



Available online at <http://www.ifg-dg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(2): 835-845, April 2016

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Pollution saisonnière des sédiments de lagune par des métaux lourds (Cu, Pb et Zn) en zone tropicale humide : cas de la lagune Mondoukou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)

Christopher Abraham GOUIN^{1*}, Natchia AKA², Bernard ADIAFFI³,
Barthelemy Siaka BAMBA² et Nagnin SORO³

¹Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo (UPGC), Institut de Gestion en Agropastorale (IGA),
BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire.

²Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

³Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (UFHB), UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières
(STRM), Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE),
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

* Auteur correspondant, E-mail: gouinabraham@live.fr

RESUME

En Afrique et précisément en Côte d'Ivoire, le milieu lagunaire représente en général l'exutoire de toute sorte de pollution. Les stations d'épuration installées dans les lagunes urbaines sont le plus souvent défectueuses, rendant ces milieux vulnérables par les eaux usées continentales (industrielles et domestiques) qui s'y déversent sans restriction et sans traitement. En zone rurale, ils se substituent parfois à des latrines et à des décharges à ciel ouvert. La lagune Mondoukou, qui de nos jours, est graduellement considérée comme un centre d'intérêt à la fois pour le tourisme et les sciences appliquées, mérite d'être étudiée dans le but de protéger les populations qui y sont afférentes, d'éventuelles pollutions chimiques. L'objectif de cette étude est de quantifier la pollution saisonnière due aux métaux lourds (Cu, Pb et Zn) dans les sédiments de la lagune Mondoukou. Les sédiments ont été prélevés à l'aide de la benne Van Veen à l'interface eau-sédiment et conservés dans des sachets en plastique afin d'être soumis aux analyses des métaux lourds. Les teneurs en métaux lourds ont été mesurées par spectrométrie d'absorption atomique dans les sédiments prélevés en saison sèche et en saison des crues. Les concentrations moyennes les plus élevées sont celles du plomb ($76,6 \text{ mg.kg}^{-1}$), suivies du cuivre ($50,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) et du zinc ($17,5 \text{ mg.kg}^{-1}$). Les concentrations moyennes en cuivre et en plomb sont supérieures à celles des sédiments non pollués. Par contre, les teneurs moyennes en zinc sont inférieures à celles des sédiments non pollués. L'indice de géo-accumulation (I_{géo}) et le facteur d'enrichissement (FE) ont été utilisés pour déterminer le degré et les origines de la contamination des sédiments. Les valeurs moyennes des I_{géo} traduisent un milieu très sévèrement pollué en saison de crue et un milieu sévèrement pollué en saison sèche. L'examen minutieux du FE révèle que la source principale de contamination en métaux lourds des sédiments de la lagune Mondoukou est d'origine anthropique sur les deux saisons.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Lagune Mondoukou, métaux lourds, Côte d'Ivoire.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.31>

2594-IJBCS

Seasonal pollution of lagoon sediments with heavy metals (Cu, Pb and Zn) in humid tropical zone: case of Mondoukou lagoon (South-East Ivory Coast)

ABSTRACT

In Africa, especially in Ivory Coast, lagoon environment is generally the outlet of pollution. Sewage treatment plants of urban lagoons have failed so that environment becomes vulnerable by continental waste (industrial and domestic waste). In rural area, lagoons become population latrines and waste basin. Mondoukou lagoon which nowadays is gradually considered as the focus for both tourism and applied sciences deserves to be studied in order to protect populations of possible chemical pollution. The aim of this study is to quantify seasonal pollution by heavy metals (Cu, Pb and Zn) in the sediments of Mondoukou lagoon. Sediments were sampled using a bucket Van Veen at the sediment-water interface and stored in separate plastic bags for heavy metals analysis. The contents of heavy metal were measured by atomic absorption spectrometry in sediment sampled in the dry season and flood season. The highest mean concentrations of metal are those of lead (76.6 mg.kg⁻¹), followed by copper (50.8 mg.kg⁻¹) then by zinc (17.5 mg.kg⁻¹). The mean concentrations of copper and lead are higher than those of within non-polluted sediments. However, the mean contents of zinc are lower than those of within non-polluted sediments. The geo-accumulation index (Igeo) and the enrichment facto (EF) were used to determine the degree and the origin of sediment contamination. The mean values of Igeo reflect a decreasing severely polluted environment during flood season and dry season, respectively FE scrutiny values reveals that the heavy metal contamination of Mondoukou lagoon sediments is mainly produced by anthropogenic activities on both seasons.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Mondoukou lagoon, heavy metals, Ivory Coast.

INTRODUCTION

Les lagunes sont des écosystèmes très riches en biodiversité. Elles servent d'habitats irremplaçables, de zones de pontes et de nurseries pour de nombreuses espèces (Ruiz, 2006). Elles sont aussi le lieu de transit de la plus grande partie des apports continentaux mais sont naturellement vulnérables et leur équilibre écologique peut être rapidement modifié sous l'influence de facteurs naturels ou anthropiques (inondation mal gérée, pollution industrielle, rejets de déchets urbains importants) (Kouassi, 2005). Les métaux lourds sont des polluants présents dans tous les compartiments de l'environnement, et leur présence est à la fois naturelle ou anthropique. Ils ont un fort impact toxicologique sur l'environnement. Les milieux aquatiques sont très sensibles aux métaux lourds par la coexistence de deux phénomènes de bioaccumulation et de biomagnification. Les métaux lourds s'y concentrent au fur et à mesure des absorptions dans la chaîne alimentaire (Hammi, 2010). La contamination

des écosystèmes aquatiques par les métaux lourds demeure donc un sérieux problème d'environnement de plus en plus inquiétant surtout à cause des problèmes de santé, notés sur les populations qui y sont exposées. Ainsi, ces dernières années, la pollution des eaux par les métaux lourds préoccupe toutes les régions du monde soucieuses de maintenir leur patrimoine hydrique à un haut degré de qualité (Ben Bouih et al., 2005). Le système lagunaire de la Côte d'Ivoire s'étend parallèlement au rivage du Golfe de Guinée, entre 2°50' et 5°25' de longitude Ouest sur près de 300 km avec une superficie totale de 1 200 km² (Tastet et Guiral, 1994). Des études sur les métaux lourds dans certaines lagunes de Côte d'Ivoire ont été menées par les auteurs tels que Traoré et al. (2014) sur la lagune Aghien, Keumean (2013) sur la lagune Ouladine, Issola et al. (2013) sur la lagune de Fresco. Aucune étude à ce jour traitant des métaux lourds n'a été menée sur la lagune Mondoukou. Pourtant cette lagune fait partie intégrante de l'embouchure du fleuve Comoé au même titre

que la lagune Ouladine. A l'instar des autres lagunes, la lagune Mondoukou mérite d'être scientifiquement connue afin d'évaluer le niveau de pollution due aux métaux lourds dans ses sédiments. L'objectif de cette étude est d'établir l'évolution saisonnière des teneurs en métaux lourds (Cu, Pb et Zn) dans les sédiments de la lagune Mondoukou afin de quantifier la pollution saisonnière.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

La lagune Mondoukou est située sur la rive est de l'embouchure du fleuve Comoé et s'étend sur une longueur d'environ 4 km. Elle se situe entre 5°12' et 5°14' de latitude Nord et entre 3°42' et 3°44' de longitude Ouest (Figure 1). Elle communique avec l'océan Atlantique par l'embouchure qui reste pratiquement fermée. La lagune Mondoukou est connue mais peu étudiée.

Echantillonnage et techniques d'analyse

Sept (7) stations (St) réparties sur le plan d'eau de la lagune Mondoukou (Tableau 1), ont été définies pour le prélèvement de dix-huit échantillons d'eau et de sédiments. Trois échantillons d'eau ont été prélevés sur chacune des stations à l'aide d'une bouteille de Niskin. L'étiquetage des bouteilles s'est faite de la façon suivante : (A) pour les échantillons pris en surface (le plan d'eau) ; (B) pour les échantillons pris au milieu de la colonne d'eau (2 m de profondeur) et (C) pour les échantillons pris en profondeur (4 m de profondeur) à l'interface eau-sédiment. Le pH, la température, et la turbidité ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre de type HACH HQ 40d. La conductivité électrique et l'oxygène dissous ont également été mesurés *in situ* respectivement à l'aide d'un conductimètre de type HANNA HI 99301 et d'un oxymètre de type HANNA HI 9146. Le prélèvement des échantillons de sédiments s'est fait à l'aide d'une benne Van Veen à l'interface eau-sédiment. Les sédiments ont été conservés dans des sacs en plastique, puis placés à l'obscurité dans une

glacière à 4 °C avant d'être transportés au laboratoire. Au laboratoire, les sédiments prélevés ont été placés dans un congélateur à 20 °C. Après séchage à l'étuve à 60 °C pendant 24 heures, les sédiments ont subi un pré-tamassage sur 2 mm afin d'éliminer les morceaux de coquilles, de branches et de feuilles avant d'être tamisés à 250 µm et à 63 µm. La fraction fine (< 63 µm) a été choisie et conservée dans des flacons en polyéthylène pour analyses.

Traitement des données

Pour la détermination du degré d'accumulation des métaux lourds dans les sédiments de la lagune Mondoukou, l'Indice de géo-accumulation (I_{géo}) (Muller, 1979) a été utilisé. Le degré de pollution des sédiments a été estimé par rapport à la teneur relative de la croûte continentale (UCC : Upper Continental Crust) (Wedepohl, 1995) (Tableau 2) selon la formule suivant :

$$I_{géo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1,5B_n} \right]$$

(éq.1)

Avec : **C_n** : concentration mesurée dans le sédiment pour l'élément **n** ; **B_n** : bruit de fond géochimique pour l'élément **n** ; **1,5** : constante prenant en compte les fluctuations naturelles de la teneur d'une substance donnée dans l'environnement ainsi que les influences anthropiques.

Pour déterminer l'origine anthropique ou naturelle des éléments métalliques, la solution est le calcul du facteur d'enrichissement (FE). Il permet d'identifier la pollution anthropique par rapport à la teneur naturelle présente dans les sédiments (Radakovitch et al., 2008). Le calcul du FE a été fait en rapportant la teneur d'un élément contaminant de l'échantillon à la concentration d'un élément réputé relativement immobile de cet échantillon, comparé avec le même rapport trouvé dans le matériau de référence (Oumar et al., 2014).

Le fer est l'élément de référence choisi, pour notre calcul du FE. Le fer est considéré comme un élément standard de normalisation des éléments mineurs puisqu'il est insensible aux variations granulométriques. Sa concentration naturelle dans les sédiments tend à être uniforme, et il s'associe aux fines particules. Aussi le fer a été choisi car il est naturellement présent dans les eaux et les sédiments de la zone d'étude (Traoré et al., 2014).

Ce facteur d'enrichissement est calculé de manière suivante :

$$FE = \frac{[M]_{\text{échant}} / [Fe]_{\text{échant}}}{[M]_{RM} / [Fe]_{RM}}$$

(éq.2)

où FE = facteur d'enrichissement;

$[M]_{\text{échant}}$ = concentration en métal M dans l'échantillon; $[Fe]_{\text{échant}}$ = concentration du fer dans l'échantillon; $[M]_{RM}$ = concentration du métal M dans le matériau de référence et $[Fe]_{RM}$ = concentration du fer dans le matériau de référence. Les facteurs d'enrichissement peuvent être regroupés en 7 classes (Tableau 3).

RESULTATS

Paramètres physico-chimiques des eaux

La température des eaux varie entre 27,3 °C et 33,5 °C avec une valeur moyenne de 30,4 °C (écart-type = 1,2) en saison de crue. En saison sèche, elle varie entre 32,5 °C et 34,8 °C avec une moyenne de 33,8 °C (écart-type = 0,6). La température maximale s'observe aux stations 5B et 5C en saison sèche et la température minimale à la station 2A en saison de crue. Du point de vue saisonnier, les températures sont plus élevées en saison sèche qu'en saison de crue. Les coefficients de variation sont généralement faibles (CV < 4%). Les valeurs du pH des eaux

varient entre 6,5 et 7,9 avec une moyenne de 7,2 (écart-type = 0,4) en saison de crue. En saison sèche, elles varient entre 7,6 et 9,1 avec une moyenne de 8 (écart-type = 0,3). La valeur maximale du pH s'observe à la station 7A en saison sèche et la valeur minimale à la station 2A en saison de crue. Du point de vue saisonnier, les valeurs du pH sont plus élevées en saison sèche qu'en saison de crue. Les coefficients de variation sont relativement faibles (CV < 7%). La conductivité électrique des eaux varie entre 14,6 mS.cm⁻¹ et 40,2 mS.cm⁻¹ avec une moyenne de 17,2 mS.cm⁻¹ (écart-type = 5,7) en saison de crue. En saison sèche, elle varie entre 27,4 mS.cm⁻¹ et 30 mS.cm⁻¹ avec une moyenne de 29 mS.cm⁻¹ (écart-type = 0,6). La valeur maximale de la conductivité électrique s'observe à la station 6C et la valeur minimale à la station 5A en saison de crue. Les valeurs les plus élevées s'observent en saison sèche et en saison de crue, elles sont relativement faibles dans toutes les stations en dehors de la station 6C. Le coefficient de variation est élevé en saison de crue (CV = 33%) et faible (CV = 4 %) en saison sèche. La teneur en oxygène dissous des eaux varie entre 3,5 mg.L⁻¹ et 7,8 mg.L⁻¹ avec une moyenne de 5,9 mg.L⁻¹ (écart-type = 1,2) en saison de crue. En saison sèche, elle varie entre 1,1 mg.L⁻¹ et 6,5 mg.L⁻¹ avec une moyenne de 5,2 mg.L⁻¹ (écart-type = 1,1). Les teneurs les plus élevées s'observent en saison de crue et en saison sèche, elles sont relativement faibles dans les stations sauf les stations 3A, 3C, 4A et 7A. Les coefficients de variation sont dans l'ensemble élevés, respectivement pendant les saisons de crue et sèche (CV = 21% et CV = 22%). Les valeurs de la turbidité des eaux varient entre 0,5 NTU et 6,2 NTU avec une moyenne de 1,6 NTU (écart-type = 1,6) en saison de crue. En saison sèche, elles varient entre 1,1 NTU et 4 NTU avec une moyenne de 1,9 NTU (écart-type = 0,8). Les valeurs de la turbidité sont élevées en saison sèche et relativement faibles en saison de crue dans les stations sauf aux stations 5A, 5B, 6B, 6C et 7A. Les coefficients de variation sont dans l'ensemble

élevés, respectivement pendant les saisons de crue et sèche (CV = 100% et CV = 41%).

Les teneurs en métaux lourds

Teneurs en Cuivre (Cu)

Les concentrations en cuivre des eaux de la lagune Mondoukou varient entre 37,3 mg.kg⁻¹ et 59,7 mg.kg⁻¹ avec une moyenne de 50,8 mg.kg⁻¹ (écart-type = 9,2) en saison de crue. En saison sèche, ces teneurs varient entre 1,3 mg.kg⁻¹ et 1,7 mg.kg⁻¹ avec une moyenne de 1,5 mg.kg⁻¹ (écart-type = 0,15). Les concentrations en cuivre sont élevées en saison de crue et relativement faibles en saison sèche. Les coefficients de variation sont de 18% et 10% respectivement en saison de crue et en saison sèche (Figure 2).

Teneurs en zinc (Zn)

Les concentrations en zinc des eaux de la lagune Mondoukou varient entre 10,2 mg.kg⁻¹ et 24,6 mg.kg⁻¹ avec une moyenne de 17,54 mg.kg⁻¹ (écart-type = 5,4) en saison de crue. En saison sèche, ces teneurs varient entre 2,2 mg.kg⁻¹ et 18,8 mg.kg⁻¹ avec une moyenne de 9 mg.kg⁻¹ (écart-type = 7,5). Les concentrations en zinc sont élevées en saison de crue et relativement faibles en saison sèche. Les coefficients de variation sont de 31% et 83% respectivement en saison de crue et en saison sèche (Figure 3).

Teneurs en Plomb (Pb)

Les concentrations en plomb des eaux de la lagune Mondoukou varient entre 3,8 mg.kg⁻¹ et 7,2 mg.kg⁻¹ avec une moyenne de 5,9 mg.kg⁻¹ (écart-type = 1,1) en saison de crue. En saison sèche, ces teneurs varient entre 62 mg.kg⁻¹ et 83,4 mg.kg⁻¹ avec une moyenne de 76 mg.kg⁻¹ (écart-type = 8,2). Les concentrations en plomb sont élevées en saison sèche et relativement faibles en saison de crue. Les coefficients de variation sont 19% et 10% respectivement en saison de crue et en saison sèche (Figure 4).

Le Tableau 4 donne les résultats de l'indice de géo-accumulation (Igeo) du Cu, Zn et Pb pour six stations et sur les deux saisons retenues pour notre étude :

- les valeurs de l'Igeo du cuivre varient entre 8,4 et 9,1 avec une moyenne de 8,8 et un écart-type de 0,28 en saison de crue. En saison sèche les valeurs de l'Igeo varient entre 3,6 et 3,9 avec une moyenne de 3,8 et un écart-type de 0,15 ;

- les valeurs de l'Igeo du zinc varient entre 6,5 et 7,8 avec une moyenne de 7,3 en saison de crue et un écart-type de 0,45. En saison sèche les valeurs de l'Igeo varient entre 4,3 et 7,4 avec une moyenne de 5,8 et un écart-type de 1,49;

- les valeurs de l'Igeo du plomb varient entre 5,4 et 6 avec une moyenne de 5,8 en saison de crue et un écart-type de 0,22. En saison sèche les valeurs de l'Igeo varient entre 9,1 et 9,6 avec une moyenne de 9,4 et un écart-type de 0,16.

L'analyse des Igeo moyennes pour l'ensemble des stations permet d'établir la classification suivante :

- saison de crue : Igeo Cu > Igeo Zn > Igeo Pb ;

- saison sèche : Igeo Pb > Igeo Zn > Igeo Cu.

Le Tableau 5 donne les résultats du facteur d'enrichissement (FE) du Cu, Zn et Pb pour six stations en saison sèche:

- les valeurs du FE du cuivre varient entre 75 et 175,8 avec une moyenne de 120,1 et un écart-type de 37,4 ;

- les valeurs du FE du zinc varient entre 30,8 et 1956,6 avec une moyenne de 866,8 et un écart-type de 864 ;

- les valeurs du FE du plomb varient entre 3215,1 et 8164,8 avec une moyenne de 5828,4 et un écart-type de 1815,1.

L'analyse du FE pour l'ensemble des éléments permet d'établir la classification suivante: FE Pb > FE Zn > FE Cu.

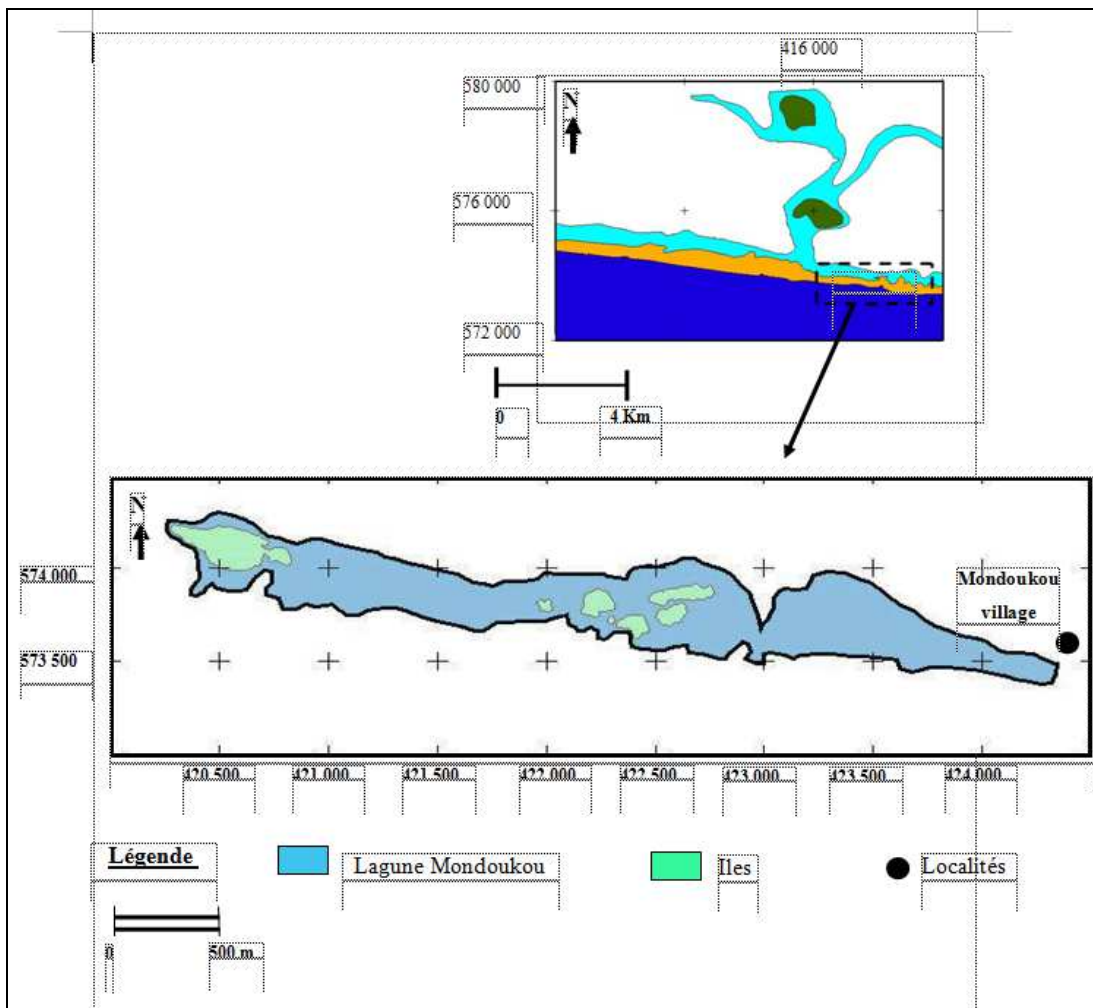


Figure 1: Localisation géographique de la lagune Mondoukou.

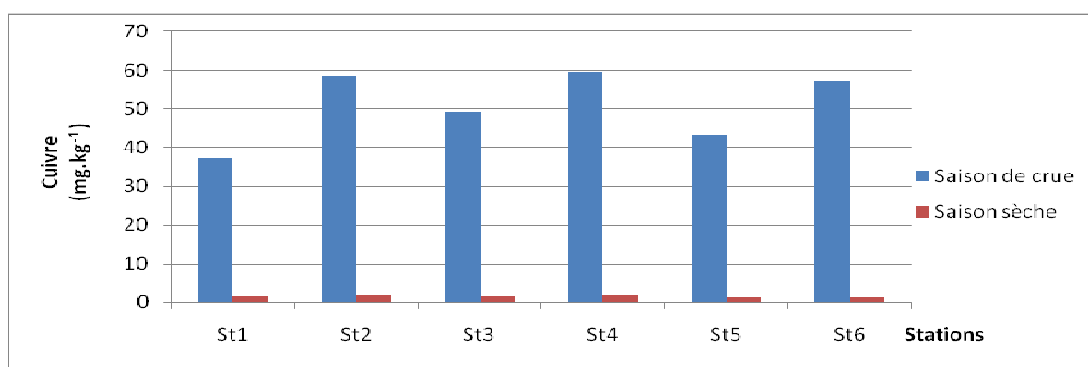


Figure 2: Evolution saisonnière de la concentration en Cu aux différentes stations.

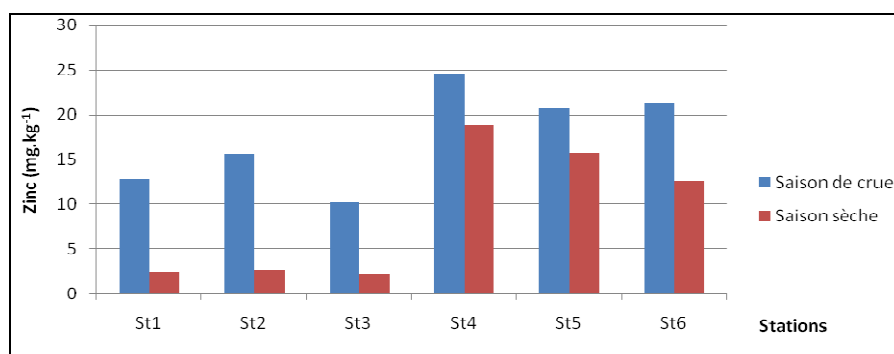


Figure 3: Evolution saisonnière de la concentration en Zn aux différentes stations.

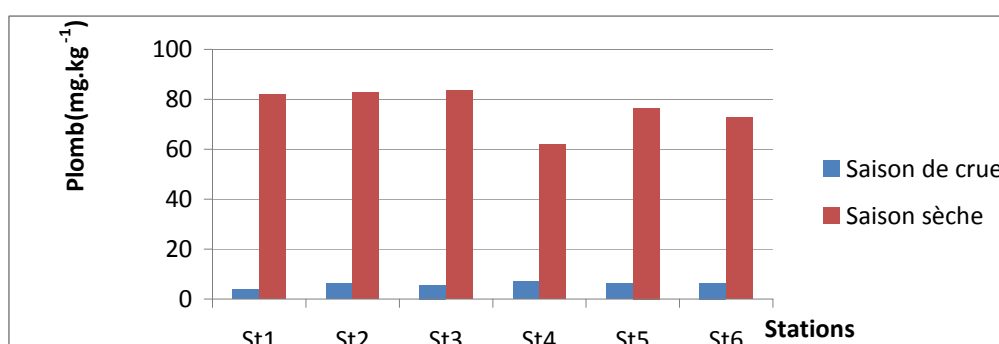


Figure 4: Evolution saisonnière de la concentration en Pb aux différentes stations.

Tableau 1 : Localisation géographique des stations échantillonnées sur la lagune Mondoukou.

Stations	Longitude	Latitude
Station 1	3°41'17"W	5°11'22"N
Station 2	3°41'61"W	5°11'35"N
Station 3	3°41'78"W	5°11'46"N
Station 4	3°42'00"W	5°11'35"N
Station 5	3°42'41"W	5°11'47"N
Station 6	3°41'75"W	5°11'52"N
Station 7	3°41'00"W	5°11'29"N

Tableau 2 : Teneurs relatives la croûte continentale selon Wedepohl (1995).

Métaux lourds	Cuivre	Zinc	Plomb	Fer
UCC (mg.kg ⁻¹)	14	52	17	30890

UCC : Upper Continental Crust

Tableau 3 : Classes des facteurs d'enrichissement (Oumar et al., 2014).

Classes	Valeurs	Degrés d'enrichissement
1	FE<1	pas d'enrichissement
2	1<FE<3	enrichissement faible
3	3<FE<5	enrichissement modéré
4	5<FE<10	enrichissement modéré à fort
5	10<FE<25	fort enrichissement
6	25<FE<50	très fort enrichissement
7	FE>50	enrichissement extrême

Tableau 4: Résultats de l'indice de géo-accumulation des métaux étudiés.

Stations	Igeo(Cu)		Igeo(Zn)		Igeo(Pb)	
	saison de crue	saison sèche	saison de crue	saison sèche	saison de crue	saison sèche
St1	8,44	3,90	7,18	4,49	5,43	9,58
St2	9,10	3,94	7,19	4,58	5,86	9,59
St3	8,84	3,88	6,58	4,37	5,71	9,60
St4	9,12	3,98	7,84	7,46	6,07	9,18
St5	8,65	3,61	7,59	7,20	5,88	9,48
St6	9,06	3,68	7,64	6,88	5,91	9,41
Min	8,44	3,61	6,58	4,37	5,43	9,18
Max	9,12	3,98	7,84	7,46	6,07	9,60
Moyenne	8,87	3,83	7,34	5,83	5,81	9,47
Ecart-type	0,28	0,15	0,45	1,49	0,22	0,16

Tableau 5: Résultats du facteur d'enrichissement des métaux étudiés.

Stations	FE(Cu)	FE(Zn)	FE(Pb)
	Saison sèche	Saison sèche	Saison sèche
St1	76,08	30,85	3215,10
St2	106,76	166,29	5357,55
St3	86,29	121,24	4554,86
St4	175,89	1956,64	6452,76
St5	139,63	1673,47	8164,85
St6	136,16	1252,30	7225,56
Minimum	76,08	30,85	3215,10
Maximum	175,89	1956,64	8164,85
Moyenne	120,14	866,80	5828,44
Ecart-type	37,44	864,00	1815,15

DISCUSSION

Les concentrations moyennes observées en Pb et Zn dans les sédiments de la lagune Mondoukou sont inférieures à celles déterminées dans les sédiments de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire par Coulibaly et al., (2009), ($64,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour Pb, 244 mg.kg^{-1} pour Zn). Elles sont en outre supérieures à celles de la lagune Fresco (3 ppm pour Cu ; 7,2 ppm pour Zn et 4,2 ppm pour Pb) en Côte d'Ivoire (Issola et al., 2009). De manière générale, les teneurs en Cu et en Zn sont élevées en saison de crue (respectivement $50,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ et $17,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) et relativement faibles en saison sèche (respectivement $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ et 9 mg.kg^{-1}); ce qui permet de dégager une tendance saisonnière dans l'évolution de la teneur en Cu et en Zn. Cette même tendance s'observe dans les travaux de Keumean et al. (2010), sur l'estuaire de l'embouchure du fleuve Comoé de Grand-Bassam (Concentrations élevées en Cu et Zn pendant la saison de crue et faibles en saison sèche). Les faibles teneurs en Cu et Zn observées en saison sèche pourraient s'expliquer par la diffusion de chaque élément dans la phase dissoute, en raison des conditions physico-chimiques (températures élevées) et au relargage du matériel particulaire sous l'action des courants (Keumean et al., 2010). Le Cu et le Zn font partie des oligo-éléments indispensables pour les organismes vivants et de ce fait leurs teneurs varieraient en fonction de certaines activités biologiques, telles que la maturation sexuelle chez certaines espèces de poissons et la respiration chez la moule (Lafaurie et al., 1980). Les concentrations des métaux lourds étudiés dans les sédiments non pollués sont pour : le Cu de 33 mg.kg^{-1} , le Zn de 95 mg.kg^{-1} et le Pb de 19 mg.kg^{-1} (Calamari et Naeve, 1994). La comparaison des concentrations en Cu, Zn et Pb des sédiments de la lagune Mondoukou aux concentrations moyennes de référence dans les sédiments non pollués montre que les eaux de la lagune Mondoukou sont relativement polluées en Pb et en Cu en saison de crue. Par contre, en saison sèche, la

comparaison montre que les sédiments ne sont pas relativement pollués en Cu, Zn et Pb. Ce constat traduit une pollution saisonnière des sédiments de la lagune Mondoukou en Pb et Cu. L'indice de géo-accumulation (respectivement 8,8 et 3,8 saison de crue et saison sèche) pour le Cu, traduit un milieu sévèrement pollué sur l'ensemble des deux saisons. Il en est de même pour le Zn, avec l'indice de géo-accumulation (respectivement 7,3 et 5,8 saison de crue et saison sèche) qui traduit un milieu sévèrement pollué sur l'ensemble des deux saisons. De manière générale, les teneurs en Pb sont élevées en saison sèche ($76,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) et relativement faibles ($5,93 \text{ mg.kg}^{-1}$) en saison de crue. Cette même tendance sur l'évolution de la teneur en Pb est observée par Chouti et al. (2010), sur les eaux de la lagune Porto-Novo au Bénin.

L'augmentation de la teneur en plomb en saison sèche pourrait s'expliquer par une forte activité microbiologique dans les eaux lors de la dite saison. En effet, le plomb peut être remis en solution par dégradation aérobie de la matière organique particulaire à laquelle il est associé. Cette solubilisation s'observe également en sub-surface par dissolution des oxydes de fer et de manganèse (Marchand et Kantin, 1997). L'indice de géo-accumulation (5,8 en saison de crue et 9,4 en saison sèche) traduit un milieu sévèrement pollué sur l'ensemble des deux saisons pour le Pb. Les sédiments se seraient contaminés directement par les retombées atmosphériques ou de manière indirecte après le lessivage des dépôts d'ordures aux alentours de la lagune Mondoukou, des routes, par les eaux de pluies. Les faibles concentrations pendant la saison de crue pourraient s'expliquer certainement par les phénomènes de dilution qui s'opèrent par des apports de sédiments moins ou non contaminés (Yao et al., 2009). Le calcul des facteurs d'enrichissement ($FE \text{ Pb} > FE \text{ Zn} > FE \text{ Cu} > 50$) montrent que la source principale de contamination en métaux lourds des sédiments de la lagune Mondoukou est d'origine anthropique. La lagune Mondoukou est une lagune rurale, non

influencée par les activités industrielles. Ainsi, la présence des métaux lourds dans les sédiments pourrait s'expliquer par le lessivage des produits phytosanitaires et fertilisants utilisés dans les plantations. En plus, les populations traversent la lagune à l'aide d'embarcations motorisées. Ces embarcations utilisent du carburant dont les résidus sont déversés dans les eaux. La lagune est un lieu d'aisance pour les populations riveraines. Concentrés dans les excréments, les métaux lourds finissent leur parcours dans l'environnement aquatique. Cette forte présence de métaux lourds à des teneurs aussi élevées, serait favorisée par les conditions hydrodynamiques particulières propres à la lagune Mondoukou. La faible circulation de courants d'eau favoriserait ainsi une sédimentation importante de matières organiques et de métaux lourds qui dans certaines conditions environnementales entretiendraient des liens étroits.

Conclusion

Les concentrations moyennes en métaux lourds les plus élevées sont celles du plomb ($76,6 \text{ mg.kg}^{-1}$), suivies du cuivre ($50,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) et du zinc ($17,5 \text{ mg.kg}^{-1}$). Les concentrations moyennes en cuivre et en plomb sont supérieures à celles des sédiments non pollués. Par contre, les teneurs moyennes en zinc sont inférieures à celles des sédiments non pollués. L'évaluation du degré de contamination à partir de l'indice de géo-accumulation révèle que le plomb, le cuivre et le zinc présentent une pollution sur les deux saisons, et leurs Igéo se trouvent dans la classe 6 de l'indice de Müller. L'évaluation du facteur d'enrichissement révèle que la source principale de contamination en métaux lourds des sédiments de la lagune Mondoukou est d'origine anthropique. La pollution serait probablement due au lessivage des sols cultivés sur le bassin versant du fleuve Comoé. L'enrichissement des métaux lourds étudiés dans les sédiments de la lagune Mondoukou souligne la nécessité de la

protection de ce milieu afin de préserver la ressource en eau, et les espèces vivantes.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

LES CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

CAG a analysé et interprété les données, a réalisé des missions de collectes des données, a conçu et rédigé le manuscrit ; NA a contribué à la réalisation des missions de collectes des données et à la relecture du manuscrit ; BA a contribué à la rédaction et à la relecture du manuscrit ; BSB a contribué à la réalisation des missions de collecte de donnée et à l'approbation de la version finale du manuscrit. NS a contribué à l'approbation du protocole de recherche et de la version final du manuscrit.

REFERECENCES

- BenBouih H, Nassali H, Leblans M, Srhiri A. 2005. Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). *Afrique Science*, **01**: 109-125. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/afsci.v1i1.35403>
- Calamari D, Naeve H. 1994. Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain. Document technique du CPCA, N°25, Rome, FAO, 31-69.
- Chouti W, Mama D, Alapini F. 2010. Etude des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(4): 1017-1029. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.63040>
- Coulibaly AS, Monde S, Wognin VA, Aka K. 2009. Analyse des éléments traces métalliques (ETM) dans les baies estuariennes d'Abidjan en Côte d'Ivoire. *Afrique Sciences*, **05**(3): 77-79.
- Hammi H. 2010. La pollution des eaux par les métaux lourds. Les IIIème Olympiades Tunisiennes de Chimie, PowerPoint.

- Issola Y, Kouassi AM, Dongui BK, Adingra AA, Biemi J. 2009. Concentration en métaux lourds des sédiments d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, **18**: 1009 – 1018.
- Keumean KN, Bamba BS, Soro N, Soro M. 2010. Distribution des composés azotes et phosphores dans la lagune Ouladine (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science*, **06**(2) : 84 – 92.
- Keumean KN. 2013. Hydrogéochimie des métaux lourds et fonctionnement d'un grau dans le golfe de Guinée : cas de l'embouchure du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doc. 3ème cycle, Univ. Cocody, p.162.
- Kouassi AM. 2005. Hydrochimie et qualité des eaux de deux lagunes tropicales de côte d'ivoire (Ebrié, Grand-Lahou). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, p. 242.
- Lafaurie M, Miamamand P, Guary JC, Fowler SW. 1980. Variations des concentrations de Cu, Fe, Zn, Mn, Cd et V dans les principaux organes de *Mullus barbatus* » Linné au cours du cycle sexuel : Résultats préliminaires. 5ème journées Etud. Pollutions, Cagliari, CIESM, 373-376.
- Marchand M, Kantin R. 1997. Les métaux traces en milieu aquatique. *Océanis*, **23**(4): 595-629.
- Muller G. 1979. Schwermetalle in den sedimen der Rheins-veränderungenseit 1971. Environmental. Conférence, p. 17.
- Oumar B, Ekengle L, Balla D. 2014. Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun. *Journal Afrique Science*, **10**(2) : 184–198.
- Radakovitch O, Roussiez V, Ollivier P, Ludwig W, Grenz C, Probst J-L. 2008. Input of particulate heavy metals from rivers and associated sedimentary deposits on the Gulf of Lion continental shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **77**: 285-295. DOI: 10.1016/j.ecss.2007.09.028
- Ruiz F, Abad M, Galan E, Gonzalez I, Aguila I, Olias M, Gomez Ariza J, Cantano M. 2006. The present environmental scenario of El Melah Lagoon (NE Tunisia) and its evolution to a future sabkha. *Journal of African Earth Sciences*, **44**: 289-302. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2005.11.023
- Tastet JP, Guiral D. 1994. Environnement et ressources aquatiques de la Côte d'Ivoire. Les milieux lagunaires, Edition de l'ORSTOM, Paris, **2**: 35-58.
- Traore A, Soro G, Ahoussi K, Bamba B, Soro N, Biemi J. 2014. Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Journal Afrique Science*, **10**(3): 73 – 88.
- Wedepohl KH. 1995. The composition of continental crust. *Goechimica and Cosmochimica Acta.*, **59**(7): 1217-1232.
- Yao KM, Metongo BS, Trokourey A, Boka Y. 2009. Assessment of sediments contamination by heavy metals in a tropical lagoon Urban Area (Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire). *Eur. J. Of Sci. Res.*, **34**(2): 280-289.