

Février 2011

Contexte de programmation et de réalisation

Dans l'évaluation de l'état chimique DCE, l'existence d'un fond géochimique non nul pour les métaux (Cd, Pb, Ni et Hg) qui sont avant tout des éléments naturels peut être prise en compte. Ces niveaux « naturels » qui sont globalement connus dans les eaux côtières de la métropole ne le sont pas du tout dans les DOM.

Les auteurs

Jean-François Chiffoleau⁽¹⁾, Dominique Auger⁽¹⁾, Bernard Averty⁽¹⁾, Gilles Bocquené⁽²⁾ & Emmanuelle Rozuel⁽¹⁾.

(1) IFREMER Centre de Nantes - Département Biogéochimie et Ecotoxicologie / Laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Métalliques – BP 21105 – 44311 Nantes cedex

(2) IFREMER Centre de Nantes - Département Biogéochimie et Ecotoxicologie / Cellule d'Analyse de Risques – BP 21105 – 44311 Nantes cedex

Les correspondants

Onema : Pierre-François STAUB

Référence du document :

Partenaire : *Prénom, nom, organisme, adresse e-mail*

Référence du document :

Droits d'usage :	accès libre
Couverture géographique :	Départements d'Outre-Mer
Niveau géographique [un seul choix] :	National
Niveau de lecture [plusieurs choix possibles] :	Scolaires, citoyens, professionnels, experts
Nature de la ressource [plusieurs choix possibles] :	Page internet, document, multimédia, base de données, Notice, tableau de données, couche information géographique, ressources juridiques, logiciels

Evaluation des valeurs de fond géochimique dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer

Rapport final

Jean-François Chiffolleau, Dominique Auger, Bernard Averty, Gilles Bocquené & Emmanuelle Rozuel

Sommaire

Résumé.....	4
Abstract	5
Synthèse pour l'action opérationnelle.....	6
Corps du rapport	10
1. Introduction.....	10
2. Les concentrations naturelles de métaux dissous dans les eaux de mer côtières.....	10
3. Stratégie adoptée pour les Départements d'Outre-Mer	12
4. Modes opératoires, sites d'étude et plan d'échantillonnage	12
4.1. La Réunion.....	14
4.2. La Guyane.....	15
4.3. La Martinique.....	16
4.4. La Guadeloupe	17
4.5. Mayotte	18
5. Procédures analytiques.....	18
6. Résultats.....	19
6.1. Le cadmium	19
6.2. Le nickel.....	22
6.3. Le plomb	24
6.4. Le mercure	27
7. Conclusions.....	30
8. Remerciements.....	31
9. Références citées.....	32
10. Annexes.....	33
10.1. Annexe 1 - Echantillonnage de La Réunion	33
10.2. Annexe 2 – Echantillonnage de la Guyane	34
10.3. Annexe 3 – Echantillonnage de la Martinique.....	35
10.4. Annexe 4 – Echantillonnage de la Guadeloupe	36
10.5. Annexe 5 – Echantillonnage de Mayotte	37

Evaluation des valeurs de fonds géochimiques dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer

Jean-François Chiffolleau, Dominique Auger, Bernard Averty, Gilles Bocquené & Emmanuelle Rozuel

Résumé

La Directive Cadre 2000/60/CE sur l'Eau requiert un contrôle de l'état chimique des eaux, basé sur la comparaison de niveaux mesurés de concentrations de substances chimiques sélectionnées à des normes de qualité environnementales (NQE). Or, pour les éléments métalliques, les concentrations naturelles ne sont pas nulles (« **fond géochimique** ») et varient en fonction de la nature géologique du milieu. Ces concentrations pouvant parfois atteindre des niveaux importants, la DCE autorise leur prise en compte dans les eaux de surface. En métropole, de nombreuses études fournissent une littérature abondante sur les concentrations des métaux traces en milieu marin côtier, qui même si elles ne sont pas des niveaux naturels sont très faibles comparées aux concentrations de ces NQE. En revanche, on ne dispose pas à part en Guyane de données sur les eaux côtières des départements d'outremer. L'évaluation des fonds géochimiques (que l'on peut appeler aussi **concentrations de référence actuelle**) dans ces régions généralement volcaniques, potentiellement enrichies en éléments traces, a donc pour préalable un échantillonnage exhaustif, à partir duquel les données acquises indiqueront si la situation est différente de la situation métropolitaine.

4 départements (La Réunion, Guyane, Martinique et Guadeloupe) et une collectivité (Mayotte) ont été échantillonnés entre septembre 2009 et mai 2010 dans des conditions requises pour la mesure d'éléments traces qui a été effectuée dans l'état de l'art. L'étude fournit des niveaux de concentration très faibles et montre que s'il existe parfois des teneurs en métaux dissous dans ces eaux côtières qui se distinguent des niveaux océaniques, elles sont tellement éloignées des concentrations des NQE qu'il est illusoire d'en tenir compte dans ce contexte. Les niveaux de concentration des métaux traces dissous sont très faibles. Leur mesure nécessite un savoir-faire important, autant dans le prélèvement et le traitement que dans l'analyse. Une filtration est généralement nécessaire. Toutefois l'étude présente montre qu'à l'exception de la Guyane où les eaux sont très turbides, les eaux des DOM sont très peu chargées en matières en suspension ; il est donc considéré comme risqué d'entreprendre ce type de manipulation. Le cas de la Guyane a été traité séparément. Ses masses d'eaux de transition sont des estuaires et la distribution des éléments traces en fonction de la salinité n'a pu être correctement décrite du fait de la difficulté d'échantillonner un gradient de salinité suffisamment large. En conséquence, bien que la réponse à la question sur les « fonds géochimiques » ait été résolue, la série de donnée n'est pas suffisamment étoffée pour renseigner les niveaux réels des contaminants dans ces environnements. De plus, les eaux du large sont périodiquement sous l'influence de l'Amazone, ce qui n'était pas le cas lors de la présente étude.

Mots-clés : DCE ; métaux ; DOM ; fond géochimique

Evaluation des valeurs de fonds géochimiques dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer

Jean-François Chiffolleau, Dominique Auger, Bernard Averty, Gilles Bocquené & Emmanuelle Rozuel

Abstract

The Water Framework Directive 2000/60/EC requires monitoring of the chemical status of waters, based on the comparison of measured concentrations of selected chemicals to environmental quality standards (EQS). However, for metal elements, background concentrations are not zero (**geochemical background**) and vary depending on the geological context. As these concentrations may sometimes reach high levels, the WFD permits their inclusion in the surface waters. In metropolitan France, many studies provide an extensive literature on the concentrations of trace metals in coastal marine environment, which even if they are not natural are very low compared with the concentrations of these EQS. However, there are no such data arising from the overseas departments except French Guyana. Evaluation of the geochemical background (also called the **present day reference levels**) in these generally volcanic regions potentially enriched in trace elements, needs therefore an exhaustive sampling, from which the acquired set of data will indicate whether the situation differs from the metropolitan situation.

La Réunion, French Guyana, Martinique, Guadeloupe and Mayotte were sampled between September 2009 and May 2010 with the quality required for the measurement of trace elements which was performed in the state of the art. The study provides very low concentration levels and shows that while dissolved metals concentrations in these coastal waters are higher than ocean levels, they are too far from the EQS to be considered in this context. The concentration levels of dissolved trace metals are very low. Their measurements require significant know-how in both the collection and analysis. Filtration is usually necessary. However this study shows that with the exception of French Guyana where the water is very turbid, waters from the DOM display very low levels of suspended matter ; it is therefore considered risky to undertake this type of manipulation. The case of French Guyana has been treated separately. Its coastal water bodies are estuaries and distribution of trace elements versus salinity could not be adequately described because of the difficulty of sampling a large enough salinity gradient. Accordingly, although the answer to the question on "background levels" has been resolved, the data series is not robust enough to give the actual levels of contaminants in these environments. In addition, the offshore waters are periodically under the influence of the Amazon, which was not the case in this study.

Key words (thematic and geographical area)

WFD ; metals ; overseas departments ; geochemical background

Evaluation des valeurs de fonds géochimiques dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer

Jean-François Chiffolleau, Dominique Auger, Bernard Averty, Gilles Bocquené & Emmanuelle Rozuel

Synthèse pour l'action opérationnelle

Contexte général

L'Union européenne, à travers sa directive cadre 2000/60/CE sur l'Eau a établi un cadre pour la protection des eaux intérieures de surface, des eaux de transition, des eaux côtières et des eaux souterraines. Au sein de celui-ci, un contrôle de l'état chimique des eaux est demandé aux Etats membres, basé sur la comparaison de niveaux mesurés de concentrations de substances chimiques sélectionnées à des normes de qualité environnementales (NQE). Parmi les substances sélectionnées (Annexe X de la DCE) figurent 4 éléments métalliques, le cadmium (Cd), le plomb (Pb) le nickel (Ni) et le mercure (Hg), éléments dont les concentrations naturelles ne sont pas nulles et peuvent varier en fonction de la nature géologique du milieu. Ces concentrations naturelles pouvant parfois atteindre des niveaux importants (« **fond géochimique** »), la DCE autorise leur prise en compte dans les eaux de surface :

« Les Etats membres peuvent, lors de l'évaluation des résultats obtenus au regard des NQE, tenir compte :

a) des concentrations de fond naturelles pour les métaux et leurs composés, si elles entravent la conformité avec la valeur fixée dans les NQE; (...) » (DCE, 2008, Annexe 1).

Cette prise en compte permettrait de soustraire les valeurs de fonds géochimiques aux concentrations mesurées avant de les comparer aux normes de qualité environnementales (NQE), et ainsi de limiter les risques de déclassement non justifié des masses d'eau où un risque de fond géochimique élevé a été identifié pour un métal donné.

Objectifs généraux du projet ; stratégie adoptée

Il s'agit d'évaluer si les départements d'outre-mer, régions généralement volcaniques, possèdent des zones côtières dont la colonne d'eau est naturellement enrichie en métaux traces. En métropole, de nombreuses études fournissent une littérature abondante sur les concentrations des métaux traces en milieu marin côtier, qui même si elles ne sont pas des niveaux naturels sont très faibles comparées aux concentrations de ces NQE. En revanche, on ne connaît même pas à l'heure actuelle de sites de référence bien identifiés pour les eaux côtières des départements d'outremer. L'évaluation des fonds géochimiques (que l'on peut appeler aussi **concentrations de référence actuelle**) dans ces régions généralement volcaniques, dont potentiellement enrichies en éléments traces, a donc pour préalable un

échantillonnage exhaustif, à partir duquel les données acquises indiqueront si la situation est différente de la situation métropolitaine.

On ne dispose pas à l'heure actuelle pour les eaux côtières des DOM de carottes sédimentaires exploitables (datées) qui auraient aidé à la comparaison de la contamination métallique actuelle par rapport à celle qui prévalait dans la première moitié du XIX^{ème} siècle. Des sites de référence doivent donc au préalable être identifiés. La stratégie de l'étude consiste dans un premier temps à échantillonner la colonne d'eau côtière afin d'identifier de potentielles zones de référence. L'examen des données de concentration obtenues indiquera s'il faut poursuivre les investigations ou si comme en métropole les niveaux sont suffisamment faibles pour les confondre avec des teneurs naturelles par opposition aux teneurs très élevées de ces NQE.

Résultats

4 départements (La Réunion, Guyane, Martinique et Guadeloupe) et une collectivité (Mayotte) appelée à devenir département ont été échantillonnés entre septembre 2009 et mai 2010. Dans toutes les masses d'eaux côtières et de transition, des échantillons ont été prélevés et filtrés quand cela était nécessaire (cas de la Guyane), stabilisés et conditionnés, le tout dans des conditions compatibles avec la mesure d'éléments en traces. De retour en métropole, les échantillons ont été analysés dans l'état de l'art au cours de l'année 2010.

Les concentrations dans les 5 régions ultra-marines sont très faibles pour les 4 métaux :

	Cd ng/L	Pb ng/L	Ni µg/L	Hg ng/L
NQE	200	7200	20	50
Guadeloupe	5 ± 1	15 ± 6	0.13 ± 0.02	0.2 ± 0.06
Guyane	1 à 20	8 à 64	0.04 à 0.63	0.5 à 3
Martinique	4 ± 1	9 ± 4	0.12 ± 0.02	0.4 ± 0.1
Mayotte	4 ± 1	11 ± 3	0.15 ± 0.03	0.2 ± 0.1
La Réunion	10 ± 2*	12 ± 3	0.16 ± 0.03	2.5 ± 0.6

* valeurs dans les eaux côtières. Dans les lagons réunionnais, Cd = 3 ± 1 ng/L

Conclusions et recommandations

La présente étude a permis de fournir des données de concentration en métaux dissous dans les départements d'outre-mer qui étaient pour l'heure inconnus à l'exception du mercure sur les côtes et dans les rivières guyanaises étudiées du fait des problèmes d'orpaillage. L'objectif défini par l'ONEMA étant l'évaluation d'éventuels « fonds géochimiques » susceptibles de concurrencer d'une manière naturelle les normes de qualité environnementales, nous avons montré que s'il existe parfois des teneurs en métaux dissous dans ces eaux côtières qui se distinguent des niveaux océaniques, **ces teneurs sont tellement éloignées des concentrations des NQE qu'il est illusoire d'en tenir compte.** Il semble que cela soit le cas du cadmium et du mercure sur les côtes réunionnaises.

Les niveaux de concentration des métaux traces dissous sont très faibles. **Leur mesure nécessite un savoir-faire important, autant dans le prélèvement, le traitement et l'analyse.** Une filtration est généralement nécessaire. Toutefois nous observons ici qu'à l'exception de la Guyane où les eaux continentales sont très turbides, les échantillons non filtrés montrent des concentrations très faibles et qu'il serait même risqué du point de vue de la contamination opérationnelle d'entreprendre ce type de manipulation. De même, l'acidification des échantillons qui maintient en solution les métaux n'a pas été effectuée sur place du fait que l'on ne disposait pas d'atmosphère contrôlée compatible avec le travail en traces. Les échantillons ont donc été refermés dès le prélèvement et ré-ouverts pour l'acidification seulement au retour de campagne, dans la salle blanche de notre laboratoire, sauf à la Réunion où l'ARVAM a mis à notre disposition une hotte à flux laminaire.

Le cas du mercure est particulier. Il s'agit d'un élément dont le niveau de concentration est très bas, donc la moindre contamination lors des opérations est néfaste à la qualité de la donnée. De plus, sa conservation nécessite comme seul matériau du Téflon, les flacons en étant constitués étant difficiles à fermer d'une manière étanche, et notamment le bouchon en Téflon peut se desserrer lors de vibrations répétées comme dans la soute d'un avion. Enfin, du fait de sa volatilité, il doit être stabilisé à l'acide sitôt le prélèvement effectué, ce qui impose d'ouvrir l'échantillon dans une atmosphère plus ou moins contrôlée.

Nous avons traité séparément le cas de la Guyane. Ses masses d'eaux de transition sont des estuaires et nous pensions pouvoir à partir des ponts échantillonner un gradient de salinité suffisamment large pour décrire la distribution des éléments traces en fonction de la salinité. Or, ce n'est pas le cas et les distributions proposées ici sont trop fragmentaires. En conséquence, bien que la réponse à la question sur les niveaux naturels ou « fonds géochimiques » ait été résolue, la série de donnée n'est pas suffisamment étoffée pour renseigner sur les niveaux réels des contaminants dans ces environnements. De plus, les eaux du large sont périodiquement sous l'influence de l'Amazone, ce qui n'était pas le cas lors de notre étude. **Nous proposons donc de ré-échantillonner cette région,** en prenant en compte moins de masses d'eau, mais en utilisant des embarcations locales de type pirogue. Dans ce contexte, nous ferons aussi en sorte de disposer d'une hotte à flux laminaire pour filtrer et stabiliser les échantillons dans des optimales.

Pour en savoir plus

Boutier B., Chiffolleau J.-F., Auger D. & Truquet I., 1993. Influence of the Loire River on dissolved lead and cadmium concentrations in coastal waters of Brittany. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **36** : 133-145.

Chiffolleau J.-F., Auger D., Boutier B., Rozuel E. & Truquet I., 2003. Dosage de certains métaux dans les sédiments et les matières en suspension par absorption atomique. *Méthodes d'analyse en milieu marin. Edition Ifremer*.

Chiffolleau J.-F., Cossa D., Auger D. & Truquet I., 1994. Trace metal distribution, partition and fluxes in the Seine Estuary in low discharge regime. *Marine Chemistry*, **47** : 145-158.

Cossa D., Sanjuan J. & Noël J., 1994. Mercury transport in waters of the strait of Dover. *Marine Pollution Bulletin* **28(6)** : 385-388.

Cossa D., Martin J.-M., Takayanagi K. & Sanjuan J., 1997. The distribution and cycling of mercury species in the western Mediterranean. *Deep-Sea Research, Part II*, **44(3-4)** : 721-740.

Cossa D., Coquery M., Nakhlé K. & Claisse D., 2002. Dosage du mercure et du monoéthylmercure dans les organismes et les sédiments marins, *Méthodes d'analyse en milieu marin. Edition Ifremer*.

Cossa D., Laurier F.J.G. & Ficht A., 2003. Mercury contamination in the Seine Estuary, France: An overview. *Biogeochemistry and Environmentally important trace elements* **835** : 298-320.

Muresan B., Cossa D., Coquery M. & Richard S., 2008. Mercury sources and transformations in a man-perturbed tidal estuary: The Sinnamary Estuary, French Guiana. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **72(22)** : 5416-5430.

Statham P.J., Leclercq S., Hart V., Batté M., Auger Y., Wartel M. & Cheftel J., 1999. Dissolved and particulate trace metal fluxes through the central English Channel, and the influence of coastal gyres. *Continental Shelf Research*, **19 (15-16)** : 2019-2040.

Contact

Jean-François Chiffolleau

Tél. 02 40 37 41 77

jfchiffo@ifremer.fr

<http://www.ifremer.fr/delpc/>

Evaluation des valeurs de fonds géochimiques dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer

Jean-François Chiffolleau, Dominique Auger, Bernard Averty, Gilles Bocquené & Emmanuelle Rozuel

Corps du rapport

1. Introduction

L'Union européenne, à travers sa directive cadre 2000/60/CE sur l'Eau a établi un cadre pour la protection des eaux intérieures de surface, des eaux de transition, des eaux côtières et des eaux souterraines. Au sein de celui-ci, un contrôle de l'état chimique des eaux est demandé aux Etats membres, basé sur la comparaison de niveaux mesurés de concentrations de substances chimiques sélectionnées à des normes de qualité environnementales (NQE). Parmi les substances sélectionnées (Annexe X de la DCE) figurent 4 éléments métalliques, le cadmium (Cd), le plomb (Pb) le nickel (Ni) et le mercure (Hg), éléments dont les concentrations naturelles ne sont pas nulles et peuvent varier en fonction de la nature géologique du milieu. Ces concentrations naturelles pouvant parfois atteindre des niveaux importants, la DCE autorise leur prise en compte (« **fond géochimique** ») dans les eaux de surface :

« Les Etats membres peuvent, lors de l'évaluation des résultats obtenus au regard des NQE, tenir compte :

a) des concentrations de fond naturelles pour les métaux et leurs composés, si elles entravent la conformité avec la valeur fixée dans les NQE; (...) » (DCE, 2008, Annexe 1).

Cette prise en compte permettrait de soustraire les valeurs de fonds géochimiques aux concentrations mesurées avant de les comparer aux normes de qualité environnementales (NQE), et ainsi de limiter les risques de déclassement non justifié des masses d'eau où un risque de fond géochimique élevé a été identifié pour un métal donné.

2. Les concentrations naturelles de métaux dissous dans les eaux de mer côtières

Une des difficultés majeures de l'application de cette méthode réside dans la détermination de la concentration naturelle de ces éléments métalliques (concentration dans l'environnement ayant une origine exclusivement naturelle), qui ne doit pas être confondue avec la concentration ambiante (somme de la concentration naturelle et des apports anthropiques diffus). On sait en effet que les émissions anthropiques de contaminants étant pour partie atmosphériques, une des sources de contamination de la colonne d'eau marine est la déposition atmosphérique (dépôts secs et/ou humides) qui conduit à considérer que la contamination marine est ubiquiste.

De plus, si l'enfouissement sédimentaire a permis d'isoler les sédiments anciens et notamment pré-industriels des dépôts atmosphériques postérieurs, il n'en est pas de même pour la colonne d'eau et par conséquent aucune trace de ces eaux « naturelles » ne subsiste. Toutefois, l'expérience de métropole nous amène à considérer les 3 points suivants :

- l'étude de carottes sédimentaires en métropole (Figure 1) montre que dans certains sites (**sites de référence** peu contaminés, choisis à l'aide du programme de surveillance RNO), les concentrations actuelles en contaminants (horizons de surface), même si elles n'ont pas atteint les niveaux qu'elles avaient avant le début de l'ère industrielle (horizons profonds), sont **du même ordre de grandeur**.

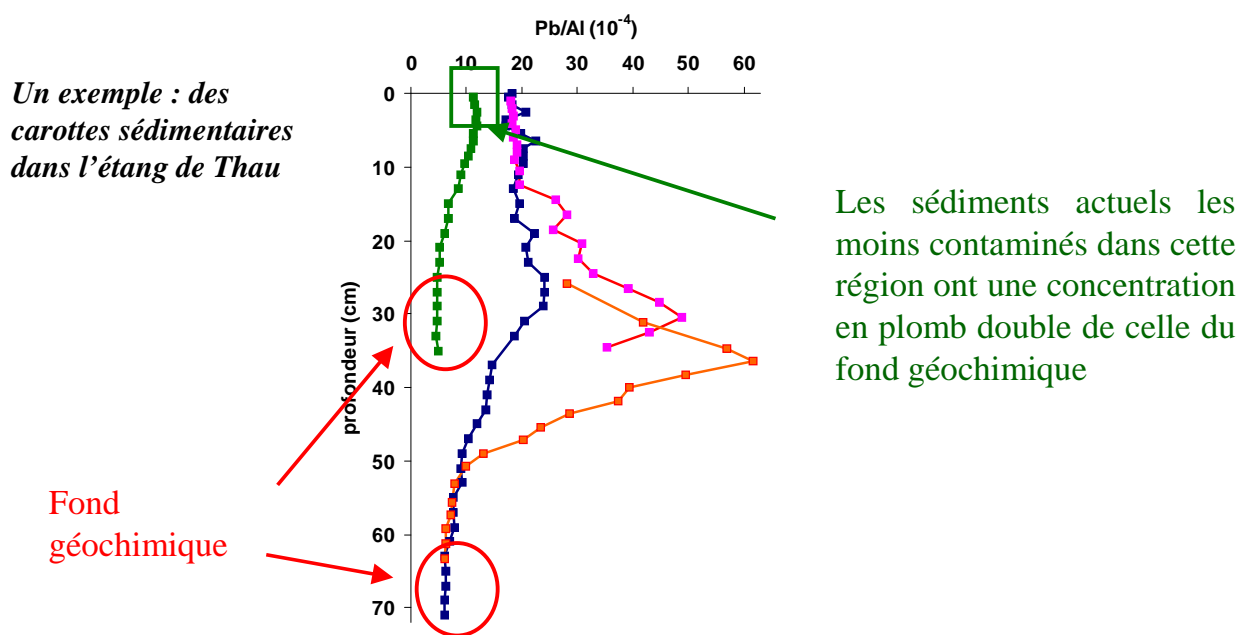


Figure 1 – Distribution du plomb normalisé à l'aluminium dans 4 carottes sédimentaires prélevées en 2005 dans l'étang de Thau (sud de la France)

- les concentrations en contaminants dans un milieu étant en équilibre entre la colonne d'eau et le sédiment de surface, on peut considérer qu'**il existe le même rapport** entre la concentration dans le sédiment actuel (couche de surface) et le sédiment ancien (couches profondes) d'une part, et la concentration en phase dissoute actuelle et celle qui prévalait à l'époque où les sédiments anciens ont été isolés d'autre part :

$$\frac{C_{\text{partic}} (\text{surface})}{C_{\text{partic}} (\text{fond})} = \frac{c_{\text{diss}} (\text{actuel})}{C_{\text{diss}} (\text{pré-industriel})}$$

On peut donc formuler l'hypothèse que les concentrations actuelles en métaux dissous dans des zones de référence sont du même ordre que les concentrations pré-industrielles.

- les concentrations données par les Normes de qualité Environnementales (NQE) sont suffisamment éloignées de ces 2 niveaux (référence actuelle et niveau naturel) pour que l'on puisse les confondre (Tableau 1).

	Niveaux de référence dans les eaux côtières métropolitaines	NQE
Cadmium (µg/L)	0,01	0,2
Plomb (µg/L)	0,02	7,2
Nickel (µg/L)	0,2	20
Mercurure (µg/L)	0,0002	0,05

Tableau 1 – Concentrations en éléments métalliques dissous en baie de Marseille (Programme ANR COSTAS ; campagne COSTEAU-1, octobre 2009)

3. Stratégie adoptée pour les Départements d'Outre-Mer

On ne dispose pas à l'heure actuelle pour les eaux côtières des DOM de carottes sédimentaires exploitables (datées) qui auraient aidé à la comparaison de la contamination métallique actuelle par rapport à celle qui prévalait dans la première moitié du XIX^{ème} siècle. Toutefois, nous avons vu plus haut que des sites de référence doivent être au préalable être identifiés. Notre stratégie consiste donc dans un premier temps à échantillonner la colonne d'eau côtière afin d'identifier de potentielles zones de référence. L'examen des données de concentration obtenues indiquera s'il faut poursuivre les investigations ou si comme en métropole les niveaux sont suffisamment faibles comparées aux concentrations des NQE pour les assimiler à des teneurs naturelles dans le contexte de la DCE.

4 départements (La Réunion, Guyane, Martinique et Guadeloupe) et une collectivité (Mayotte) appelée à devenir département ont été échantillonnés entre septembre 2009 et mai 2010. Dans toutes les masses d'eaux côtières et de transition, des échantillons ont été prélevés et filtrés quand cela était nécessaire (cas de la Guyane), stabilisés et conditionnés pour leur rapatriement au laboratoire LBCM du centre IFREMER de Nantes afin d'y être analysés au cours de l'année 2010.

4. Modes opératoires, sites d'étude et plan d'échantillonnage

Le flaconnage destiné au prélèvement des eaux marines consiste en des flacons de 125 mL en Téflon pour le mercure et de 250 mL en polyéthylène pour les autres métaux. Ces flacons subissent un lavage acide préalable pour les rendre compatibles avec l'analyse de traces (Cossa et al. (2002) pour le mercure et Chiffolleau et al. (2003) pour les autres métaux), et sont ensuite rincés puis remplis d'acide nitrique à 1% (mercure) ou 0,2% (autres métaux), emballés dans 2 sacs de polyéthylène et conservés ainsi jusqu'au prélèvement.



Figure 2 – Prélèvements d'eau de mer à la perche depuis une embarcation légère

La DCE exige que les mesures de métaux soient effectuées sur la phase dissoute ; ceci demande généralement une filtration pour éliminer les particules en suspension (MES) dans la colonne d'eau. Toutefois, la filtration est une opération très délicate qui risque de contaminer les échantillons si elle n'est pas effectuée dans des conditions ultra-propres. Elle n'a donc été effectuée qu'en cas de stricte nécessité, pour les échantillons de Guyane, très turbides, sur cartouche de filtration en acétate de cellulose et support en Téflon SARTOBRAN-300 (Sartorius) de 0,2 μm à l'aide d'une seringue de 50 mL en polyéthylène préalablement lavée à l'acide nitrique à 10%. Cette filtration a été effectuée en extérieur, dans des sites isolés et un environnement exempt de poussières. Pour les autres environnements, nous avons considéré que les charges en MES étaient suffisamment faibles pour ne pas biaiser les résultats d'analyse.

Le conditionnement à l'acide (0,5% d'acide chlorhydrique SUPRAPUR Merck pour le mercure, 0,2% d'acide nitrique SUPRAPUR Merck pour les autres métaux) a été effectué sous hotte à flux laminaire dans les locaux de l'ARVAM à La Réunion. Dans les autres départements, l'acidification des échantillons destinés à l'analyse du mercure, indispensable pour préserver l'élément, a été effectuée en extérieur. Les échantillons destinés à l'analyse des autres métaux ont été acidifiés à Nantes, en salle blanche, dès le retour au laboratoire.



Figure 3 – Prélèvements d'eau de mer à la main depuis une embarcation légère

Toutes les opérations de prélèvements, de filtration et de conditionnement ont été effectuées par un opérateur muni de gants de polyéthylène. Systématiquement, le flacon de prélèvement était rincé 3 fois avant le remplissage final et emballé dès la fin du prélèvement.

4.1. La Réunion

La campagne de prélèvements s'est déroulée du 24 au 27 septembre 2009. 10 masses d'eau côtières (Figure 3) ont été échantillonnées depuis le **Charles IV**, embarcation appartenant à M. Delmas, pêcheur professionnel mis à contribution très régulièrement par l'ARVAM (Agence pour la Recherche et la Valorisation Marine). Les prélèvements ont été effectués en surface directement dans les flacons « métaux » et « mercure » fixés au bout d'une perche recouverte de polyéthylène (Figure 2).

4 lagons (Figure 3) ont été échantillonnés directement à la main, dans un mètre d'eau minimum, et en surface. Les eaux étant extrêmement claires, nous n'avons pas jugé utile d'effectuer une filtration. Les échantillons ont donc été simplement acidifiés dans les locaux de l'ARVAM à Sainte Clotilde à l'issue des prélèvements. La liste complète des échantillons, leurs caractéristiques et les résultats des mesures de métaux traces figurent en annexe 1.

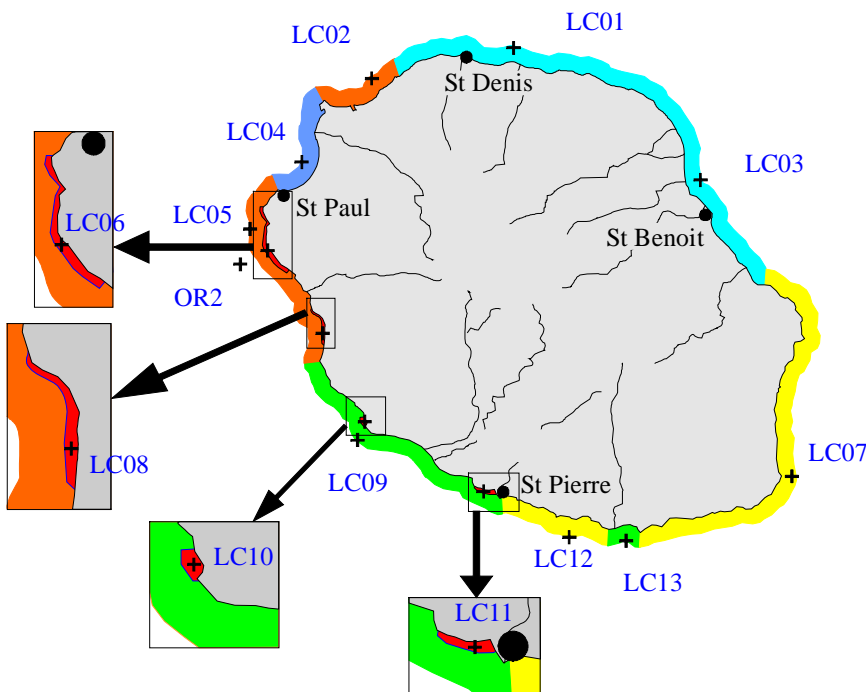


Figure 3 – Plan d'échantillonnage à La Réunion (en rouge, les lagons).

4.2. La Guyane

La campagne de prélèvements s'est déroulée du 2 au 8 décembre 2009. Les prélèvements ont été effectués dans des flacons de 2 L en polyéthylène ayant suivi la procédure de lavage acide décrite plus haut, afin de disposer d'assez d'eau pour conduire une filtration correcte avec un nombre suffisant de rinçages du système et des flacons appropriés.

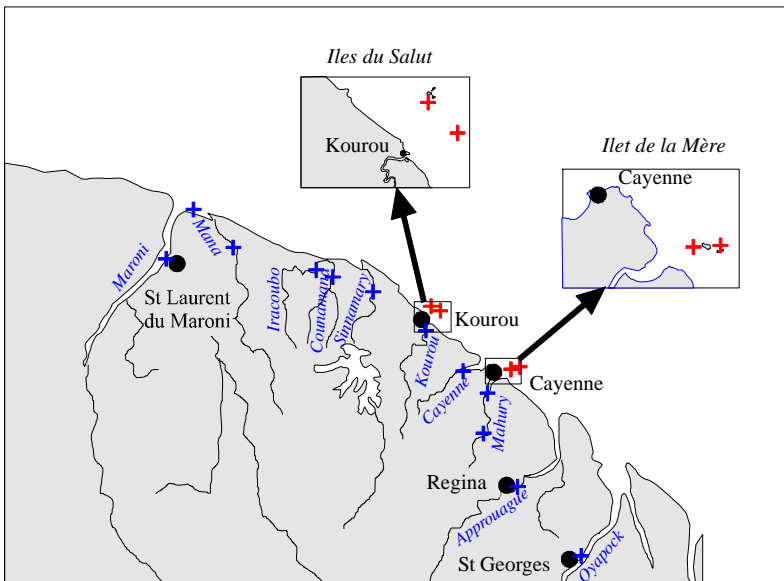


Figure 4 – Plan d'échantillonnage en Guyane. En rouge, stations côtières. En bleu, stations d'estuaires (Eau de transition)

Il n'existe actuellement qu'une masse d'eau côtière (MEC) sur les côtes de Guyane (Figure 4). Celle-ci a été échantillonnée depuis le **Palo Fini**, embarcation légère des phares et balises en 4 points suivant la même technique que celle employée à La Réunion. La filtration a été effectuée dès le débarquement sur une plage de Cayenne (Figure 5).



Figure 5 – Filtration d'eau de mer avec seringue en polyéthylène et cartouche SARTOBRAN-300

Les 8 masses d'eaux de transition qui correspondent aux 8 principaux estuaires guyanais ont été échantillonnées soit à la main depuis un ponton ou une cale à bateau, soit à l'aide d'un système de porte-bouteilles à prélèvements (« système en L », Figure 6) depuis des ponts routiers. La stratégie consistait à échantillonner un gradient de salinité dans ces zones de mélange estuariennes. Malheureusement, la gamme de salinité décrite n'a pas été celle escomptée du fait du positionnement des ponts parfois trop en amont ou en aval des zones de mélange eau douce - eau salée.

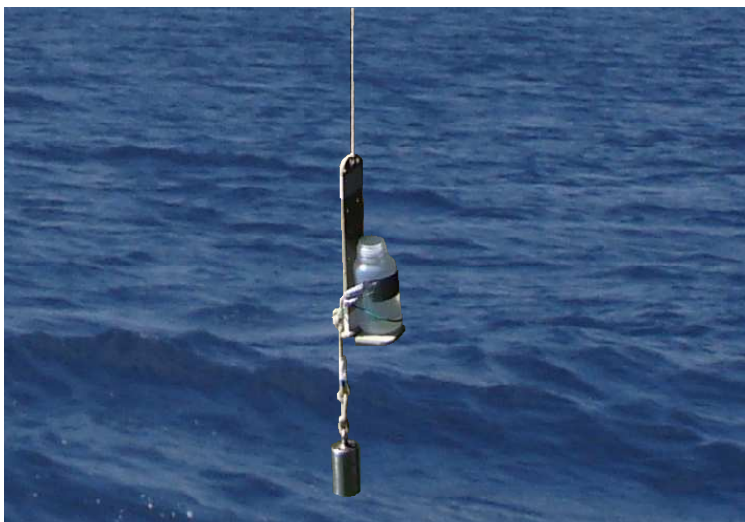


Figure 6 – Prélèvement d'eau côtière à l'aide du « système en L » depuis un pont

Du fait de la turbidité, nous avons dû filtrer systématiquement les échantillons. Pour ce faire, nous n'avons pu trouver sur place de laboratoire d'accueil malgré nos demandes. Nous nous sommes donc rabattus sur un système « de campagne » (Figure 5) très efficace, mais dans un environnement naturel, c'est-à-dire non protégé des contaminations environnementales éventuelles. La liste complète des échantillons, leurs caractéristiques et les résultats des mesures de métaux traces figurent en annexe 2.

4.3. La Martinique

La campagne de prélèvements s'est déroulée du 26 février au 3 mars 2010. 19 masses d'eau côtières (Figure 7) ont été échantillonnées depuis les embarcations « **L'Hibiscus** » et « **Le Campêche** » de la Direction Régionale des Affaires Maritimes. Les prélèvements ont été effectués en surface directement dans les flacons « métaux » et « mercure » fixés au bout d'une perche recouverte de polyéthylène (Figure 2). Les eaux étant extrêmement claires, nous n'avons pas jugé utile d'effectuer une filtration. La liste complète des échantillons, leurs caractéristiques et les résultats des mesures de métaux traces figurent en annexe 3.

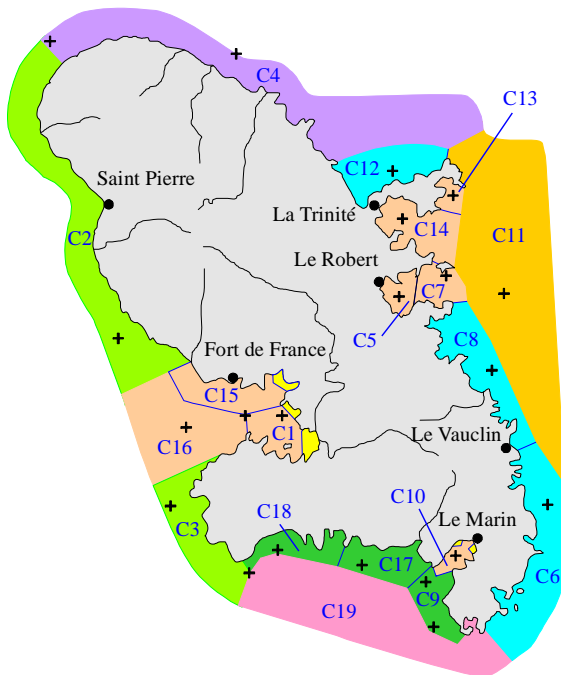


Figure 7 – Plan d'échantillonnage à La Martinique

4.4. La Guadeloupe

La campagne de prélèvements s'est déroulée du 23 au 30 mars 2010. 11 masses d'eau côtières (Figure 8) ont été échantillonnées sur les côtes de Guadeloupe, des Saintes, de la Désirade, de Marie-Galante et de Saint-Martin. Les prélèvements ont été effectués à la main depuis le bord du *Plume de mer*, embarcation de la DDE en Guadeloupe et aux Saintes, avec une perche depuis une embarcation de la Réserve Naturelle à Saint-Martin et à directement à la main sur les plages de Marie-Galante et La Désirade.

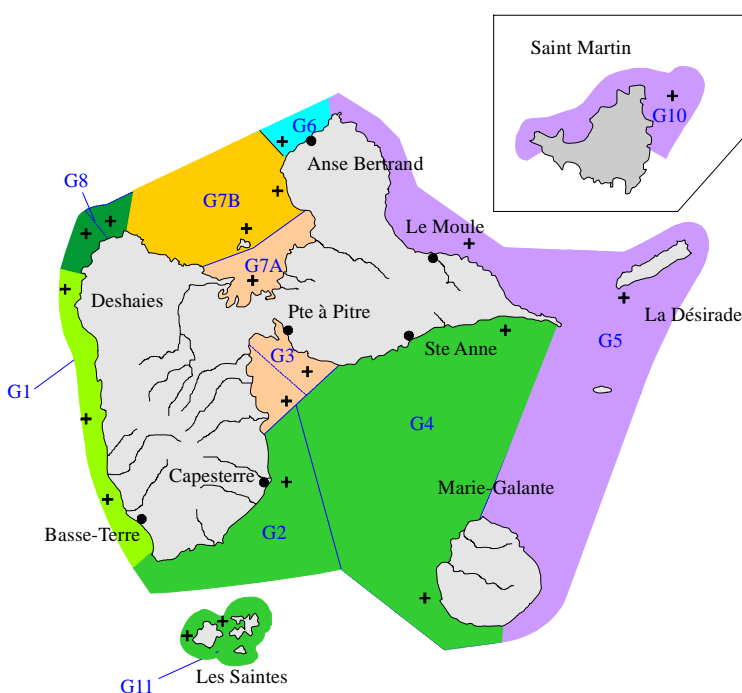


Figure 8 – Plan d'échantillonnage à La Guadeloupe

La liste complète des échantillons, leurs caractéristiques et les résultats des mesures des métaux traces figurent en annexe 4.

4.5. Mayotte

La campagne de prélèvements s'est déroulée du 25 au 27 mai 2010. 16 masses d'eau côtières (Figure 9) ont été échantillonnées depuis une embarcation légère (zodiac) affrétée à une société commerciale. Les prélèvements ont été effectués en surface directement à la main (Figure 2). Les eaux étant extrêmement claires, nous n'avons pas jugé utile d'effectuer une filtration. La liste complète des échantillons, leurs caractéristiques et les résultats des mesures des métaux traces figurent en annexe 5.

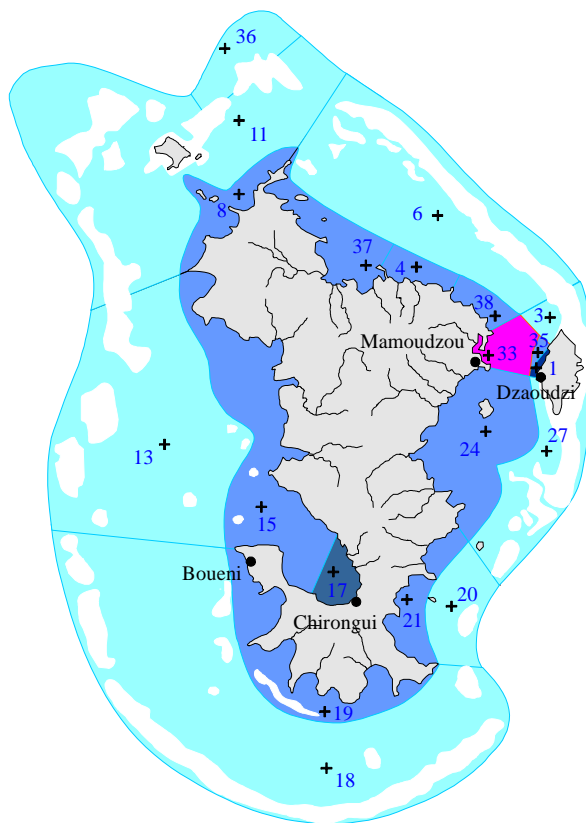


Figure 9 – Plan d'échantillonnage à Mayotte

5. Procédures analytiques

Les analyses de Cd, Ni et Pb ont été effectuées par ICP-MS après extraction liquide-liquide par le fréon des métaux complexés par un mélange d'APDC/DDDC suivant la méthode décrite dans notre laboratoire (Chiffolleau et al., 2003) adaptée de Danielsson et al. (1982).

Les analyses du mercure dissous ont été effectuées par spectrométrie de fluorescence atomique après dissociation des composés organo-mercuriels et réduction des formes oxydées par du chlorure stanneux, suivant la méthode décrite dans notre laboratoire (Cossa et al., 2003).

Les performances analytiques de ces 2 méthodes sont décrites dans le tableau 2. Ces méthodes ont été testées régulièrement dans des exercices internationaux d'intercomparaison (CIEM, IAEA, BCR).

	Cd (ng/L)	Ni (µg/L)	Pb (ng/L)	Hg (ng/L)
	NASS-5	NASS-5	NASS-5	ORMS-4
Limite de quantification	0,1	0,001	0,4	0,01
Valeur certifiée	23 ± 3	0,25 ± 0.03	8 ± 5	0,022 ± 0.002
Valeur mesurée	24 ± 2	0,25 ± 0.01	7 ± 1	0,023 ± 0.003

Tableau 2 – Performances des méthodes utilisées, en termes de limite de quantification (LQ) et de justesse de la mesure de matériaux de référence certifiés (NASS-5 et ORMS-4 du NRC)

6. Résultats

Tous les résultats figurent en annexe. Dans ce chapitre, nous étudierons tout d'abord la distribution des 4 métaux sur les côtes des DOM. Toutefois, comme nous le verrons, la Guyane se singularise par le fait que les masses d'eau de transition sont le siège d'un gradient de salinité depuis l'eau douce jusqu'aux eaux marines, et sont extrêmement turbides. Les éléments métalliques issus des fleuves, certainement majoritairement associés aux MES, ont pour la plupart généralement un comportement non conservatif qui peut se caractériser (cas du cadmium, parfois du nickel) par une solubilisation naturelle en présence de sel et donc un pic de concentration dans la gamme des salinités intermédiaires. Nous traiterons donc la Guyane séparément.

Les séries de résultat ont été traitées statistiquement pour chaque élément métallique et chaque région ultra-marine pour éliminer les valeurs trop différentes de la moyenne. Cas particulier de La Réunion, les masses d'eau côtières et lagunaires ont été testées séparément. Toutefois, seul le cas du cadmium a donné des moyennes significativement différentes.

6.1. Le cadmium

Le cadmium est un élément chimique présent naturellement dans les eaux de rivière et les eaux marines. Les principales sources de contamination des eaux sont tout d'abord les activités minières qui remobilisent du cadmium naturel stocké dans l'écorce terrestre, puis industrielles (traitements de surface, piles et accumulateurs). Les minerais de phosphate sont très enrichis en cadmium. En conséquence, leur traitement pour élaborer de l'aide phosphorique dans l'industrie des engrais, de même que l'épandage de ces engrais en agriculture sont des sources de cadmium très importantes pour l'environnement aquatique.

L'apport de cadmium à l'océan est majoritairement le fait de rejets dans les eaux continentales, toutefois il se produit aussi par dépôt atmosphérique. Les concentrations dans l'océan sont inférieures à 1 ng/L en surface et beaucoup plus élevées en profondeur, du fait de son incorporation dans le réseau trophique et son transfert vers les eaux profondes (profil type « sel nutritif »). En milieu côtier, on a observé en France métropolitaine des concentrations de l'ordre de 10 à 12 ng/L en Bretagne (Boutier et al., 1993) et de l'ordre de 20 ng/L dans la Manche (Statham et al., 1999) ; en Méditerranée les concentrations relevées en 2010 en baie de Marseille dans le cadre du programme ANR COSTAS sont de l'ordre de 11 à 16 ng/L. A l'inverse on a rencontré dans des cas de forte contamination des concentrations de l'ordre de 200 ng/L dans les eaux de l'estuaire de la Seine (Chiffolleau et al., 1994) et jusqu'à 400 ng/L dans l'estuaire de la Gironde (Jouanneau et al., 1991).

Dans la présente étude, nous observons des séries régionales avec des valeurs très regroupées autour de leur moyenne (Figure 10), de l'ordre de 3 à 5 ng/L pour les lagons réunionnais, Mayotte et les Antilles et de l'ordre de 10 ng/L pour les stations côtières à la Réunion.

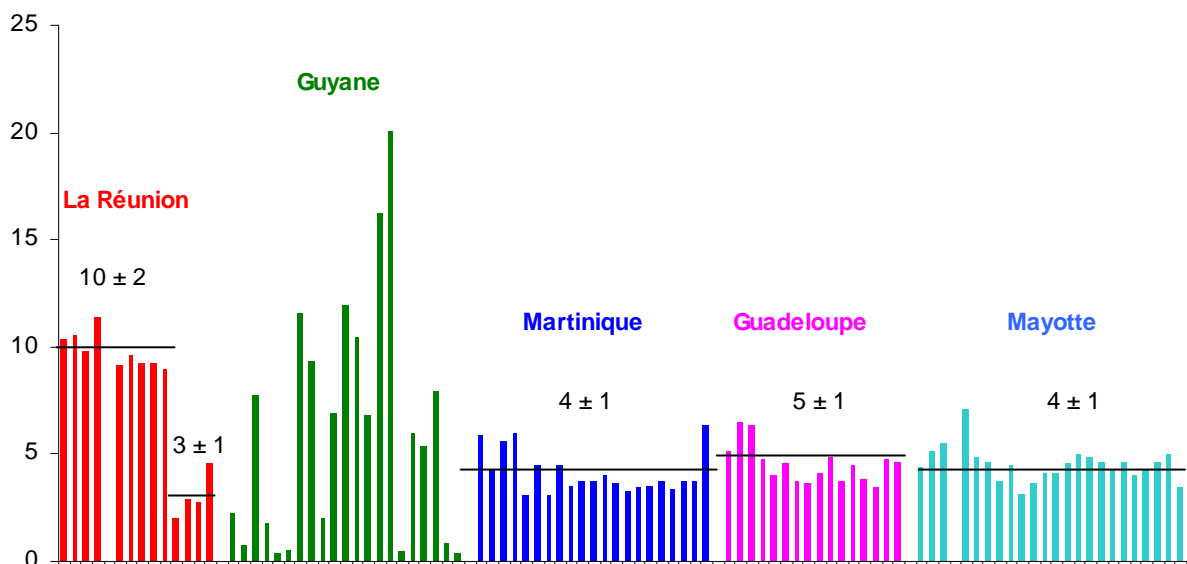


Figure 10 – Distribution du cadmium dissous (en ng/L) sur les côtes des départements français d'outre-mer

Ces concentrations sont très faibles sauf pour les côtes réunionnaises où elles sont du même ordre que sur les côtes métropolitaines. Cette distribution suggère donc d'une part un très faible apport terrigène ou atmosphérique allié à une consommation par les espèces phytoplanctoniques dans les eaux peu profondes. On expliquera les niveaux plus élevés à la Réunion d'une part par une ouverture directe des côtes sur l'Océan et donc la possibilité de remontées d'eaux profondes naturellement enrichies en cadmium ou à un effet du volcanisme local.

Le propos de cette étude est d'identifier le cas échéant des fonds géochimiques (niveaux naturels) pouvant concurrencer les normes de qualité environnementales (NQE) de la DCE.

Ici, sachant que la NQE du cadmium est de 200 ng/L, nous pouvons considérer que le fond géochimique dans ces régions n'a pas à être pris en compte, d'autant plus que ces concentrations très faibles sont très difficiles d'une part à échantillonner dans des conditions compatibles avec l'analyse de traces et à mesurer par un laboratoire qui n'est pas spécialiste de ce type mesure.

Cas particulier de la Guyane

Les concentrations en cadmium varient de moins de 1 ng/L jusqu'à 20 ng/L (Figure 11). Cependant comme nous l'avons remarqué plus haut, les masses d'eau de transition sont des estuaires où la salinité varie depuis zéro jusqu'aux salinités les plus marines, de l'ordre de 34 à l'époque de l'étude, qui correspondait à une période de rétroflexion de l'Amazone (période où le panache de l'Amazone se dirige vers l'est et ne baigne donc pas les côtes de Guyane).

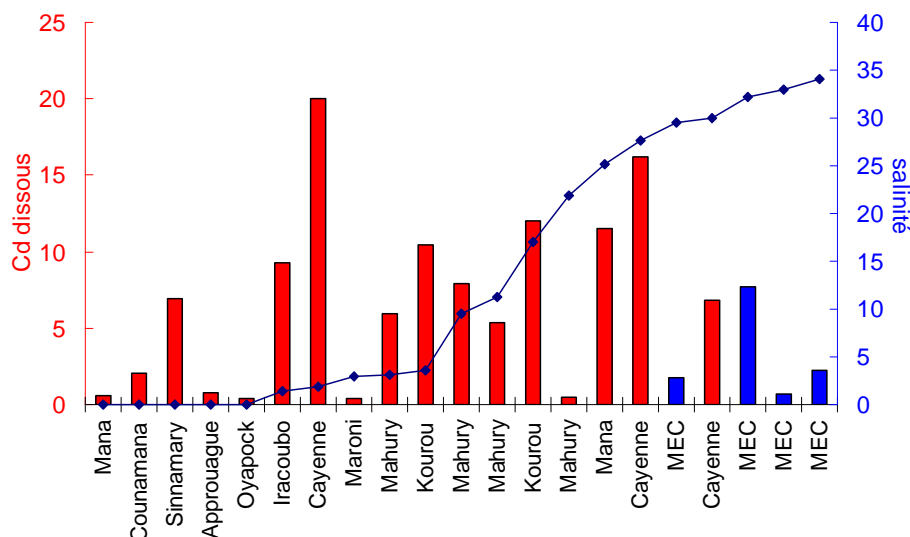


Figure 11 – Distribution du cadmium dissous (en ng/L) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane, ainsi que de la salinité associée à chaque prélèvement (en bleu : les eaux côtières)

Le cadmium est connu pour sa distribution très particulière en milieu estuarien, caractérisée par une courbe en cloche centrée sur les salinités aux alentours de 20 (Chiffolleau et al., 1994) provoquée par la solubilisation du cadmium particulaire fluvial en présence de sel. Il nous semble donc judicieux de présenter les concentrations en fonction de la salinité (Figure 12). Nous pouvons ainsi observer que les masses d'eau côtières (« large ») ont des niveaux de concentration faibles correspondant à des environnements côtiers.

Nous avons rajouté sur cette figure l'allure classique de distribution du cadmium dissous en milieu estuarien. Cette figure montre que les concentrations intermédiaires peuvent parfois être élevées, et devant l'imprécision liée aux manques de données elle nous interdit de conclure quant à la présence de niveaux élevés au sein de certains estuaire.

Nous recommandons donc un supplément de prélèvements dans cet environnement pour préciser la situation. L'analyse des matières en suspension, indicatrices du cadmium potentiellement solubilisable dans les estuaire pourrait pallier cependant ce manque de données.

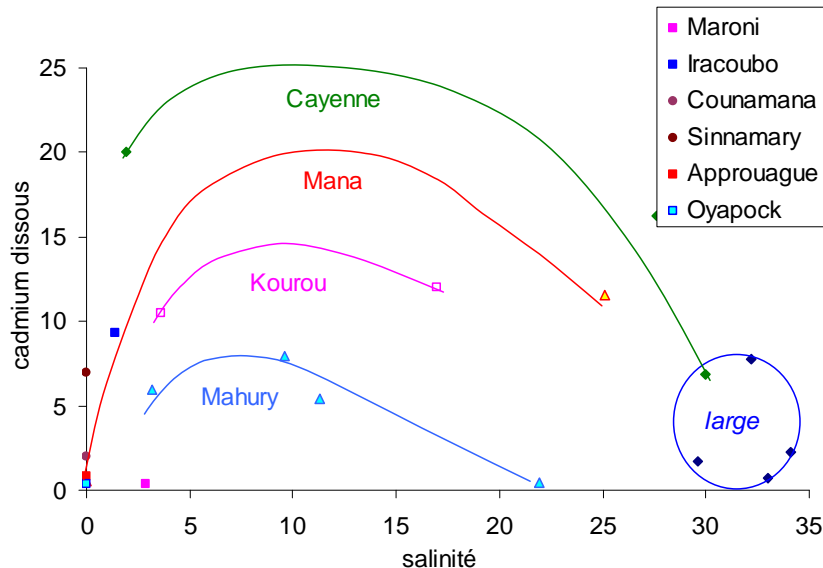


Figure 12 – Distribution du cadmium dissous (en ng/L) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane en fonction de la salinité

6.2. Le nickel

Le nickel est un élément chimique présent naturellement dans les eaux de rivière et les eaux marines. Les principales sources de contamination des eaux sont tout d'abord les activités minières qui remobilisent du nickel naturel stocké dans l'écorce terrestre, puis industrielles (traitements de surface, aciers inox, piles et accumulateurs). Enfin l'apport à l'océan se produit aussi par dépôt atmosphérique, depuis les émissions d'incinérateurs et les volcans. Les concentrations dans l'océan sont de l'ordre de 0,1 à 0,2 µg/L en surface et montrent un profil vertical de type « sel nutritif » similaire à celui du cadmium. En milieu côtier, on a observé en France métropolitaine des concentrations de l'ordre de 0,3 à 0,4 µg/L dans la Manche (Statham et al., 1999) ; en Méditerranée les concentrations relevées en 2010 en baie de Marseille dans le cadre du programme ANR COSTAS sont de l'ordre de 0,20 µg/L. A l'inverse on a rencontré dans des cas de forte contamination des concentrations de l'ordre de 3 µg/L dans les eaux de l'estuaire de la Seine (Chiffoleau et al., 1994).

Sur les côtes des 4 départements insulaires, les niveaux de concentration en nickel sont extrêmement faibles (Figure 13) et peu dispersées dans chaque région. Ces concentrations sont de type « océanique » et très éloignées de la NQE du nickel qui est de 20 µg/L. L'idée de fond géochimique non nul dans le contexte DCE est donc sans objet.

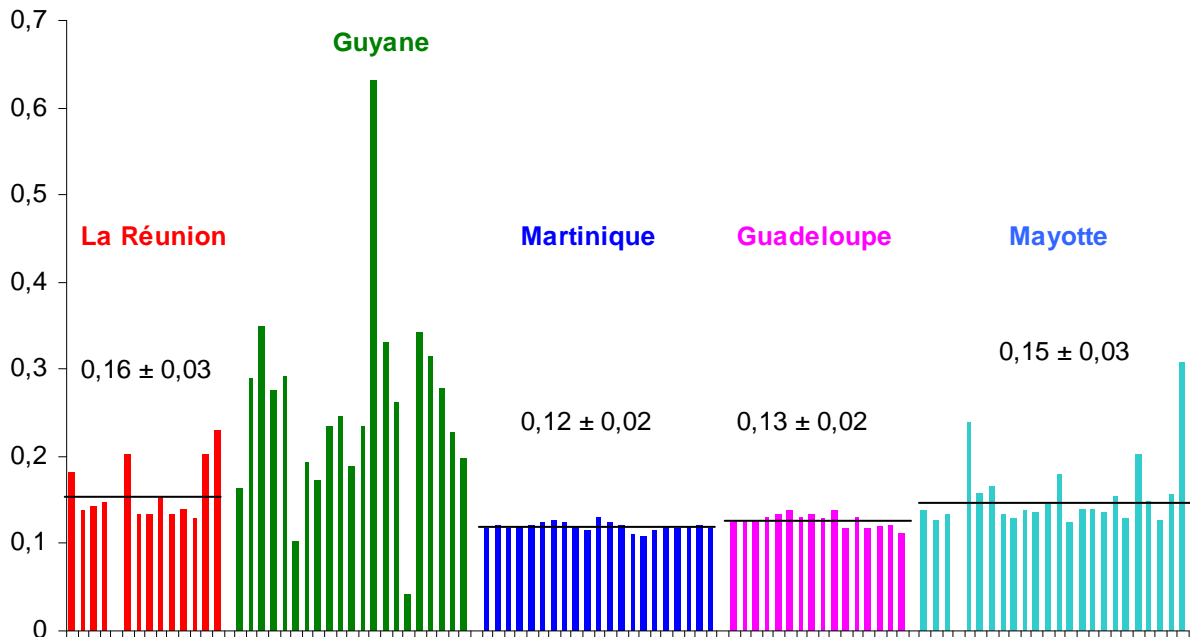


Figure 13 – Distribution du nickel dissous (en µg/L) sur les côtes des départements français d’outre-mer

Cas particulier de la Guyane

Les concentrations en nickel en Guyane varient de 0,04 à 0,63µg/L (figure 14) et sont relativement constantes entre la salinité 0 et l’eau de mer, ce qui signifie d’une part que les concentrations en amont des estuaires sont du même ordre que celles des concentrations marines (de l’ordre de 0,2 µg/L) et que d’autre part il n’y a pas ou peu de phénomène de remobilisation dans le gradient de salinité.

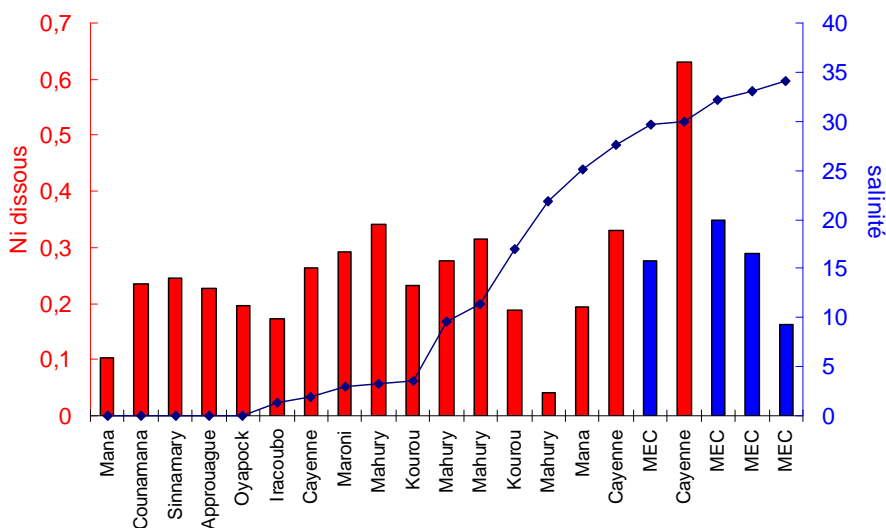


Figure 14 – Distribution du nickel dissous (en µg/L) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane, ainsi que de la salinité associée à chaque prélèvement (en bleu : les eaux côtières)

Le nickel n'est pas connu pour être très réactif en estuaire, et sa distribution en fonction de la salinité est généralement proche d'une droite de dilution (Chiffoleau et al., 1994). Nous assistons globalement ici à celle allure de conservativité, même si le manque de données dans les salinités intermédiaires interdit toute conclusion définitive. Nous pouvons noter enfin un point qui échappe à cette dilution linéaire, en aval de la rivière de Cayenne.

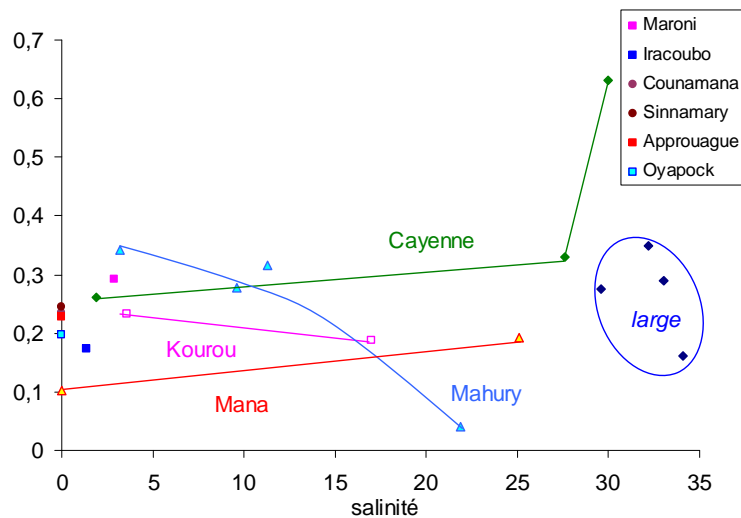


Figure 15 – Distribution du nickel dissous (en $\mu\text{g/L}$) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane en fonction de la salinité

Prélevé depuis le pont de Cayenne c'est-à-dire à proximité de l'agglomération, il pourrait être dû à un rejet urbain, industriel ou portuaire. En tout état de cause, ces niveaux sont tous très faibles par rapport à la concentration de la NQE et aucun fond géochimique problématique n'est identifié dans cette étude.

6.3. Le plomb

Le plomb est un élément chimique présent naturellement dans les eaux de rivière et les eaux marines. Les principales sources de contamination des eaux sont tout d'abord les activités minières qui remobilisent du plomb naturel stocké dans l'écorce terrestre, puis industrielles (métallurgie, piles et accumulateurs dont les batteries pour l'automobile). Enfin l'apport à l'océan se produit aussi par dépôt atmosphérique, à partir des émissions dues à la combustion de charbon et de carburants, mais qui ont diminué considérablement depuis l'interdiction des essences plombées. Les concentrations dans l'océan sont de l'ordre du ng/L sauf en surface où les dépôts atmosphériques l'enrichissent jusqu'à 5 à 10 ng/L suivant les régions du monde. En milieu côtier, on a observé en France métropolitaine des concentrations de l'ordre de 20 à 40 ng/L en Bretagne (Boutier et al., 1993) et de l'ordre de 20 ng/L dans la Manche (Statham et al., 1999) ; en Méditerranée les concentrations relevées en 2010 en baie de Marseille dans le cadre du programme ANR COSTAS sont aussi de l'ordre de 20 à 25 ng/L . A l'inverse on a rencontré dans des cas de forte contamination des concentrations de l'ordre de 400 ng/L dans les eaux de l'estuaire de la Seine (Chiffoleau et al., 1994).

De manière analogue à celles du cadmium et du nickel, les concentrations sont extrêmement faibles sur les côtes des 4 départements ultra-marins insulaires. Toutefois, à la différence avec les précédents, nous pouvons identifier quelques points où la concentration est anormalement élevée par rapport à la moyenne. Il y a généralement une explication en terme de rejet anthropique à ces niveaux particuliers. Globalement, les niveaux de concentration sont de l'ordre de 10 à 15 ng/L, donc là encore très éloignés de la NQE qui est de 7,2 µg/L. Nous pouvons donc écrire pour le plomb qu'il est illusoire de rechercher un quelconque fond géochimique que l'on devrait soustraire des concentrations tutoyant ou dépassant la NQE, d'autant plus que la mesure de ce type de concentration est réservé à des laboratoires spécialistes des prélèvements et des mesures de traces.

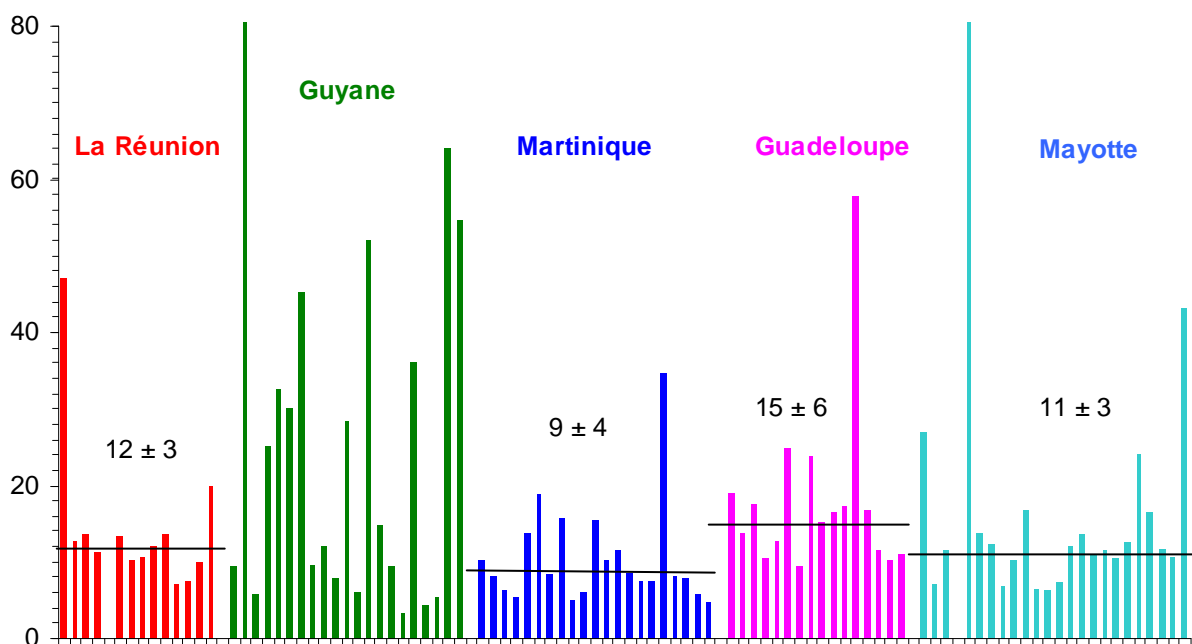


Figure 16 – Distribution du plomb dissous (en ng/L) sur les côtes des départements français d'outre-mer

Cas particulier de la Guyane

En milieu estuarien, le plomb a généralement soit conservatif (une droite de dilution), soit caractérisé par un enlèvement de la phase dissoute dans les faibles salinités. Dans la présente étude (Figure 17), la première valeur remarquable est une concentration anormalement élevée (de l'ordre de 100 ng/L) dans la masse d'eau côtière, que l'on ne peut attribuer qu'à une contamination de l'échantillon lors du prélèvement ou de la filtration. Nous rappelons ici que seuls les échantillons de Guyane ont été filtrés, et dans des conditions d'environnement non contrôlé donc potentiellement contaminant.

A part cet échantillon, les valeurs restent très basses (comprises entre 8 et 64 ng/L) et la variabilité observée pourrait là encore être due à des micro-contaminations lors du prélèvement.

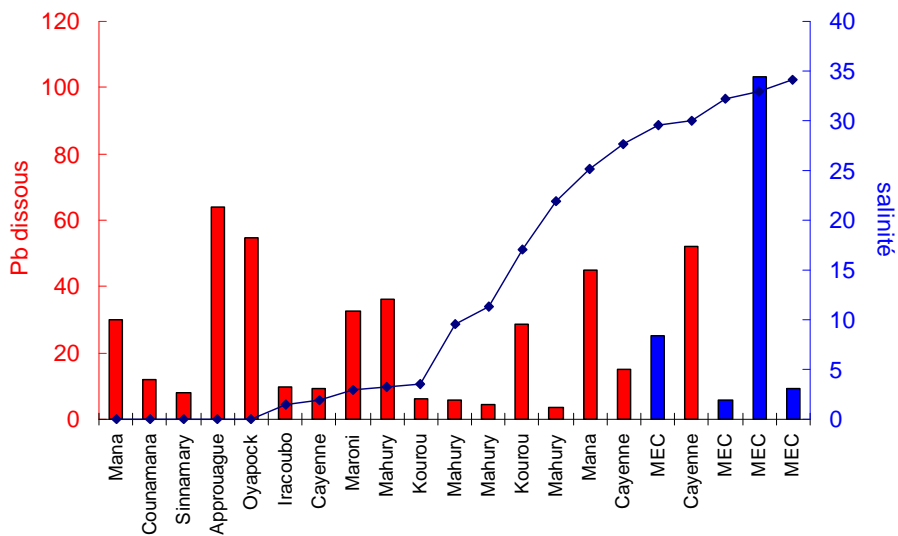


Figure 17 – Distribution du plomb dissous (en ng/L) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane, ainsi que de la salinité associée à chaque prélèvement (en bleu : les eaux côtières)

La projection des concentrations en fonction de la salinité (Figure 18) n'apporte pas d'information supplémentaire sur la distribution du plomb dans les estuaires de Guyane. Elle met en évidence cette concentration anormalement élevée au large de Cayenne que nous évoquions plus haut et renforce l'idée d'une contamination urbaine au point le plus salé de la rivière Cayenne, que nous suggérions plus haut à l'observation du nickel.

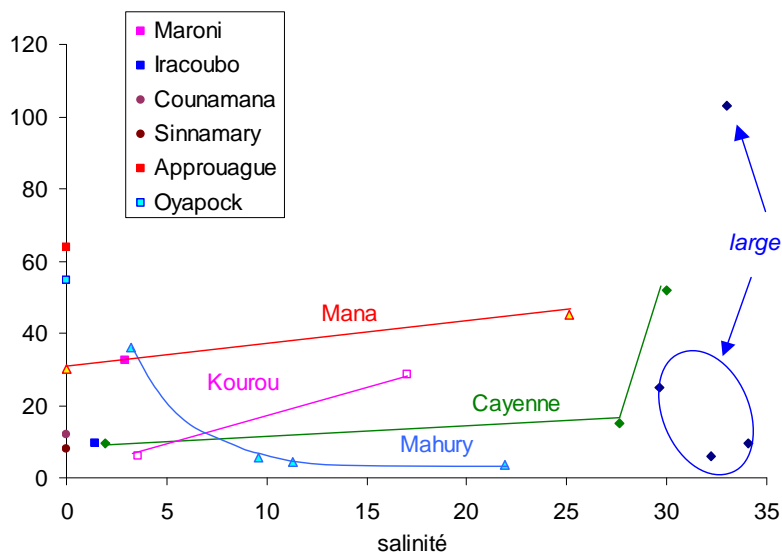


Figure 18 – Distribution du plomb dissous (en ng/L) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane en fonction de la salinité

6.4. Le mercure

Le mercure est un élément chimique présent naturellement dans les eaux de rivière et les eaux marines. Localement, une partie du mercure a une origine naturelle (près des gisements, auprès de certains geysers...). Les plus fortes émissions de mercure dans l'atmosphère mondiale proviennent de la combustion de combustibles fossiles, essentiellement le charbon dans les chaudières de centrales, les chaudières industrielles et résidentielles. En 2005, la moitié des émissions totales de mercure issues de toutes les sources anthropiques dans le monde étaient imputables à la combustion de combustibles fossiles. Les émissions de mercure provenant de la combustion du charbon sont, suivant les pays, entre deux et trois fois supérieures aux émissions provenant de la combustion du pétrole. Les émissions de l'extraction minière artisanale et à petite échelle de l'or représentent environ 20% des apports, suivies de celles issues de la fabrication des métaux non ferreux, y compris l'or et de la production de ciment. En milieu marin, le mercure peut provenir de rejets industriels ou urbains, voire de la corrosion de munitions immergées. En Amérique du sud, l'orpaillage en est une des sources principales.

Les concentrations dans l'océan sont de l'ordre du dixième de ng/L. En milieu côtier, on a observé en France métropolitaine des concentrations de l'ordre de 0,5 ng/L au pas de Calais (Cossa et al., 1994) et de 0,2 ng/l dans la Manche (Cossa et Fileman, 1991). En Méditerranée occidentale les concentrations varient de 0,1 à 0,8 ng/l (Cossa et al., 1997) ; les concentrations relevées en 2010 en baie de Marseille dans le cadre du programme ANR COSTAS sont aussi de l'ordre de 0,4 ng/L. A l'inverse les concentrations peuvent atteindre plus de 1 ng/l dans le Sinnamary en Guyane (Muresan et al., 2008) et jusqu'à 3 ng/L dans la Seine (Cossa et al., 2003).

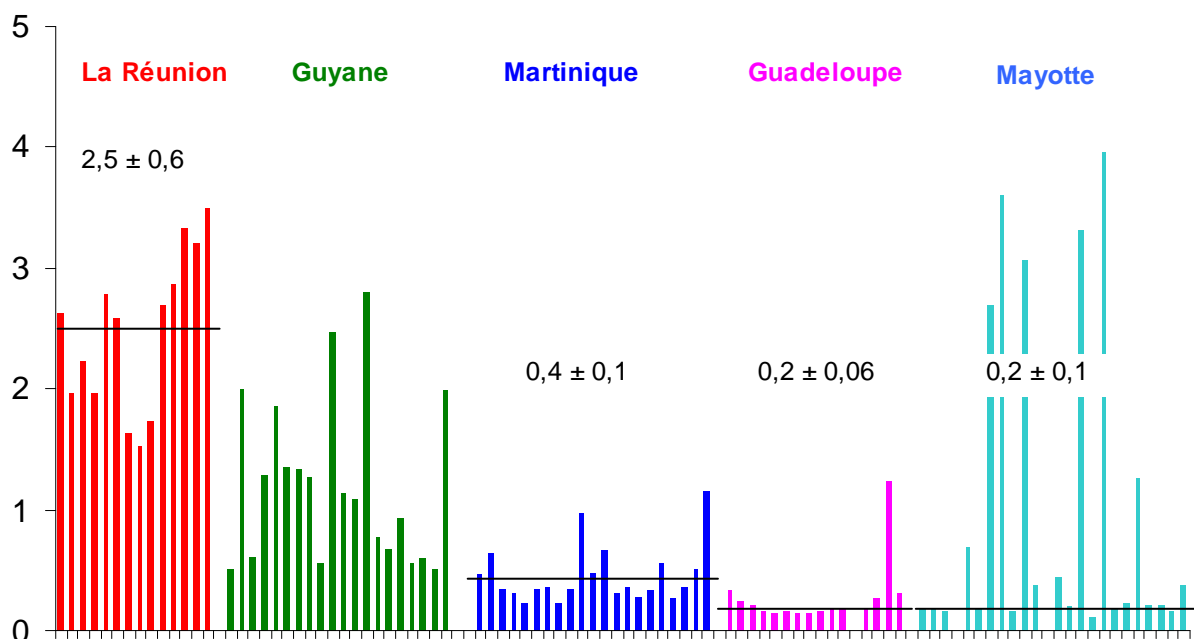


Figure 19 – Distribution du mercure dissous (en ng/L) sur les côtes des départements français d'outre-mer

Les observations concernant le mercure dans notre étude sont beaucoup moins claires que celles que concernant les éléments précédents. Ceci est vraisemblablement dû à des problèmes de contamination de certains échantillons durant la stabilisation (l'acidification n'a pas été effectuée sous atmosphère contrôlée) et/ou le transport en avion, problèmes constatés à plusieurs reprises par Daniel Cossa spécialiste reconnu de la mesure du mercure.

Les concentrations en mercure total dissous en Martinique et en Guadeloupe, de l'ordre de 0,2 à 0,4 ng/L, sont faibles et du même ordre qu'en milieu marin côtier métropolitain. A Mayotte, elles seraient du même ordre, mais quelques stations sont manifestement suspectes. Enfin, à la Réunion, bien que tous les échantillons présentent des niveaux du même ordre, des concentrations supérieures à 2 ng/L sont très surprenantes pour un environnement peu industrialisé. Toutefois, nous avons observé précédemment dans ce même département des niveaux en cadmium plus élevés qu'aux Antilles ou à Mayotte, que nous avons attribué à des remontées d'eaux profondes et/ou à l'influence du volcanisme. Cette explication peut pour le mercure aussi être acceptée avec encore une fois la réserve que les niveaux mesurés sont extrêmement élevés.

En tout état de cause, les niveaux de concentrations observés, même suspects de contamination opérationnelle, ne dépassent jamais les 4 ng/L, donc là encore très éloignés de la NQE qui est de 50 ng/L. Nous pouvons donc écrire pour le plomb qu'il est illusoire de rechercher un quelconque fond géochimique que l'on devrait soustraire des concentrations tutoyant ou dépassant la NQE, d'autant plus que la mesure de ce type de concentration est réservé à des laboratoires spécialistes des prélèvements et des mesures de traces.

Cas particulier de la Guyane

En milieu estuarien, le mercure total dissous montre une distribution de type dilution avec la salinité (comportement de type conservatif). Dans la présente étude (Figure 20), les concentrations sont relativement classiques pour un environnement réputé contaminé par le mercure du fait de l'orpaillage, et en accord avec les concentrations fournies notamment par Muresan et al. (2008) dans le Sinnamary. Toutefois la masse d'eau côtière montre comme pour certains autres métaux des niveaux parfois surprenants et anormalement élevés (de l'ordre de 2 ng/L), que l'on ne peut attribuer qu'à une contamination de l'échantillon lors du prélèvement ou de la filtration. Nous rappelons ici que seuls les échantillons de Guyane ont été filtrés, et dans des conditions d'environnement non contrôlé donc potentiellement contaminant. En tout état de cause, les valeurs restent très inférieures à la concentration de la NQE.

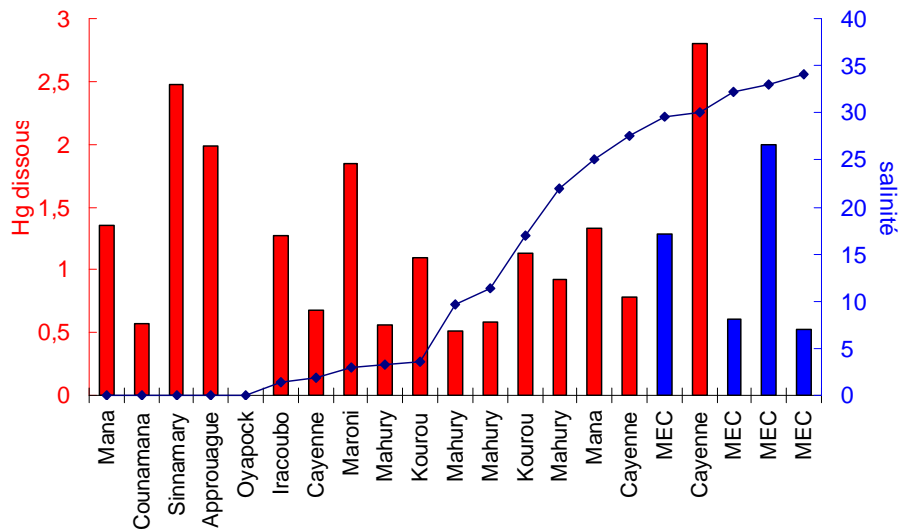


Figure 20 – Distribution du mercure dissous (en ng/L) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane, ainsi que de la salinité associée à chaque prélèvement (en bleu : les eaux côtières)

La projection des concentrations en fonction de la salinité (Figure 21) n'apporte pas d'information supplémentaire sur la distribution du mercure dans les estuaires de Guyane. Elle met en évidence cette concentration anormalement élevée au large de Cayenne que nous évoquions plus haut et renforce l'idée d'une contamination urbaine au point le plus salé de la rivière Cayenne, que nous suggérions plus haut à l'observation du nickel et du plomb.

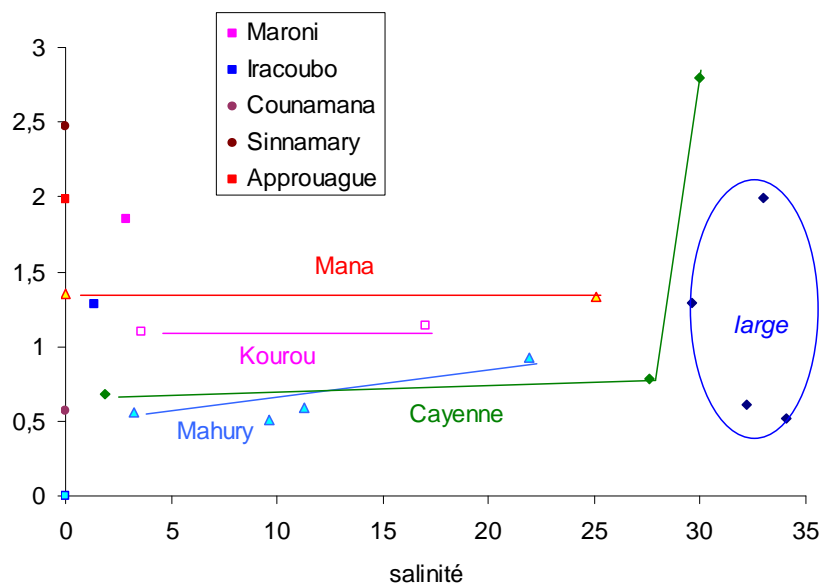


Figure 21 – Distribution du mercure total dissous (en ng/L) dans les estuaires et sur les côtes de Guyane en fonction de la salinité

7. Conclusions

La présente a permis de fournir des données de concentration en métaux dissous dans les départements d'outre-mer qui étaient pour l'heure inconnus à l'exception du mercure sur les côtes et dans les rivières guyanaises étudiées du fait des problèmes d'orpaillage. L'objectif défini par l'ONEMA étant l'évaluation d'éventuels « fonds géochimiques » susceptibles de concurrencer d'une manière naturelle les normes de qualité environnementales, nous avons montré que s'il existe parfois des teneurs en métaux dissous dans ces eaux côtières qui se distinguent des niveaux océaniques, ces teneurs sont tellement éloignées des concentrations des NQE qu'il est illusoire d'en tenir compte. Il semble que cela soit le cas du cadmium et du mercure sur les côtes réunionnaises.

Les niveaux de concentration des métaux traces dissous sont très faibles. Leur nécessité un savoir-faire important, autant dans le prélèvement, le traitement et l'analyse. Une filtration est généralement nécessaire. Toutefois nous avons vu ici qu'à l'exception de la Guyane où les eaux continentales sont très turbides, les échantillons non filtrés montrent des concentrations très faibles et qu'il serait même risqué du point de vue de la contamination opérationnelle d'entreprendre ce type de manipulation. De même, l'acidification des échantillons qui maintient en solution les métaux n'a pas été effectuée sur place du fait que l'on ne disposait pas d'atmosphère contrôlée compatible avec le travail en traces. Les échantillons ont donc été refermés dès le prélèvement et ré-ouverts pour l'acidification seulement au retour de campagne, dans la salle blanche de notre laboratoire, sauf à la Réunion où l'ARVAM a mis à notre disposition une hotte à flux laminaire.

Le cas du mercure est particulier. Il s'agit d'un élément dont le niveau de concentration est très bas, donc la moindre contamination lors des opérations est néfaste à la qualité de la donnée. De plus, sa conservation nécessite comme seul matériau du Téflon, les flacons en étant constitués étant difficiles à fermer d'une manière étanche, et notamment le bouchon en Téflon peut se desserrer lors de vibrations répétées comme dans la soute d'un avion. Enfin, du fait de sa volatilité, il doit être stabilisé à l'acide sitôt le prélèvement effectué, ce qui impose d'ouvrir l'échantillon dans une atmosphère plus ou moins contrôlée.

Nous avons traité séparément le cas de la Guyane. Ses masses d'eaux sont des estuaires et nous pensions pouvoir à partir des ponts échantillonner un gradient de salinité suffisamment large pour décrire la distribution des éléments traces en fonction de la salinité. Or, ce n'est pas le cas et les distributions proposées ici sont trop fragmentaires. En conséquence, bien que la réponse à la question sur les niveaux naturels ou « fonds géochimiques » ait été résolue, la série de donnée n'est pas suffisamment étoffée pour renseigner sur les niveaux réels des contaminants dans ces environnements. De plus, les eaux du large sont périodiquement sous l'influence de l'Amazone, ce qui n'était pas le cas lors de notre étude. Nous proposons donc de ré-échantillonner cette région, en prenant en compte moins de masses d'eau, mais en utilisant des embarcations locales de type pirogue. Dans ce contexte, nous ferons aussi en sorte de disposer d'une hotte à flux laminaire pour filtrer et stabiliser les échantillons dans des optimales.

8. Remerciements

Cette étude n'a pu être effectuée qu'avec l'aide d'équipes locales qui nous ont aidés dans la préparation des missions et la logistique. Nous tenons donc tout particulièrement à remercier :

Pour La Réunion :

MM. Ronan LE GOFF et Pierre SCOLAN et Mme Julie GARRIC-PERALES de l'**IFREMER**, délégation de la Réunion
MM. Jean TURQUET, Matthieu LAJEUNESSE et Harold CAMBERT de l'**ARVAM**
M. Charles DELMAS et son embarcation le **Charles IV**

Pour la Guyane :

MM. Fabian BLANCHARD et Luis LAMPERT de l'**IFREMER**, délégation de la Guyane
Mmes Lydie RIERA et Laure VERNEYRE de la **DIREN** Guyane
MM. Adamkiewicz et Fournier, Mme Roul, MM. Ange Sadikalay et Claude Caristan de la **DDE** et l'embarcation le **Palo Fini** du **service des Phares et Balises**.

Pour la Martinique :

MM. Jacques BERTRAND et Jacques DENIS de l'**IFREMER** délégation des Antilles
Mme Corinne FIGUERAS de la **DIREN** Martinique
MM. Lionel HOULLIER, Jean-Luc TANGUY, Bruno ANTIOPE, Jean-luc CARON et Hervé BENEAT de la **DRAM** Martinique et leurs vedettes l'**Hibiscus** et le **Campêche**

Pour la Guadeloupe :

Mme Sophie GLEPIN de la **DIREN** Guadeloupe
Mme Muriel REGARD-ALCHAKKIF, MM. Victor ALEXER et Dominique JACQUET de la **DDE** Guadeloupe et leur saintoise le **Plume de mer**
M. Pierre LECONTE de la **DIREN** Saint-Martin
MM. Nicolas MASLACH et Mme Pauline MALTERRE de la **réserve naturelle de Saint-Martin** et leur vedette.

Pour Mayotte :

MM. Jean TURQUET et Harold CAMBERT de l'**ARVAM**
M. le directeur de **Mayotte découverte** et son **zodiac**

Enfin, les auteurs remercient l'**Office national de l'eau et des milieux aquatiques** (partenariat ONEMA – IFREMER 2010) pour sa participation à l'étude.

9. Références citées

Boutier B., Chiffolleau J.-F., Auger D. & Truquet I., 1993. Influence of the Loire River on dissolved lead and cadmium concentrations in coastal waters of Brittany. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **36** : 133-145.

Chiffolleau J.-F., Auger D., Boutier B., Rozuel E. & Truquet I., 2003. Dosage de certains métaux dans les sédiments et les matières en suspension par absorption atomique. *Méthodes d'analyse en milieu marin. Edition Ifremer*.

Chiffolleau J.-F., Cossa D., Auger D. & Truquet I., 1994. Trace metal distribution, partition and fluxes in the Seine Estuary in low discharge regime. *Marine Chemistry*, **47** : 145-158.

Cossa D., Sanjuan J. & Noël J., 1994. Mercury transport in waters of the strait of Dover. *Marine Pollution Bulletin* **28(6)** : 385-388.

Cossa D. & Fileman C., 1991. Mercury concentrations in surface waters on the English Channel. A cooperative study. *Marine Pollution Bulletin* **22(4)** : 197-200.

Cossa D., Martin J.-M., Takayanagi K. & Sanjuan J., 1997. The distribution and cycling of mercury species in the western Mediterranean. *Deep-Sea Research, Part II*, **44(3-4)** : 721-740.

Cossa D., Coquery M., Nakhlé K. & Claisse D., 2002. Dosage du mercure et du monoéthylmercure dans les organismes et les sédiments marins, *Méthodes d'analyse en milieu marin. Edition Ifremer*.

Cossa D., Laurier F.J.G. & Ficht A., 2003. Mercury contamination in the Seine Estuary, France: An overview. *Biogeochemistry and Environmentally important trace elements* **835** : 298-320.

Danielsson L.-G., Magnusson B., Westerlund S. & Zhang K., 1982. Trace metal determinations in estuarine waters by electrothermal atomic absorption spectrometry after extraction of dithiocarbamate complexes into freon. *Analytica Chimica Acta*, **144** : 183-188.

Jouanneau J.-M., Boutier B., Chiffolleau J.-F., Latouche C. & Philipps I., 1990. Cadmium in the Gironde Fluvioestuarine system : behaviour and flow. *The Science of the Total Environment*, **97/98** : 465-479.

Muresan B., Cossa D., Coquery M. & Richard S., 2008. Mercury sources and transformations in a man-perturbed tidal estuary: The Sinnamary Estuary, French Guiana. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **72(22)** : 5416-5430.

Statham P.J., Leclercq S., Hart V., Batté M., Auger Y., Wartel M. & Cheftel J., 1999. Dissolved and particulate trace metal fluxes through the central English Channel, and the influence of coastal gyres. *Continental Shelf Research*, **19 (15-16)** : 2019-2040.

10. Annexes

10.1. Annexe 1 - Echantillonnage de La Réunion

ME	nom de la station	latitude	longitude	prélèvement		salinité	Temp. °C	Cd ng/kg	Hg ng/kg	Ni µg/kg	Pb ng/kg
		N	W	date	heure						
LC01	Riv. des pluies	20°52,992'	55°33,834'	24/09/09	9h40	34,8	24,55	10	2,63	0,18	47
LC02	La possession	20°54,945'	55°19,935'	25/09/09	12h00	34,7	24,74	10	1,97	0,14	13
LC03	Rivière du Mât	21°00,456'	55°42,822'	24/09/09	11h15	34,7	24,62	10	2,24	0,14	14
LC04	Riv. des galets	21°00,264'	55°15,312'	25/09/09	10h40	34,7	24,77	11	1,98	0,15	11
LC05	Hermitage	21°3'12,24"	55°12,380"	25/09/09	10h05	34,9	24,63		2,78		
LC07	Pte de la Table	21°19,946'	55°48,802'	24/09/09	14h25	33,9	25,60	9,2	2,59	0,20	13
LC09	Etang Salé	21°17,410'	55°20,478'	25/09/09	8h00	35,0	24,29	10	1,64	0,13	10
LC12	Riv. St Etienne	21°22,702'	55°32,519'	24/09/09	16h30	34,7	24,97	9,3	1,52	0,13	11
LC13	Grande anse	21°23,522'	55°37,864'	24/09/09	15h50	34,5	25,30	9,2	1,73	0,15	12
OR2	Réf. Océanique	21°05,460'	55°12,365'	25/09/09	9h45	34,7	24,95	9,0	2,69	0,13	14
LC06	Toboggan	21°04,880'	55°13,317'	27/09/09	10h30	35,0	-	2,0	2,86	0,14	7,0
LC08	lagon St Leu	21°09,942'	55°17,082'	27/09/09	11h30	34,9	-	2,9	3,32	0,13	7,6
LC10	lagon Etg Salé	21°16,054'	55°19,986'	27/09/09	12h30	34,8	-	2,8	3,22	0,20	10
LC11	lagon St Pierre	21°20,550'	55°27,666'	27/09/09	15h00	34,4	-	4,6	3,49	0,23	20

10.2. Annexe 2 – Echantillonnage de la Guyane

ME	nom de la station	latitude N	longitude W	prélèvement date	salinité	Temp. °C	Cd ng/kg	Hg ng/kg	Ni µg/kg	Pb ng/kg
MEC	îles du salut large	05°16'49"	52°35'19"	02/12/09 11:00	34,1	27,4	2,3	0,52	0,16	9,4
MEC	îles du salut côte	05°13'32"	52°31'22"	02/12/09 11:15	33	27,8	0,7	2,00	0,29	103
MEC	filet de la mère large	04°53'36"	52°10'00"	03/12/09 09:00	32,2	27,4	7,7	0,61	0,35	5,8
MEC	îles de Remire côte	04°53'24"	52°12'35"	03/12/09 09:15	29,6	28,1	1,7	1,29	0,28	25
MARONI	ponton des pirogues St Laurent	05°30'21"	54°01'55"	08/12/09 14:15	2,9	29,3	0,4	1,85	0,29	33
MANA	cale de Mana	05°40'03"	53°46'33"	08/12/09 10:50	0	29,1	0,6	1,35	0,10	30
MANA	plage de Yalimapo	05°44'49"	53°56'44"	08/12/09 11:30	25,1	28	12	1,34	0,19	45
IRACOUBO	pont routier N1	05°48'49"	53°12'09"	06/12/09 11:30	1,4	28,1	9,3	1,28	0,17	10
COUNAMANA	pont routier N1	05°27'03"	53°08'15"	06/12/09 11:00	0	27,1	2,0	0,57	0,23	12
SINNAMARY	ponton dans le bourg	05°22'44"	52°57'36"	06/12/09 10:00	0	28,8	6,9	2,47	0,25	7,9
KOUROU	cale de Pariacabo	05°09'05"	52°40'15"	02/12/09 12:00	17	29	12	1,14	0,19	29
KOUROU	cale de Pariacabo	05°09'05"	52°40'15"	04/12/09 14h30	3,6	29,4	10	1,10	0,23	6,1
CAYENNE	pont de Cayenne N1	04°54'25"	52°22'03"	07/12/09 11:30	30	27,5	6,8	2,80	0,63	52
CAYENNE	pont de Cayenne N1	04°54'25"	52°22'03"	07/12/09 15:40	27,6	27,1	16	0,78	0,33	15
CAYENNE	pont amont D5	04°47'35"	52°27'24"	07/12/09 16:40	1,9	27,4	20	0,68	0,26	9,4
MAHURY	cale de Dégrad des Cannes	04°51'10"	52°16'56"	04/12/09 08:30	21,9	28,3	0,5	0,92	0,04	3,5
MAHURY	cale de Roura	04°44'33"	52°19'37"	04/12/09 09:30	3,2	28,4	5,9	0,56	0,34	36
MAHURY	cale de Dégrad des Cannes	04°51'10"	52°16'56"	09/12/09 08:45	11,3	28,4	5,4	0,59	0,31	4,5
MAHURY	cale de Dégrad des Cannes	04°51'10"	52°16'56"	09/12/09 09:30	9,6	28,4	7,9	0,51	0,28	5,6
APPROUAGUE	cale de Regina	04°18'48"	52°07'44"	03/12/09 15:00	0	28,5	0,8	1,98	0,23	64
OYAPOCK	ponton de Saint-Georges	03°53'17"	51°48'03"	05/12/09 11:30	0	28,4	0,3		0,20	55

10.3. Annexe 3 – Echantillonnage de la Martinique

ME	nom de la station	latitude	longitude	prélèvement		salinité	Temp. °C	Cd ng/kg	Hg ng/kg	Ni µg/kg	Pb ng/kg
		N	W	date	heure						
FRJC 001	Trois Ilets	14°33'488	61°02'314	26/02/10	9h00	36,1	27,7	5,9	0,46	0,118	10
FRJC 002	Fond Boucher	14°39'131	61°09'272	26/02/10	7h55	35,8	27,3	4,3	0,64	0,122	8,1
FRJC 002	Grand Rivière	14°52'329	61°11'469	26/02/10	10h50	36	27,5	5,6	0,35	0,117	6,3
FRJC 003	Cap Salomon	14°30'26"	61°06'21"	27/02/10	9h05	36,1	27,3	6,0	0,31	0,120	5,5
FRJC 004	Nord Lorrain	14°50'42"	61°02'56"	03/03/10	7h50	36,1	27	3,1	0,23	0,122	14
FRJC 005	Pointe Fort	14°40'29"	60°55'11"	03/03/10	12h50	36,3	29	4,4	0,35	0,123	19
FRJC 006	Caye Pariade	14°32'50"	60°48'31"	03/03/10	12h00	36,1	28,1	3,1	0,36	0,127	8,3
FRJC 007	Ilet à rats	14°40'54"	60°54'01"	03/03/10	10h15	36,3	28,5	4,5	0,23	0,124	16
FRJC 008	petite Pinsonnelle	14°36'52"	60°49'44"	03/03/10	11h25	36,1	27,8	3,6	0,35	0,120	4,9
FRJC 009	Sainte-Anne	14°24'070	60°52'852	27/02/10	11h20	36,2	28,1	3,8	0,98	0,115	6,1
FRJC 010	Le Marin	14°27'553	60°52'599	27/02/10	11h00	36,2	28	3,7	0,48	0,130	15
FRJC 011	Loup Garou	14°40'55"	60°51'17"	03/03/10	11h00	36	27,6	4,1	0,65	0,124	10
FRJC 012	Loup Ministre	14°46'31"	60°56'30"	03/03/10	8h30	36,1	27,4	3,7	0,31	0,121	11
FRJC 013	Baie du Trésor	14°45'37"	60°53'23"	03/03/10	9h15	36,3	28,4	3,2	0,36	0,110	8,7
FRJC 014	Baie du Gallion	14°43'42"	60°54'34"	03/03/10	9h45	36,1	28,4	3,4	0,28	0,107	7,5
FRJC 015	pointe du bout	14°34'075	61°03'090	26/02/10	9h20	36	27,7	3,5	0,34	0,114	7,6
FRJC 016	bouée d'atterrissage rouge	14°34'484	61°04'997	26/02/10	8h30	36	27,7	3,7	0,56	0,119	35
FRJC 017	Corps de garde	14°27'791	60°56'677	27/02/10	10h05	36,1	27,9	3,3	0,27	0,117	8,2
FRJC 017	pointe Borgnese	14°26'899	60°54'157	27/02/10	10h40	36,1	27,8	3,7	0,36	0,119	7,9
FRJC 018	Caye d'Obian	14°28'416	61°01'864	27/02/10	9h50	36,1	27,7	3,7	0,51	0,122	5,9
FRJC 019	rocher du Diamant	14°26'781	61°02'692	27/02/10	9h20	36	27,4	6,3	1,16	0,117	4,7

10.4. Annexe 4 – Echantillonnage de la Guadeloupe

ME	nom de la station	latitude	longitude	prélèvement		salinité	Temp. °C	Cd ng/kg	Hg ng/kg	Ni µg/kg	Pb ng/kg
		N	W	date	heure						
GUAD 01	Anse Thomas	16°17'00"	61°48'55"	24/03/10	9h00	36	27,8	5,2	0,33	0,127	19
GUAD 01	Pointe à Lézard	16°08'21"	61°47'22"	24/03/10	9h38	36	27,7	6,5	0,24	0,126	14
GUAD 01	Rocroy - val de l'Orge	16°02'43"	61°46'20"	24/03/10	10h15	35,9	28	6,3	0,22	0,126	18
GUAD 02	Capesterre	16°03'10"	61°31'48"	25/03/10	12h05	34,9	28	4,8	0,16	0,131	10
GUAD 03	Ilet Gosier	16°11'46"	61°29'20"	23/03/10	11h55	35,5	28	4,0	0,15	0,132	13
GUAD 03	Caye à Dupont	16°10'01"	61°33'22"	23/03/10	11h05	35,6	28,1	4,6	0,16	0,138	25
GUAD 04	St François - Main Jaune	16°14'33"	61°14'23"	26/03/10	8h40	34,5	27,7	3,8	0,15	0,132	9,5
GUAD 04	Marie-Galante Sud-Ouest	15°52'49"	61°13'55"	30/03/10	10h20	35	28,2	3,7	0,15	0,133	24
GUAD 05	Le Moule	16°21'08"	61°20'12"	26/03/10	7h20	36,1	27,5	4,1	0,16	0,128	15
GUAD 05	La Désirade - Pte des colibris	16°17'36"	61°05'39"	29/03/10	10h20	35,1	27,7	4,9	0,17	0,139	17
GUAD 06	Anse Bertrand	16°29'00"	61°31'16"	23/03/10	8h45	36,1	27,6	3,7	0,18	0,118	17
GUAD 07A	Ilet à Christophe	16°17'34"	61°34'03"	23/03/10	6h40	36,2	28	4,5		0,131	58
GUAD 07B	Ilet Fajou	16°21'42"	61°35'05"	23/03/10	7h25	36,1	27,6	3,8	0,18	0,117	17
GUAD 07B	Port Louis - Pte des Mangles	16°25'50"	61°32'57"	23/03/10	8h15	36,1	27,6	3,4	0,26	0,119	11
GUAD 08	Tête à l'Anglais	16°22'56"	61°46'09"	24/03/10	8h00	36,2	27,6	4,8	1,24	0,121	10
GUAD 08	Ilet Kahouane	16°22'19"	61°46'40"	24/03/10	8h20	36,3	27,7	4,7	0,32	0,111	11
GUAD 10	St Martin	18°06'18"	62°58'25"	27/03/10	10h10	36,1	27,9	4,4	0,19	0,137	27
GUAD 11	Les Saintes - Gros Cap	15°50'52"	61°39'14"	25/03/10	8h15	35,5	27,6	5,1	0,18	0,127	7,1
GUAD 11	Les Saintes - Ti Paté	15°52'18"	61°37'30"	25/03/10	8h45	35,5	27,7	5,5	0,16	0,134	11

10.5. Annexe 5 – Echantillonnage de Mayotte

ME	nom de la station	latitude	longitude	prélèvement		salinité	Temp. °C	Cd ng/kg	Hg ng/kg	Ni µg/kg	Pb ng/kg
		N	W	date	heure						
1	vasière	45°16'07"	12°46'52"	26/05/10	10:35	35,60	29,3	7,1	0,70	0,24	194
3		45°16'43"	12°45'09"	25/05/10	9:35	35,16	29,1	4,9	0,19	0,16	14
4		45°11'33"	12°43'02"	25/05/10	16:44	35,12	29,3	4,6	2,70	0,17	12
6	Récif barrière	45°11'42"	12°40'58"	25/05/10	10:10	34,82	29,2	3,7	3,60	0,13	6,9
8		45°04'26"	12°39'09"	25/05/10	15:27	35,25	29,1	4,5	0,17	0,13	10
11		45°04'10"	12°37'34"	25/05/10	10:50	35,20	29,2	3,2	3,07	0,14	17
13		45°01'22"	12°49'42"	24/05/10	16:30	34,26	29,2	3,7	0,37	0,13	6,6
15	Baie de Boueni	45°05'01"	12°52'34"	24/05/10	17:00	33,89	29,2	4,1		0,14	6,3
17	Baie de Boueni	45°07'55"	12°54'59"	24/05/10	17:30	35,01	29,2	4,1	0,45	0,18	7,3
18		45°07'45"	13°02'18"	24/05/10	12:05	34,89	29,5	4,6	0,20	0,12	12
19		45°07'31"	13°00'19"	24/05/10	18:00	34,65	29,3	5,1	3,31	0,14	14
20		45°11'19"	12°56'04"	26/05/10	9:15	35,21	29,1	4,9	0,12	0,14	11
21		45°12'34"	12°56'24"	24/05/10	11:10	34,91	29,4	4,6	3,96	0,14	11
24		45°14'04"	12°49'33"	26/05/10	9:50	35,40	29,0	4,3	0,19	0,15	10
27		45°16'30"	12°50'25"	24/05/10	9:40	34,89	29,1	4,7	0,23	0,13	12
33		45°14'10"	12°46'42"	25/05/10	9:02	35,13	29,1	4,0	1,26	0,20	24
35	Port Dzaoudzi	45°15'45"	12°46'40"	25/05/10	9:20	35,14	29,1	4,3	0,22	0,15	16
36	Océanique	45°03'36"	12°34'35"	25/05/10	11:25	35,23	29,2	4,7	0,21	0,13	12
37	Port Longoni	45°09'47"	12°43'08"	25/05/10	16:15	35,32	29,2	5,0	0,17	0,16	11
38	Décharge	45°14'18"	12°45'31"	25/05/10	17:10	35,02	29,5	3,5	0,38	0,31	43

Partenaire	Onema
Adresse	Hall C – Le Nadar 5 square Félix Nadar 94300 Vincennes
Numéro de téléphone	01 45 14 36 00
Site web	www.onema.fr