



Enrichissement des sédiments de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) en éléments traces métalliques (ETM) : influence sur la qualité des sédiments et les organismes benthiques

Irié Bi Trazie Jean-Gael^{*1}, Aka Natchia², Kando Aney Marie-Laure¹, Coulibaly Aoua Sougo¹ et Monde Sylvain¹

¹Département des Géosciences Marines, UFR STRM, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

²Centre de Recherches Océanologiques (CRO), Côte d'Ivoire

*Auteur correspondant, email : tchambyy5@gmail.com

Original submitted in on 5th August 2019. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st October 2019
<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v142i1.2>

RESUME

Problématique : Les travaux réalisés dans certaines baies de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), ont montré une forte concentration des éléments traces métalliques (ETM) dans les sédiments en saison pluvieuse par rapport aux saisons sèche et de crue. Ces informations sont très importantes mais ne permettent pas de connaître le niveau de concentration des ETM et la qualité de l'environnement lagunaire Ebrié en période pluvieuse ; car ces travaux se sont intéressés seulement à quelques baies au niveau d'Abidjan.

Objectif : La présente étude pour combler ce déficit d'informations, se donne pour objectif de connaître le niveau de pollution des sédiments de la lagune Ebrié en période pluvieuse par les éléments traces.

Méthodologie et Résultats: Une campagne d'échantillonnage effectuée en juillet 2015, dans la lagune Ebrié, a permis de visiter 46 stations de prélèvement. Les sédiments ont été séchés et homogénéisés. Une quantité de 0,5 g de sédiments de taille inférieure à 63 µm a été digérée à chaud par un mélange d'eau régale et d'acide fluorhydrique. Le niveau d'enrichissement, de pollution et du risque toxique ont été calculés. Les teneurs moyennes sont de 55,20 µg/g pour le cobalt, 55,64 µg/g pour le nickel, 54,02 µg/g pour le cuivre, 132,33 µg/g pour le zinc, 0,75 µg/g pour le cadmium et de 118,88 µg/g pour le plomb. L'intensité de l'enrichissement des ETM se situe dans l'ensemble entre absence d'enrichissement et très fort enrichissement. Le cadmium est le plus enrichi. L'intensité de pollution des sédiments quant à elle se situe entre absence de pollution et fortement pollué. Le cuivre, le cadmium et le plomb constituent les polluants les plus importants. La qualité des sédiments expose les organismes benthiques à un risque toxique de 21 %, 49 % et de 76 %.

Conclusion et application des résultats : Les sédiments de la lagune au niveau d'Abidjan sont les plus impactés par l'enrichissement en ETM. Ils présentent un risque pour les organismes benthiques. Le milieu lagunaire étant dynamique, ce risque toxique pourrait se propager et atteindre les zones éloignées. Les résultats de ces travaux permettent d'attirer l'attention des décideurs sur la qualité des sédiments qui arrivent dans la lagune Ebrié. Aussi, ils aident dans le choix des lieux d'installation des maquis, des restaurants et autres espaces de loisirs aux abords de la lagune Ebrié.

Mots clés : ETM, enrichissement, qualité des sédiments, organismes benthiques, lagune Ebrié

ABSTRACT

Problematic : Work carried out in some bays in the Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire) showed a high concentration of metallic trace elements (MTE) in sediments during the rainy season compared to the dry and flood seasons. This information is very important but does not information on the level of concentration of the metallic trace elements and the quality of the Ebrié lagoon environment during the rainy season; because this works was interested only in some bays at the level in Abidjan.

Objective: The present study to is to find out the level of pollution of the sediments of the Ebrié lagoon in the rainy period by the trace elements.

Methodology and Results: A sampling campaign carried out in July 2015, in the Ebrié lagoon, made it possible to visit 46 sampling stations. The sediments were dried and homogenized. A quantity of 0.5 g of sediments smaller than 63 μm was hot digested with a mixture of aqua regia and hydrofluoric acid. The level of enrichment, of pollution and toxic risk were calculated. The average amounts were 55.20 $\mu\text{g} / \text{g}$ for cobalt, 55.64 $\mu\text{g} / \text{g}$ for nickel, 54.02 $\mu\text{g} / \text{g}$ for copper, 132.33 $\mu\text{g} / \text{g}$ for zinc, 0.75 $\mu\text{g} / \text{g}$ for cadmium and 118.88 $\mu\text{g} / \text{g}$ for lead. The intensity of the enrichment of the metallic trace elements is generally between no enrichment and very high enrichment. Cadmium is the most enriched. The sediment pollution intensity is between no pollution and highly polluted. Copper, cadmium and lead are the most important pollutants. Sediment quality exposes benthic organisms to a 21%, 49% and 76% toxic risk.

Conclusion and application of results: The lagoon sediments at the Abidjan level are the most impacted by enrichment in ETM. They pose a risk to benthic organisms. The lagoon environment being dynamic, this toxic risk could spread and reach remote areas. The results of this work help to draw the attention of decision-makers to the quality of the sediments that arrive in the Ebrié lagoon. Also, they help in the choice of the places of installation of the maquis, restaurants and other spaces of leisure near the lagoon Ebrié.

Keywords: ETM, enrichment, sediment quality, benthic organisms, Ebrié lagoon

INTRODUCTION

Des problèmes graves ont accompagné la sédentarisation des populations humaines, le développement des sociétés et le progrès de la technologie. Ces problèmes, qui ont des effets de plus en plus importants sur l'environnement et sur la santé, se sont accentués par l'essor de l'industrie pour devenir très préoccupants de nos jours à l'échelle planétaire. Parmi ces derniers, on a la pollution par les éléments traces métalliques des systèmes aquatiques. Cela est d'actualité et préoccupe toutes les régions soucieuses de maintenir leur patrimoine côtier à un haut degré de qualité (Muflet, 2010). Les éléments traces métalliques désignent les métaux et métalloïdes réputés toxiques et dont la teneur moyenne dans les sols et les sédiments est inférieur à 1 g/kg (Gouzy, 2008). Issus de l'héritage du fond géochimique d'une part et d'autre part du cumul des apports anthropiques, ces éléments sont présents dans tous les compartiments de l'environnement. Ceux, naturellement contenus dans les sédiments et les eaux naturelles

proviennent à 80 % des altérations physique et chimique des roches. Les apports anthropiques sont liés aux pratiques agricoles, aux activités industrielles et urbaines et au développement des villes et des routes (Devallois, 2009). Lorsque les ETM atteignent le milieu aquatique, ils constituent toujours un problème environnemental majeur. Ces polluants sont persistant et bio-accumulatifs. Ils peuvent entraîner un dysfonctionnement de tous les maillons de la chaîne trophique du fait qu'ils sont transmis d'un maillon à un autre par la consommation d'organisme aquatiques contaminés. Dans les baies estuariennes de la lagune Ebrié, les éléments traces métalliques sont plus concentrés dans les sédiments en saison pluvieuse par rapport aux saisons sèche et de crue (Aka, 2016 ; Wognin, 2017). Malgré ce constat, le niveau de concentration des éléments traces et leur effet sur la qualité de l'environnement lagunaires pendant la saison pluvieuse ne sont pas connus. Cette étude se donne pour objectif de connaître le niveau de pollution des sédiments de

la lagune Ebrié en période pluvieuse par les éléments traces.

MATERIEL ET METHODES

Prélèvement des sédiments : En juillet 2015, une campagne d'échantillonnage dans la lagune Ebrié a porté sur 46 stations de prélèvement. Les échantillons de sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne van veen. Un GPS de type Garmin a permis la

détermination des coordonnées des points d'échantillonnage (figure 1). Les sédiments ont été soigneusement conservés dans des glacières à 4°C pour être envoyés au laboratoire.

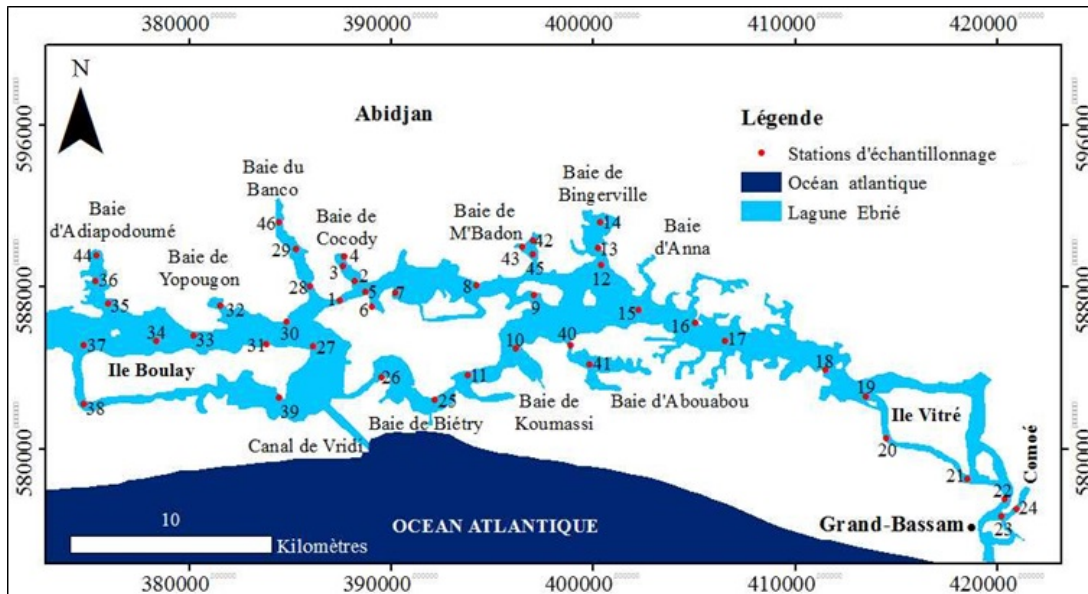


Figure 1 : Points de prélèvement des sédiments

Traitement physique des sédiments bruts : Les sédiments constitués de sables et de vases ont été séchés à 40 °C dans une étuve puis tamisés après homogénéisation par broyage à l'aide d'un mortier et d'un pilon en agate. Cette opération permet de séparer la fraction fine (< 63 µm) de la fraction grossière. La fraction fine inférieure à 63 µm a été retenue pour les différentes analyses. Elle a plus d'affinité pour les ETM (Bouih, 2005).

Traitement chimique de la fraction fine : La digestion de 0,5 g de sédiments préparés pour analyse a été fait à chaud par un mélange de 4 mL d'eau régale (acide chlorhydrique (37 %), acide nitrique (65 %), 3/1 (v/v)) et de 3 mL d'acide fluorhydrique dans des flacons en téflon. Après quelques temps de repos à l'air ambiant, le résidu est repris dans une solution d'acide borique (2,7 g dans 20 mL d'eau bi-distillée). De l'eau bi-distillée a été ajoutée à la solution pour ramener le volume final à 50 mL. Pour s'assurer de la justesse des résultats, des blancs et un sédiment certifié BCR-320 ont été traités. Les blancs correspondent à des

attaques acides sans sédiments. Ils permettent de vérifier l'absence de contamination liée au matériel utilisé. Le sédiment certifié a subi le même traitement que les échantillons de sédiments. Il permet d'évaluer la précision des mesures. L'analyse des solutions pour la détermination des teneurs des éléments traces métalliques (Cu, Ni, Zn, Cd et Pb) a été faite par un spectromètre à absorption atomique (SAA) à flamme de type Varian.

Calcul du facteur d'enrichissement (FE) : L'enrichissement désigne une augmentation des teneurs totales, suite à des apports anthropiques, sans préjuger d'une évolution négative de la qualité du milieu (Chassin, 1996). Le facteur d'enrichissement (FE) renseigne sur l'augmentation de la concentration d'un élément chimique dans un sédiment par rapport à une référence. L'élément de normalisation retenu pour cette étude est le fer. Les concentrations en éléments traces métalliques dans la croûte continentale de Wedepohl (1995) ont été choisies comme fond géochimique. Le

facteur d'enrichissement se calcule selon l'équation donnée par Sutherland (2000) :

$$FE = ([M] / [Fe]) \times ([Fe] / [M])$$

Avec : [M] : concentration de l'élément M dans l'échantillon, [Fe] : concentration du fer dans l'échantillon, [M] : concentration de l'élément M dans le fond géochimique et [Fe] : concentration du fer dans le fond géochimique. Les valeurs du facteur

d'enrichissement permettent de définir 5 classes d'enrichissement (Sutherland, 2000) : $FE < 2$, enrichissement inexistant ou faible ; $2 < FE < 5$, enrichissement modéré ; $5 < FE < 20$, enrichissement significatif ; $20 < FE < 40$, enrichissement très fort et $FE > 40$, enrichissement extrême.

Tableau 2 : Teneurs des ETM dans la croûte continentale (Wedepohl, 1995)

	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Fe (µg/g)
UCC	12	19	14	52	0,1	17	30890

Calcul du niveau de pollution : La pollution est l'accumulation d'un composé en quantité telle qu'il peut induire un danger pour les organismes vivants ou compromettre l'usage qui est habituellement fait du milieu récepteur (Chassin, 1996). L'indice de géoaccumulation (Igeo) permet de calculer son intensité. Cet indice comporte sept classes qui déterminent des degrés de pollution (tableau 3). Il inclut différents degrés de pollution depuis les teneurs naturelles synonyme d'absence de pollution jusqu'aux sédiments très pollués. Les éléments de la classe 6 (Igeo > 5)

montrent un enrichissement, 100 fois, supérieur au fond géochimique (Tessier, 2012). L'indice se détermine selon l'équation (Müller, 1981) :

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5B_n)$$

Avec : C_n : Concentration dans le sédiment pour l'élément, B_n : Teneur de base géochimique (Fond Géochimique) pour l'élément n et 1.5 : Constante qui associe les variations naturelles de la concentration d'un élément dans un milieu et les faibles pressions anthropiques.

Tableau 3 : Classification de Müller (1981)

Classes	Indice de géo accumulation	Intensité de la pollution
0	$I_{geo} \leq 0$	Pas de pollution
1	$0 < I_{geo} < 1$	Non pollué à modérément pollué
2	$1 < I_{geo} < 2$	Modérément pollué
3	$2 < I_{geo} < 3$	Modérément pollué à fortement pollué
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fortement pollué
5	$4 < I_{geo} < 5$	Fortement pollué à extrêmement pollué
6	$I_{geo} > 5$	Extrêmement pollué

Détermination de la qualité des sédiments : La qualité du sédiment est déterminée à l'aide du quotient moyen des valeurs seuils ou mean-ERM-quotient. Le calcul du mean-ERM-quotient (m-ERM-Q) se fait suivant la formule (Long, 2006) :

$$m-ERM-Q = (C_1/ERM_1 + C_2/ERM_2 + C_3/ERM_3 + \dots + C_n/ERM_n) \times 1/n$$

Où, C représente la concentration du contaminant, ERM la valeur EMR du contaminant et n le nombre

d'éléments pris en compte dans la somme. Plusieurs classes de probabilité de toxicité sont définies en fonction des valeurs du quotient de toxicité pour les organismes benthiques (Long, 2006) : $m-ERM-Q < 0,1$, 9 % ; $0,11 < m-ERM-Q < 0,5$, 21 % ; $0,51 < m-ERM-Q < 1,5$, 49 % ; $1,5 < m-ERM-Q < 5$, 76 % et $m-ERM-Q > 5$, > à 90 %. Les valeurs de l'EMR (Effects-Range-Median) sont (Long, 1995) : Cu (270 µg/g), Ni (51,6 µg/g), Zn (410 µg/g), Cd (9,6 µg/g) et Pb (218 µg/g).

RESULTATS

Concentration en Co, Ni, Cu, Zn, Cd et Pb des sédiments : L'évolution des teneurs en cobalt se fait entre 15,47 (échantillon 38) et 84,99 µg/g (échantillon 45), avec une moyenne de 55,2 µg/g. Les teneurs maximales du nickel (215,63 µg/g), du cuivre (210,33 µg/g), du zinc (605,54 µg/g) et du plomb (225,70 µg/g) ont été enregistrées au centre de la baie du Banco (échantillon 29). Les valeurs minimales des teneurs ont été obtenues au Sud-Ouest de l'île Boulay (échantillon 38) pour le nickel (13,42 µg/g), au Nord-Est de l'île Boulay (échantillon 27) pour le cuivre (29,50 µg/g), à

l'Est de l'île Vitré pour le zinc (68,21 µg/g) et dans la baie d'Adiapodoumé (échantillon 36) pour le plomb (53,24 µg/g). La teneur moyenne est de 55,64 µg/g pour le nickel, 54,02 µg/g pour le cuivre, 132,33 µg/g pour le zinc et de 118,88 µg/g pour le plomb. Avec une moyenne de 0,75 µg/g, les teneurs en cadmium des sédiments lagunaires varient de 0,12 (échantillon 35) à 1,92 µg/g (échantillon 3). Les valeurs caractéristiques des teneurs en Co, Ni, Cu, Zn, Cd et Pb des sédiments ont été présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Valeurs caractéristiques des ETM analysés

	Cobalt	Nickel	Cuivre	Zinc	Cadmium	Plomb
Minimum	15,47	13,42	29,50	19,36	0,12	53,24
Maximum	84,99	215,63	210,33	605,54	1,92	225,70
Moyenne	55,20	55,64	54,02	132,33	0,75	118,88
Ecart-type	17,09	34,70	27,38	92,81	0,42	30,90

Niveau d'enrichissement en ETM des sédiments : Les valeurs du facteur d'enrichissement ont permis de définir des classes d'enrichissement pour chaque ETM. **Cobalt :** les valeurs du facteur d'enrichissement oscillent entre 0,72 et 12,86. L'intensité de l'enrichissement varie de « pas d'enrichissement » à « enrichissement significatif ». Le Sud de la baie de Koumassi, l'ouest de la baie de M'Badon et l'entrée de

la baie d'Abouabou montrent un enrichissement en cobalt d'intensité significative. Les plus faibles enrichissements en cobalt se trouvent dans le chenal situé au Sud et au Nord-Ouest de l'île Boulay, à l'Est de la baie de Cocody et dans la baie de Yopougon. Les sédiments sont majoritairement modérément enrichis au cobalt (figure 2).

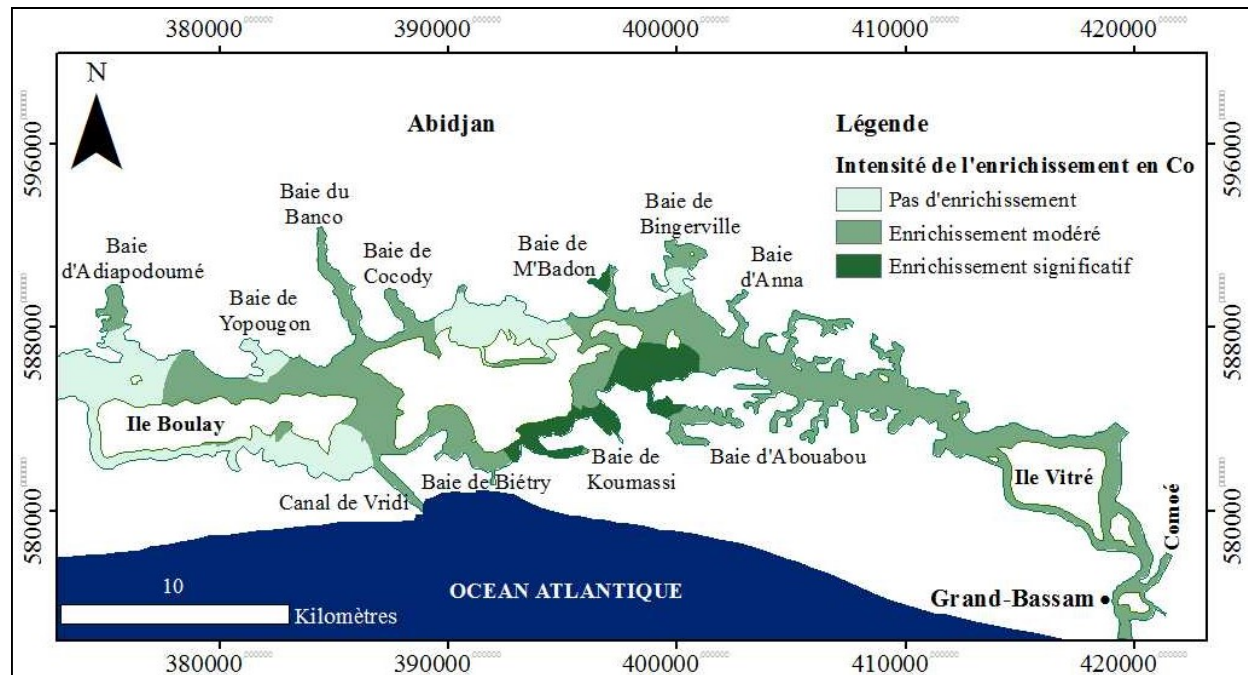


Figure 2 : Enrichissement en cobalt dans les sédiments de la lagune Ebré

Nickel : les valeurs du facteur d'enrichissement évoluent entre 0,53 et 7,06 ; ce qui équivaut à un enrichissement d'intensité variant entre « pas d'enrichissement » et « enrichissement significatif ». Les sédiments lagunaires, dans leur majorité ne présentent pas un enrichissement

en nickel. L'enrichissement modéré est observé dans quelques sédiments. Les intensités d'enrichissement significatives sont enregistrées au Nord-Est de l'île Boulay, au Sud de la baie de Koumassi et à l'entrée de la baie d'Abouabou (figure 3).

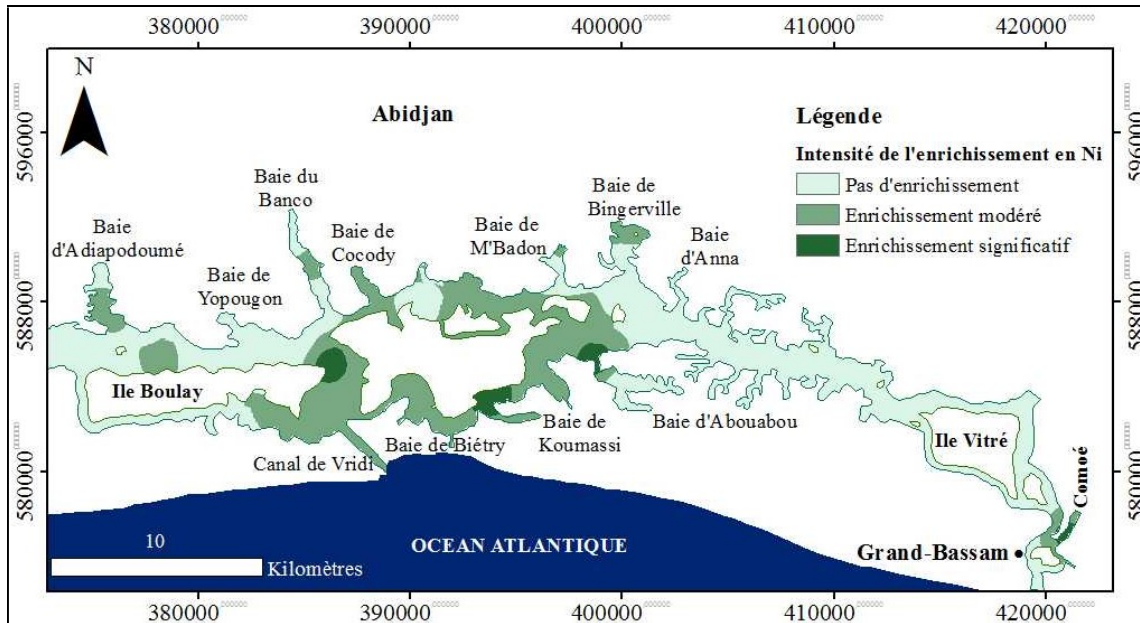


Figure 3 : Evolution spatiale de l'enrichissement en nickel des sédiments de la lagune Ebré

Cuivre : la variation des valeurs de l'enrichissement se fait entre 1,38 et 7,52. L'intensité de l'enrichissement fluctue entre « pas d'enrichissement » à « enrichissement significatif ». L'enrichissement faible est le plus représenté. Une partie du Nord-Ouest de l'île

Boulay, les baies de Koumassi et du Banco ont des intensités d'enrichissement significatives. Les échantillons de sédiments issus de ces zones sont significativement enrichis en cuivre (figure 4).

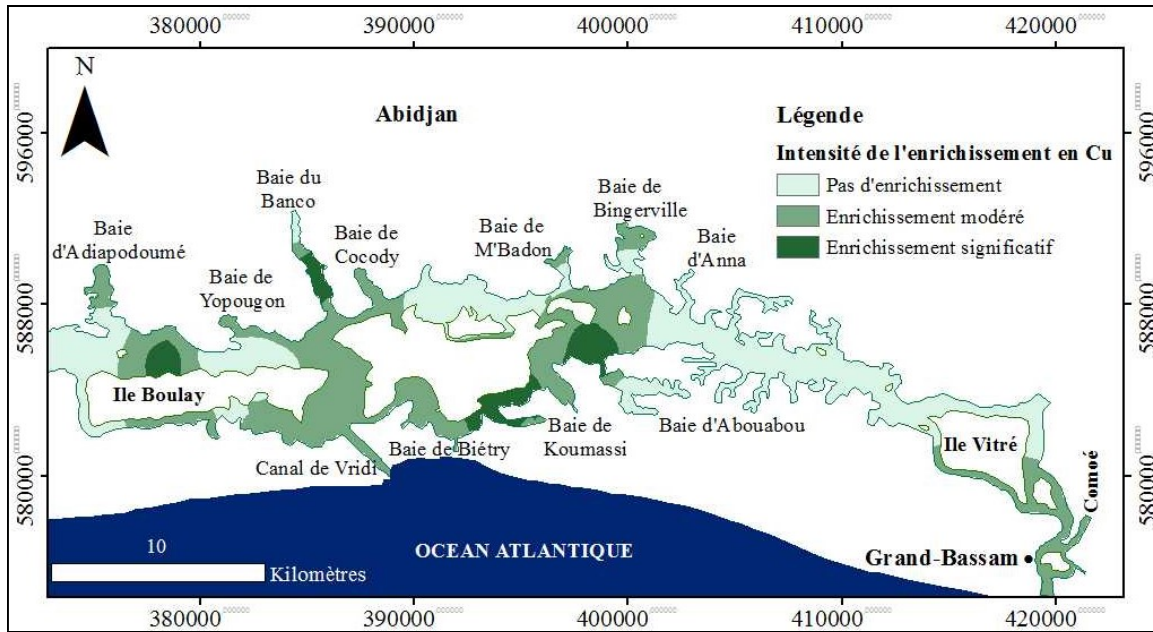


Figure 4 : Variation de l'enrichissement en cuivre dans la lagune Ebré

Zinc : avec des valeurs du facteur d'enrichissement qui passent de 0,64 à 7,5, l'intensité de l'enrichissement en zinc évolue de « pas d'enrichissement » à « un enrichissement significatif ». La valeur minimale est enregistrée dans les sédiments localisés dans le chenal

à côté de l'île Vitré. Les échantillons de sédiment indiquent majoritairement une absence d'enrichissement. La valeur maximale est obtenue dans le Sud de la baie de Koumassi. L'enrichissement est significatif dans cette partie de la baie (figure 5).

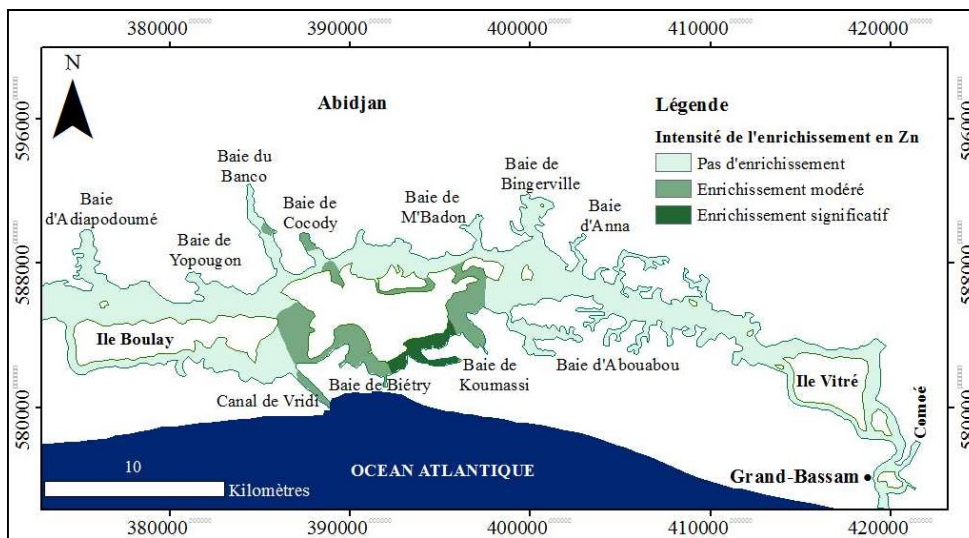


Figure 5 : Enrichissement en zinc des sédiments de la lagune Ebré

Cadmium : les valeurs extrêmes du facteur d'enrichissement sont de 0,51 pour le minimum et de 23,80 pour le maximum. L'intensité de l'enrichissement oscille de « pas d'enrichissement » à « enrichissement très forte ». La baie d'Adiapodoumé enregistre la valeur

minimale de l'enrichissement et la baie de Koumassi la valeur maximale. On observe aussi des sédiments modérément enrichis et des sédiments significativement enrichis (figure 6).

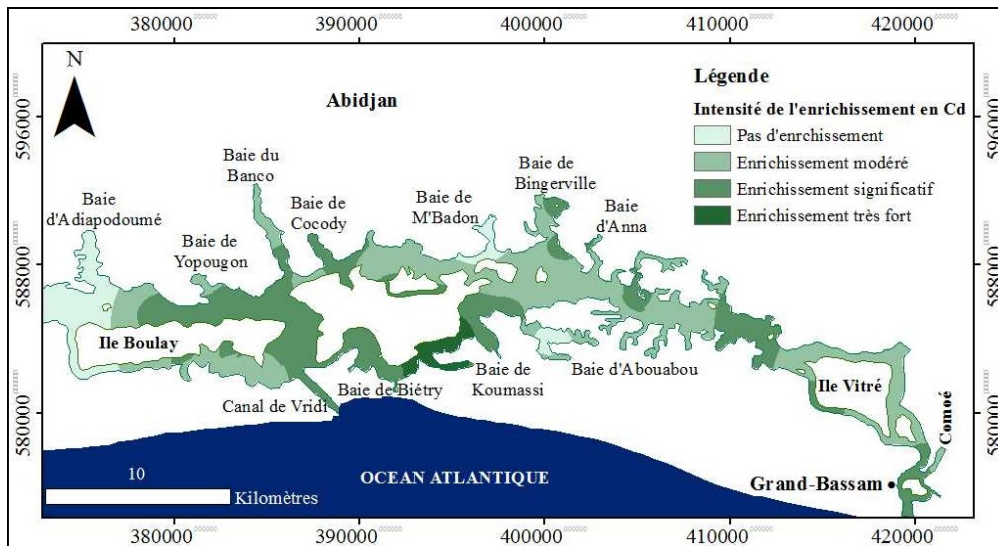


Figure 6 : Distribution spatiale de l'enrichissement en cadmium

Plomb : les valeurs minimales (1,6) et maximales (19,08) ont été obtenues respectivement dans les baies d'Adiapodoumé et de Koumassi. L'intensité de l'enrichissement varie de « pas d'enrichissement » à « enrichissement significatif ». L'enrichissement significatif s'observe principalement dans les sédiments

prélevés dans la lagune au niveau de la ville d'Abidjan. Les sédiments situés à l'Ouest de l'Ile Boulay et à l'Est de l'Ile Vitré ne sont pas enrichis en plomb. La majorité des sédiments localisés à l'Est de la baie de Koumassi sont modérément enrichis (figure 7).

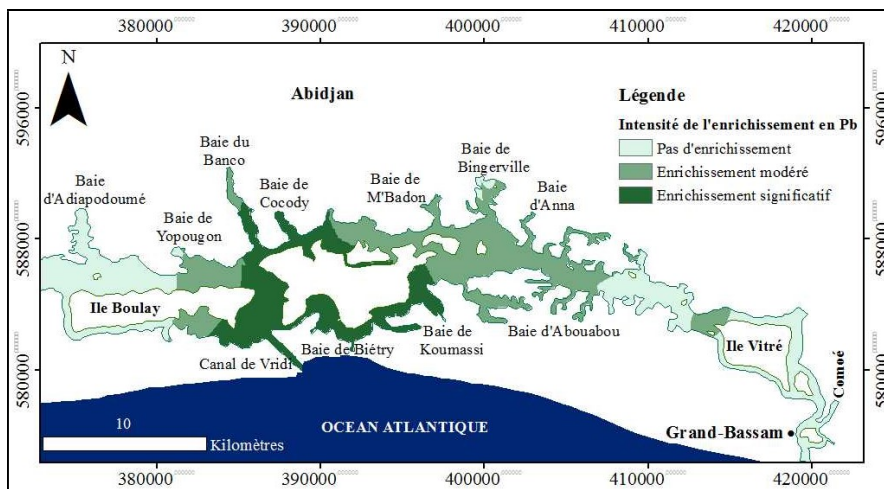


Figure 7 : Variation de l'enrichissement en plomb dans les sédiments lagunaires

Niveau de pollution des sédiments en ETM

Cobalt : Les indices varient de -0,22 à 2,24. Ces valeurs permettent de distinguer quatre classes de pollution. La classe 0, indiquant une absence de pollution des sédiments, s'observe uniquement au Sud de l'Ile Boulay. Les sédiments non pollués à

modérément pollués (classe 1) se retrouvent dans le fleuve Comoé, au Nord-Est de l'Ile Boulay, à l'entrée de la baie de Bingerville et à l'Ouest de la baie de M'Badon. Les sédiments modérément pollués (classe 2) se retrouvent presque partout dans la lagune. Ils sont les mieux représentés. Les sédiments

modérément pollués à fortement pollués (classe 3) s'observent au Sud de l'île Vitré et dans les baies du Banco, M'Badon, Bingerville et d'Abouabou (figure 8).

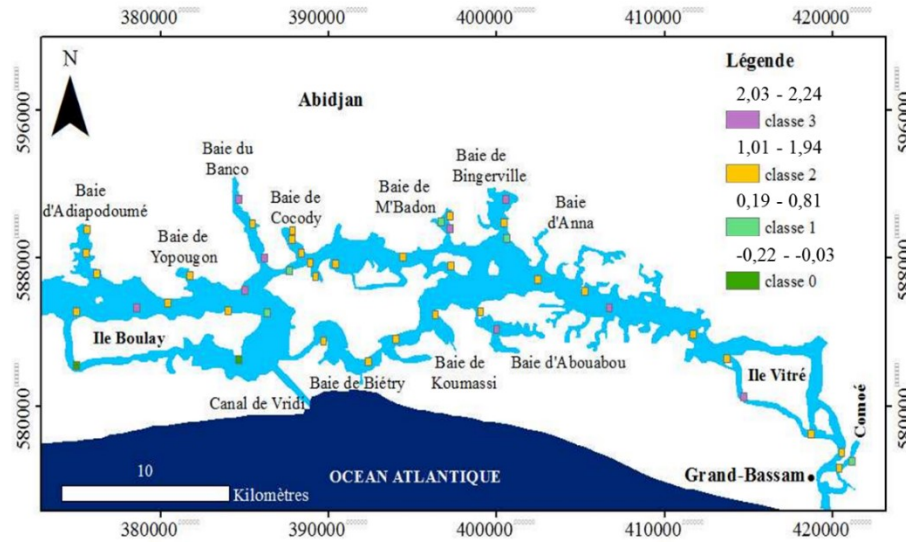


Figure 8 : Pollution en cobalt des sédiments de la lagune Ebrié

Nickel : les indices se situent entre -1,1 et 2,92. On déduit des valeurs des indices quatre groupes. Les sédiments appartenant à la classe 0 (non pollué) se localisent au Sud-Ouest de l'île Boulay, au Nord de la baie d'Adiapodoumé, au centre de la baie d'Abouabou et dans le chenal situé entre la baie d'Anna et l'île Vitré. Le Nord de l'île Boulay, les baies de Yopougon, du

Banco, de M'Badon et de Bingerville, le Sud de l'île Vitré et la confluence lagune Ebrié-fluve Comoé ont des sédiments non pollués à modérément pollués (classe 1). Les sédiments lagunaires sont majoritairement modérément pollués par le nickel. L'intensité de pollution modérée à fortement (classe 3) se rencontre au centre de la baie du Banco (figure 9).

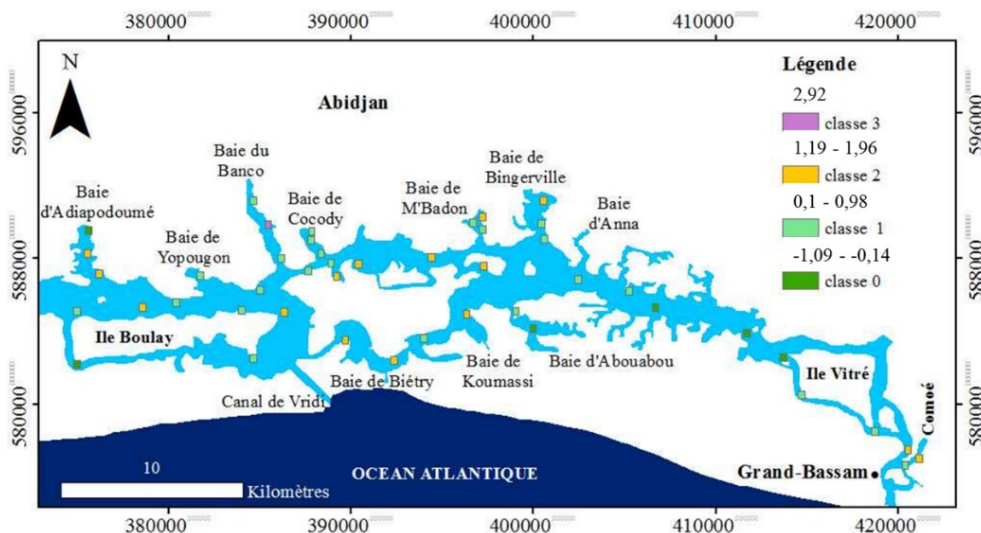


Figure 9 : Pollution en Nickel dans la lagune Ebrié

Cuivre : La variation des indices se fait entre 0,49 et 3,32. Ces valeurs se regroupent en quatre classes. Les sédiments non pollués à modérément pollués (classe 1)

se retrouvent au Sud-Ouest et au Nord-Est de l'île Boulay, au Sud des baies de Cocody et de Koumassi, à l'entrée des baies de Bingerville et d'Abouabou, dans le

chenal entre la baie d'Anna et l'île Vitré et à la confluence lagune Ebrié-fluve Comoé. La majorité des sédiments est modérément polluée (classe 2). Les classes 3 (modérément pollué à fortement pollué) et 4

(fortement pollué) sont peu représentées. Elles s'observent respectivement au Nord de l'île Boulay et au centre de la baie du Banco (figure 10).

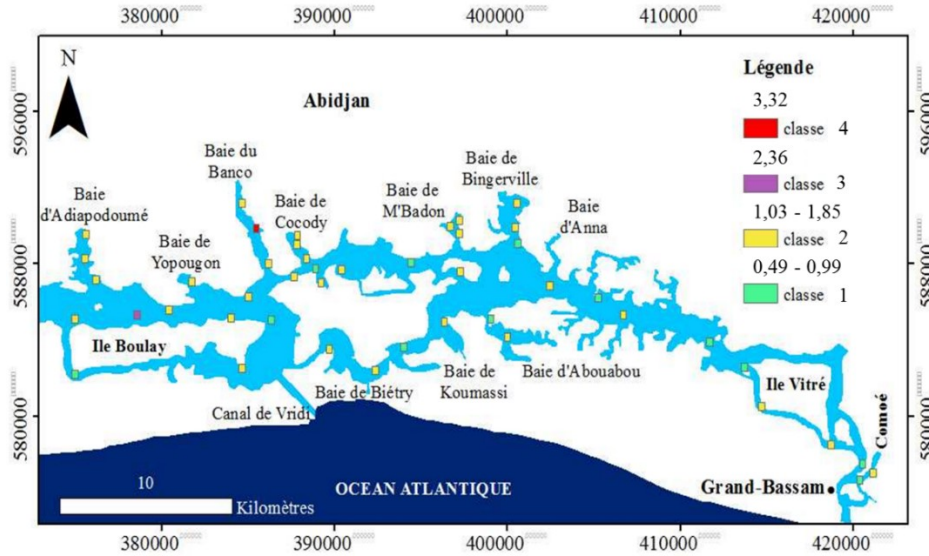


Figure 10 : Pollution des sédiments de la lagune Ebrié par le cuivre

Zinc : les indices de géoaccumulation oscillent de -2,01 à 2,92. Les intensités de pollution déduite de ces valeurs se regroupent en quatre classes. Les sédiments non pollués (classe 0) se situent au Sud-Ouest et au Nord-Est de l'île Boulay, dans la baie d'Abouabou, au Nord des baies de M'Badon et de Bingerville, au niveau de la confluence lagune Ebrié-

fluve Comoé et dans la Comoé. Le groupe des sédiments non pollués à modérément pollués (classe 1) sont les plus représentés dans la lagune. La pollution d'intensité modérée est enregistrée dans les sédiments des baies de Yopougon, Cocody et Biétry. Les sédiments du centre de la baie du Banco se caractérisent par une forte pollution en zinc (figure 11).

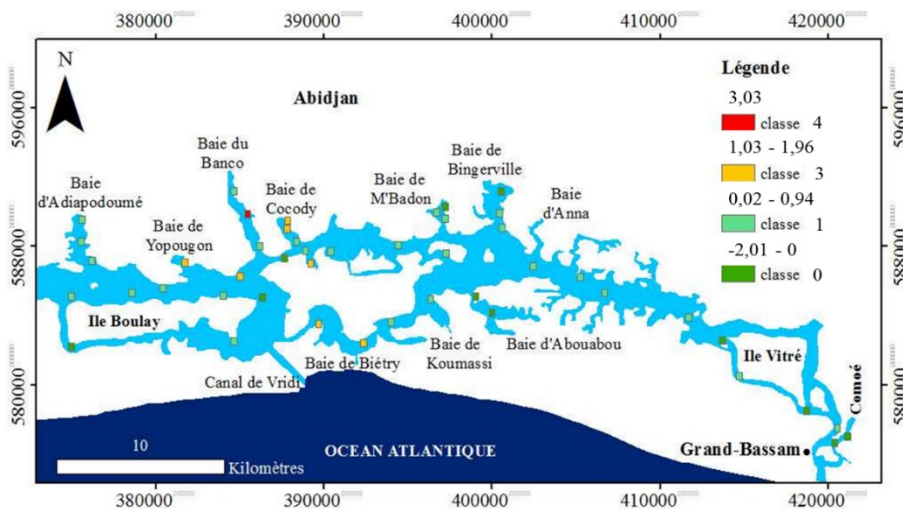


Figure 11 : Classe de pollution des sédiments en zinc dans la lagune Ebrié

Cadmium : les valeurs extrêmes des indices sont -0,37 et 3,68. On dénombre cinq (5) classes de pollution au cadmium. La classe 0, synonyme d'absence de pollution des sédiments, se retrouve à l'entrée de la baie d'Adiapodoumé et dans le chenal situé entre les baies du Banco et de Cocody. Les sédiments non pollués à modérément pollués (classe 1) s'observent au Sud de l'Ile Boulay, dans le fleuve Comoé et dans les

baies de M'Badon, et d'Abouabou. Au centre des baies d'Adiapodoumé et de Bingerville, on y rencontre des sédiments modérément pollués (classe 2) au cadmium. La classe 3 concerne les sédiments modérément à fortement pollués. Ils occupent une grande partie de la lagune. Les sédiments fortement pollués (classe 4) au cadmium se retrouvent au Nord de la baie du Banco et dans la baie de Cocody (figure 12).

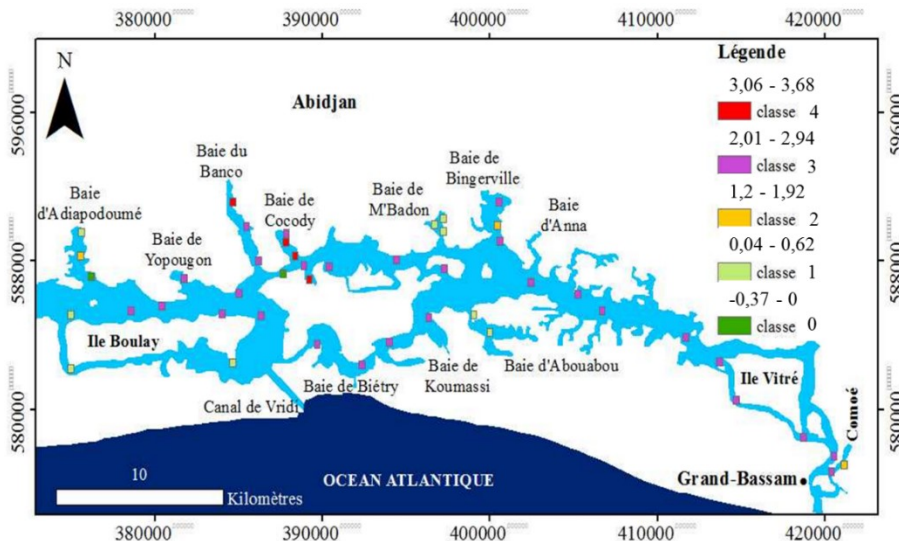


Figure 12 : Niveau de pollution des sédiments par le cadmium en lagune Ebré

Plomb : la répartition des valeurs des indices se fait entre 1,06 et 3,14. Le regroupement de ces valeurs donne trois classes. La pollution d'intensité modérée (classe 2) s'observe dans les sédiments au Sud de l'Ile Vitré, au centre de la baie d'Adiapodoumé, à l'Ouest et au Nord-Est de l'Ile Boulay et dans les baies

d'Abouabou, de M'Badon et de Bingerville. Les sédiments modérément à fortement pollués (classe 3) occupent la presque totalité de la lagune (figure 14). Le centre de la baie du Banco indique une pollution d'intensité forte (classe 3)

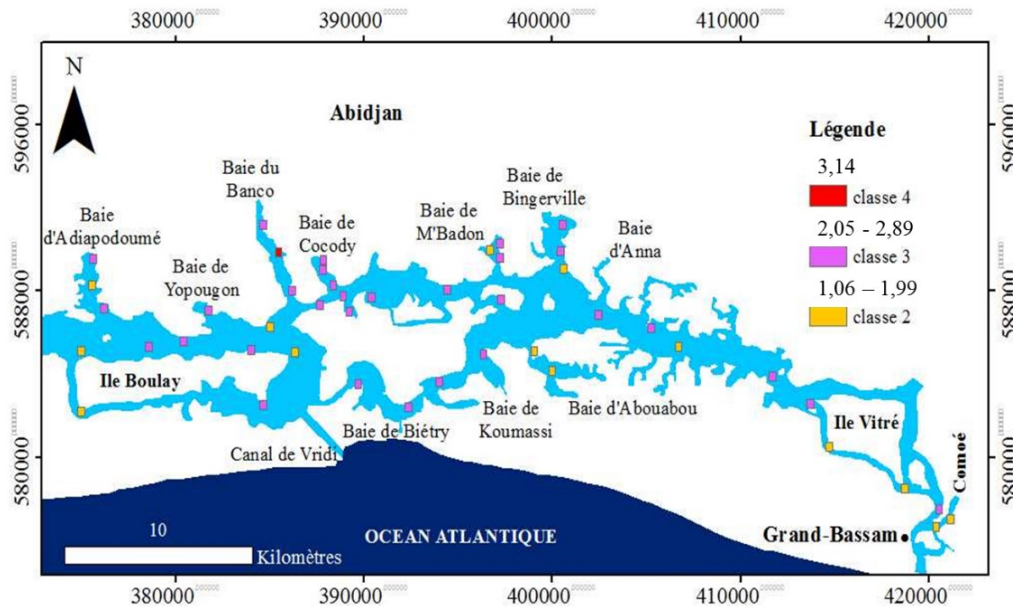


Figure 13 : Distribution des classes de pollution des sédiments par le plomb

Qualité des sédiments : Les valeurs du quotient moyen ($m\text{-ERM-Q}$) varient de 0,21 à 1,52 (tableau 14). Elles permettent de distinguer trois catégories de toxicité. Les valeurs de $m\text{-ERM-Q}$ allant de 0,21 à 0,49, constituent la première catégorie du risque toxique. Les échantillons, dont les valeurs du quotient moyen sont dans cet intervalle, se rencontrent autour de l'Ile Boulay et dans toute la zone située entre la baie de Koumassi et le fleuve Comoé au niveau de Grand-Bassam. Les organismes benthiques de ces zones sont exposés à un risque toxique de 21%. Dans la catégorie deux, les valeurs du risque toxique s'étalent entre 0,51 et 0,68.

Les sédiments concernés se situent au niveau d'Abidjan dans les baies lagunaires d'Adiapodoumé, de Yopougon, de Cocody, de Marcory, de Biétry et de Koumassi. La probabilité, pour ces sédiments, d'être toxique pour les organismes benthiques est de 49%. La valeur du risque de toxicité enregistrée dans l'échantillon de sédiments situé au centre de la baie du Banco est de 1,52. Cette valeur de risque écotoxique constitue la troisième catégorie de toxicité. La mauvaise qualité de cet échantillon de sédiments expose les organismes benthiques à un risque toxique de 76%.

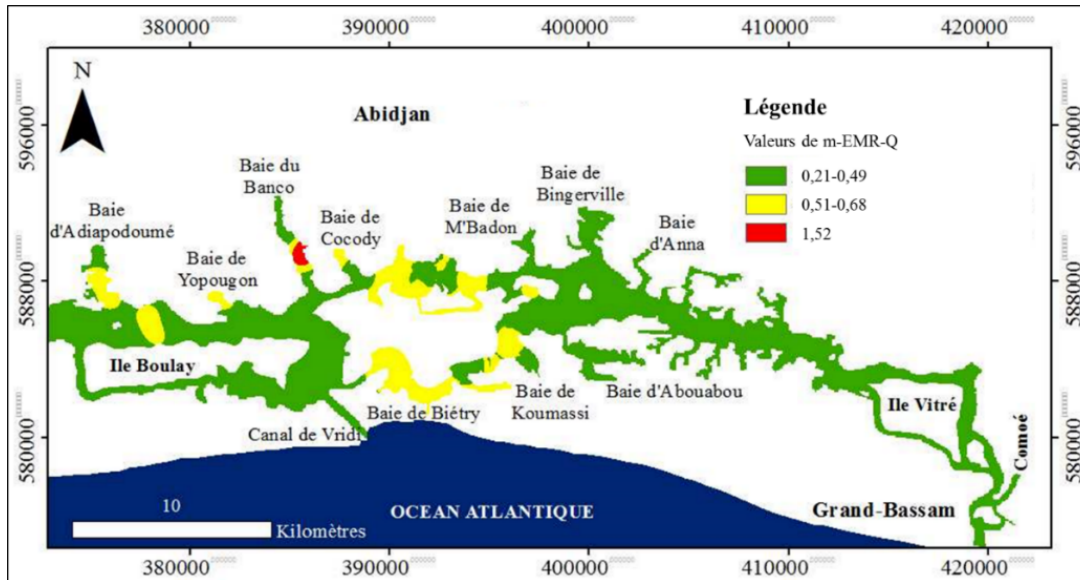


Figure 14 : Distribution spatiale des valeurs du quotient moyen dans la lagune Ebrié

DISCUSSION

Variation spatiale des teneurs en ETM : Les concentrations des ETM sont très variables dans le chenal est de la lagune Ebrié. Cette distribution spatiale des ETM résulte de la combinaison de deux facteurs (Colinet, 2003) : les facteurs naturels (climat, matériel parental, relief) et les facteurs anthropiques (utilisation des terres, proximité d'activités industrielles). En dehors de celles déjà citées par Coulibaly (2008) et Yao (2009), le cuivre, le zinc et le plomb ont d'autres origines. Le cuivre et le zinc sont issus des peintures utilisées pour empêcher la fixation des planctons indésirables sur les bateaux. Le zinc proviendrait aussi des anodes marines de protection des parties immergées des bateaux de la corrosion. Le plomb est apporté par les dépôts atmosphériques et par le ruissellement en milieu marin (Miralles, 2005). Concernant le cadmium, ses concentrations (0,12-1,92 µg/g) sont très faibles par rapport aux autres ETM. Yao et Kouassi (2015) expliquent ces faibles teneurs par l'inhibition par la matière organique de la fixation du cadmium sur les sédiments ayant une teneur en cadmium supérieure à 1 mg/L. Ce blocage entraîne l'augmentation des concentrations du cadmium dans la tranche d'eau ; ce qui pourrait induire une très grande mobilité éventuelle de cet élément, car la probabilité de trouver un élément en solution est importante lorsqu'il est mobile (Juste et Solda, 1988). La faible teneur en cadmium pourrait aussi s'expliquer par la minéralogie. En effet, la kaolinite est l'un des minéraux majeurs avec le quartz dans la lagune Ebrié (Irié, 2015). Il pourrait être aussi un élément influant au niveau de l'adsorption

de cet élément car Benhebal et Chaib (2008) ont attribué le faible taux de rétention du cadmium sur un mélange kaolinite-illite à la kaolinite. Elle est le type d'argile dominant. Le fait qu'elle soit non gonflante diminue sa capacité à adsorber les ETM.

Evolution des teneurs des ETM de 1983 à 2015 : Cette discussion portera sur l'évolution des teneurs des ETM dans la baie du Banco. Les plus fortes teneurs des ETM tels que le Cu, le Ni, le Zn, et le Pb y ont été enregistrées. On observe aussi une coïncidence des points d'échantillonnage de certains travaux avec notre station de prélèvement située au centre de cette baie. Ces caractéristiques font de la baie estuarienne du Banco une référence pour un meilleur suivi de l'évolution des teneurs des ETM. L'évolution des concentrations des ETM (Co, Cu, Ni, Zn, Cd et Pb) de 1983 à 2015 met en évidence une augmentation progressive. Toutefois, on note une diminution des teneurs en Cu et Zn en 2006 (figure 15). Cette variation des teneurs serait due à :

- une différence des méthodes d'analyse : la méthode de digestion utilisée par la présente étude et celle de Coulibaly et al (2008) est une digestion totale des sédiments par un mélange triacide (acide chlorhydrique (HCl), acide nitrique (HNO₃), acide fluorhydrique (HF)). La masse de sédiments minéralisée est de 0,3 g de sédiments pour Coulibaly (2008) et de 0,5 g de sédiments pour cette étude. La digestion des sédiments (0,7 g) de Marchand et Martin (1985) a été faite à l'aide d'un mélange biacide (acide nitrique, acide chlorhydrique). Cette minéralisation n'est donc pas

totale. Le dosage des teneurs des ETM a été réalisé au spectromètre à absorption atomique à flamme pour cette étude et celle de Marchand et Martin (1985). Par contre, pour l'étude de Coulibaly (2008), les teneurs des ETM ont été déterminées grâce à un spectromètre de masse (ICP-MS) ;

- une différence au niveau des périodes d'échantillonnage : les prélèvements se sont déroulés pendant la saison sèche ou période d'étiage pour les sédiments de Marchand et Martin (1985) et ceux de Coulibaly (2008). Les sédiments utilisés dans cette étude ont été échantillonnés pendant la grande saison pluvieuse (juillet) ;

- une élévation normale des teneurs des ETM : cette augmentation des teneurs serait liée aux fortes pressions des activités humaines sans cesse croissantes (activités de carénage, recyclage des

métaux, teintures et transport lagunaire) que subissent les baies estuariennes. A cela, s'ajoutent les vitesses de courant faibles au niveau des baies éloignées du canal de Vridi. Dans ces baies, les vitesses de courant de surface et de fond restent inférieures à $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; ce qui favorise le dépôt des sédiments (Monde, 2011).

L'augmentation des teneurs des ETM dans les sédiments pourrait avoir des répercussions négatives sur la lagune Ebrié et sur la population environnante. En effet, ces ETM pourraient passer des sédiments aux êtres vivants (poissons, crevettes) et ainsi se retrouver dans la chaîne trophique. Pour éviter ce risque d'empoisonnement, il semble nécessaire d'envisager la construction des stations d'épuration et un dragage des baies ou des zones exposées à une forte pollution en ETM. Le dragage facilitera la circulation des masses d'eau et une évacuation rapide des polluants en mer.

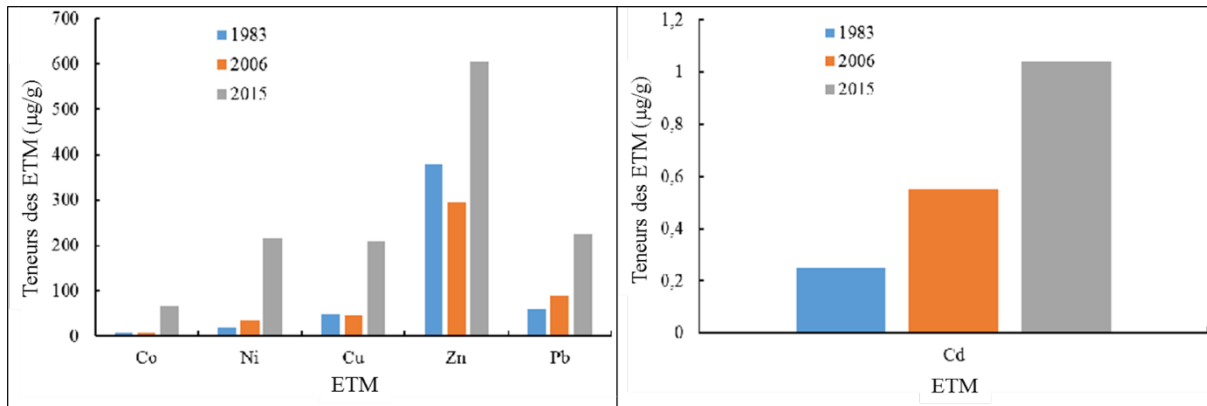


Figure 15 : Evolution des teneurs du Co, Ni, Cu, Zn, Pb et du Cd dans la baie du Banco de 1983 à 2015

Enrichissement, pollution et risque toxique des ETM : Les valeurs moyennes du facteur d'enrichissement permettent de classer les ETM dans l'ordre suivant : $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Zn}$. De même, l'ordre de grandeur des ETM en fonction des valeurs moyennes de l'indice de géoaccumulation est : $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Zn}$. Le cadmium est le plus enrichi, alors que le plomb est l'ETM le plus important. Dans l'ensemble, la lagune bordant la ville d'Abidjan montre les plus fortes intensités d'enrichissement, de pollution et de risque toxique. De part et d'autre de cette zone (à l'Ouest du canal de Vridi et à l'Est de la baie de Koumassi), on observe des valeurs faibles ou

moyennes de l'intensité d'enrichissement, de pollution et du risque toxique. La distribution spatiale de ces trois indices indique une augmentation de l'enrichissement, de la pollution et du risque toxique de l'Ouest vers Abidjan et de l'Est vers Abidjan. Cela s'expliquerait par : une pression anthropique faible à l'Ouest du canal de Vridi et à l'Est de la baie de Koumassi par rapport à la ville d'Abidjan, la nature des sédiments, un déplacement des polluants en suivant l'hydrodynamisme des fleuve Agnéby à l'Ouest et Comoé à l'Est. Ces fleuves transportent les polluants vers l'océan atlantique en passant par le canal de Vridi.

CONCLUSION

La variation des teneurs du Co, Cu, Ni, Zn, Cd et Pb dans la lagune Ebrié est due aux activités humaines autour de cette lagune, à la nature des sédiments et

l'hydrodynamisme. L'enrichissement en cobalt, cuivre, nickel, zinc et plomb varient de « pas d'enrichissement » à « enrichissement significatif ». Le cadmium a des

classes d'enrichissement qui se situent entre « pas d'enrichissement » et « très fortement enrichis ». L'intensité de pollution des sédiments par le cobalt, le nickel et le zinc oscillent entre « pas de pollution » et « modérée à forte pollution ». La pollution des sédiments au cuivre à une intensité qui se situe entre « pas de pollution » à « modérée et fortement polluée ». La pollution par le plomb se fait avec des intensités qui passent de modérée à forte. Les sédiments lagunaires sont classés en trois catégories en fonction de l'intensité du risque toxique auquel ils exposent les organismes benthiques. La catégorie 1 concerne les sédiments présentant un risque toxique de 21 % pour les organismes benthiques. La catégorie 2 fait référence aux sédiments ayant un risque toxique de 49 % pour les organismes benthiques. La dernière

catégorie ou catégorie 3 est celle des sédiments présentant un risque toxique de 76 % pour les organismes benthiques. L'enrichissement en ETM des sédiments de la lagune Ebrié pourrait avoir des répercussions négatives sur la population environnante. En effet, ces ETM pourraient passer des sédiments aux êtres vivants (poissons, crevettes) et ainsi se retrouver dans la chaîne trophique. Pour éviter ce risque d'empoisonnement, il semble nécessaire d'envisager le recensement des zones d'entrée d'eau dans la lagune et leur limitation, la construction des stations d'épuration et un dragage des zones exposées à un fort risque toxique. Le dragage facilitera la circulation des masses d'eau et une évacuation rapide des polluants en mer.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos sincères remerciements au Laboratoire des Géosciences Marines (LGM) de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan

et au Centre de Recherches Océanologiques (Côte d'Ivoire) pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- Benhebal H. et Chaib M., 2008. Etude de la Fixation des Micropolluants Métalliques (Pb²⁺, Cd²⁺) sur une Argile Locale. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, 25, pp63-70
- Bouih B. H., Nassali H., Leblancs M. et Shiri A., 2005. Contamination en métaux traces des sédiments du lac FOUARAT (Maroc). *Afr. Sc.*, 1(1), pp109-125
- Chassin P., Baize D., Cambier P. et Sterkman T., 1996. Les éléments traces métalliques et la qualité des sols. Impact à moyen et à long terme. *Etude et gestion des sols*, 3(4), pp298-306
- Colinet G., 2003. Eléments traces métalliques dans les sols. Contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse Belge. Thèse de Doctorat, Univ. des Sc. Agronom. de Gembloux, Partie 1, 118p
- Coulibaly A. S., Monde S., Wognin V. A. et Aka K., 2008. State of anthropic pollution in the estuary of Ebrié lagune (Côte d'Ivoire) by analyse of the Metal Elements Traces. *Eur. J. Res.*, 19(2), pp372-390
- Devallois V., 2009. Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydrosystèmes continentaux. Thèse de Doctorat, Univ. Provence, 276p
- Gouzy A. et Ducos G., 2008. La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement. *Air Pur*, 75, Deuxième semestre, pp6-10
- Juste C. et Solda P., 1988. Influence de l'addition de différentes matières fertilisantes sur la biodisponibilité du cadmium, du manganèse, du nickel et du zinc contenus dans un sol sableux amandé par des boues de stations d'épurations. *Agronomie*, 8, pp897-904
- Long E.R., Ingersoll C.G. et Macdonald D.D., 2006. Calculation and use of mean sediment quality guideline quotients: a critical review. *Environmental science and Technology*. 40, pp1726-1736
- Long E.R., Macdonald D.D., Smith S. L. et Calder F.D., 1995. Incidence of Adverse Biological Effects within Ranges of Chemical Concentrations in Marine and Estuarine sediments. *Env. Manag.*, 199, pp81-97
- Marchand M. et Martin J.L., 1985. Détermination de la pollution chimique (hydrocarbure, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Oceanogr. Trop.* 20(1), pp25-39
- Miralles J., Radakovitch O. et Aloisi J.C., 2005. 210Pb sedimentation rates from the Northwestern

- Mediterranean margin. *Marine Geology*, 216, pp155-167
- Monde S., Coulibaly A. S., Wango T.-E. et Aka K., 2011. Hydrodynamique de l'estuaire de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Rev. Paralia*. 4, pp1.1-1.14
- Mufleh A.E., Bechet B. et Ruban V., 2010. Etude des phases porteuses des polluants métalliques dans des sédiments de bassins d'infiltration des eaux pluviales. NOVATECH. Session 2.8, pp1-11
- Müller G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. *Umschau* 79, pp778783
- Singh N. et Turner C.M., 2009. Leaching of copper and zinc from spent antifouling paint particules. *Environmental pollution*, 157, pp371-376
- Sutherland R.A., Tolosa C.A, Tack F.M.G et Verloo M.G., 2000. Characterization of selected element concentration and enrichment ratios in background and anthropogenically impacted roadside areas. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 38, pp428-438
- Wedepohl K.H., 1995. The composition of continental crust. *Goechimica and Cosmochimica. Acta*. 59(7), pp1217-1232
- Wognin A.V., N'guessan Y.M., Assale F.J.P., Aka A.M., Coulibaly A.S., Monde S. et Aka K., 2017. Les éléments traces métalliques dans la lagune Ebrié : distribution saisonnière, niveau de contamination et qualité environnementale des sédiments. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(2), pp911-923
- Yao M. K. et Kouassi N. L.-B., 2015. Etude des propriétés d'adsorption et de désorption du Plomb (Pb) et du Cadmium (Cd) par les sédiments d'une lagune tropicale en présence d'Allylthiourée. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(1), pp483-491
- Yao K. M., Metongo S. B., Trokourey A. et Bokra Y., 2009. Assessment of sediments contamination by heavy metals in a tropical lagoon urban area (Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*. 34(2), pp280-289