

Contamination Des Sediments D'une Lagune Tropicale Urbaine Par Les Elements Traces Métalliques (As, Cd, Cr, Pb, Zn) : Cas Des Baies Lagunaires De La Ville D'abidjan (Cote D'ivoire)

Kouamé Kouamé Daniel^{1*}, Yapo Ossey Bernard^{1,2}, Méité Ladji¹

¹Laboratoire des Sciences de l'Environnement, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua – 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Laboratoire Central de l'Environnement du Centre Ivoirien Anti-pollution (CIAPOL)

*Corresponding Author E-mail: dkouame2016@yahoo.com

Received: 18.12.2016 | Revised: 28.12.2016 | Accepted: 30.12.2016

ABSTRACT

Cr, As, Zn, Cd and Pb in the bottom sediments from 11 sites of six bays at Ebrié lagoon in Abidjan area were analyzed. The ranges of the concentration in the sediments are as follows: (mg/kg) : Zn (245.73) > Cr (138.34) > Pb (59.33) > As (19.25) > Cd (7.85). Potential contamination of the bays was assessed by Igeo and pollution load index (PLI) whether the concentration observed represent background or contaminated levels. Based on the results, it can be concluded that the bays are highly polluted for the studied metals. To evaluate the sediment quality, the index like a threshold effect concentration (TEC) and a probable effect concentration (PEC) were used. Results show that sediments have toxic effects on organisms, relatively to Cr, Zn, Cd and Pb concentrations, without the concentration of As which seems to have no toxic effect.

Key words: Pollution, Ebrié lagoon, city area, trace metals, sediment, environmental quality

RÉSUMÉ

L'étude concerne l'analyse des sédiments des baies lagunaires de la ville d'Abidjan pour déterminer les teneurs en cinq éléments traces métalliques (Cd, Cr, As, Pb, Zn), et évaluer la qualité environnementale de ces sédiments vis-à-vis des organismes vivant dans ce milieu. Des prélèvements de sédiments superficiels effectués sur six baies de la lagune Ebrié dans la zone d'Abidjan (Koumassi, Marcory, Bietry, Banco, Azito, Yopougon) réparties en onze sites d'études ont été analysés pour deux campagnes.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence la forte contamination des sédiments par les ETM selon l'ordre suivant des teneurs (en mg/kg) : Zn (245,73) > Cr (138,34) > Pb (59,33) > As (19,25) > Cd (7,85). Ces résultats sont confirmés par les indices de géoaccumulation (Igéo), de pollution PLI qui montrent que ces sédiments présentent une contamination métallique. Les indices PEC et TEC utilisés révèlent que ces sédiments ont des effets toxiques potentiels sur les organismes vivant dans ce milieu, relativement aux ETM Cr, Zn, Pb et Cd, à l'exclusion de As dont la teneur semble ne pas entraîner d'effet toxique sur ces organismes.

Mots clés: Pollution, Lagune Ebrié, zone urbaine, éléments traces métalliques, Sédiments

Cite this article: Daniel, K.K., Bernard, Y.O., Ladji, M., Contamination Des Sediments D'une Lagune Tropicale Urbaine Par Les Elements Traces Métalliques (As, Cd, Cr, Pb, Zn) : Cas Des Baies Lagunaires De La Ville D'abidjan (Cote D'ivoire), Int. J. Pure App. Biosci. 4(6): 204-217 (2016). doi: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.2428>

INTRODUCTION

La présence d'éléments traces métalliques (ETM) dans les milieux aquatiques constitue depuis longtemps une problématique majeur environnementale et sanitaire. Ce phénomène est d'autant plus préoccupant que ces substances sont continuellement introduites dans l'environnement en raison de la croissance des activités humaines, notamment celles liées au développement industriel. En effet, souvent détectés à des concentrations élevées¹⁰, ces composés peuvent être très dangereux pour la santé de l'Homme et induire des effets dévastateurs sur la balance écologique de l'environnement aquatique¹⁴.

Les ETM sont persistants car ne sont pas facilement éliminés de l'environnement, ni detoxifiés ou dégradés à travers les activités métaboliques des organismes vivants. Ils sont donc sujet à des mécanismes de bioaccumulation et de bioamplification⁵ et souvent déterminés à des concentrations supérieures à celles de leur biotope^{22,28}.

Dans les environnements aquatiques, les sédiments sont considérés comme de bons indicateurs de la qualité des eaux car agissant comme des puits ou des sources d'ETM pour la colonne d'eau^{8,16,20,33}. Ils sont le lieu privilégié où se transforme la matière organique et où s'accumulent les éléments traces. Une fraction importante des métaux lourds présents dans les environnements aquatiques est associée d'une manière réversible aux sédiments superficiels¹¹. Selon Amiard-Triquet⁴, les modifications des conditions physico-chimiques du milieu peuvent conduire à des remobilisations des métaux associés aux sédiments et présenter par conséquent des risques très élevés pour les organismes vivant dans les écosystèmes lagunaires et pour le prédateur final qu'est l'Homme.

Le système lagunaire Ebrié (Sud d'Abidjan) répond à plusieurs besoins socio-économiques (aquaculture, pêche, dragage, agriculture maraîchère, transport et tourisme) dans le développement de la ville d'Abidjan et même de toute la Côte d'Ivoire. Malheureusement, l'on constate qu'elle est l'objet de plusieurs

agressions dues à la forte concentration d'activités industrielles ainsi qu'aux activités agricoles et domestiques. Il se présente ainsi comme le receptacles de quantités importantes de rejets liquides très souvent sans aucun traitement primaire et de déchets solides^{1,15,26}. Plusieurs études ont mis en évidence la contamination des sédiments de la lagune Ebrié par les ETM^{6,19,27,30}. Celle-ci vise à évaluer l'état de contamination des sédiments des baies lagunaires de la ville d'Abidjan par le cadmium (Cd), le chrome (Cr), l'arsenic (As), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). Elle s'inscrit dans le renforcement du contrôle de la qualité du milieu lagunaire. Cette étude s'effectuera à travers un maillage plus dense de la zone d'étude afin de mettre en lumière le plus de précision possible sur la qualité des sédiments. En effet, les travaux antérieurs ont été réalisés sur des sites plus vastes avec par conséquent des résultats globaux qui pourraient taire certains détails.

MATERIELS ET METHODES

Présentation de la zone d'étude

Système lagunaire Ebrié

Le système lagunaire Ebrié est situé sur le littoral sud de la Côte d'Ivoire où il s'allonge sur 125 km entre 3°40' et 4°50' de longitude Ouest et 5°20' de latitude Nord²⁵. Large de 4 à 7 km, il occupe une surface de 566 km². Il est constitué de la lagune Ebrié proprement dite et des lagunes Aghien et Potou de superficies respectives 523 km² et 43 km². Il est séparé de l'océan atlantique par un cordon littoral sableux de 8 km d'épaisseur. Il communique avec la mer, depuis 1950, par le canal de Vridi, large de 370 m (Figure 1).

Le système lagunaire Ebrié est influencé à l'Ouest par l'Agnéby et à l'Est par le fleuve Comoé et la Mé. Il renferme de nombreuses baies qui occupent près du cinquième de la surface totale²⁵. La profondeur moyenne est de 4,8 m. Les profondeurs les plus importantes sont situées dans la région d'Abidjan au Sud de l'île boulay (27,5 m) et (26 m) en lagune Abou-Abou⁹.

Ce système lagunaire est alimenté en sédiments par les fleuves et rivières qui s'y

jettent et par les eaux de ruissellement sur les rives. C'est environ $0,40 \cdot 10^6$ tonnes de sédiments qui s'accumulent chaque année dans la lagune, soit une sédimentation moyenne de 0,5 m/an. Ces sédiments sont constitués d'une fraction organique et d'une fraction minérale à granulométrie variable²⁹.

Le climat est caractérisé par une saison sèche qui va de janvier à avril et une saison des pluies de mai à août. Selon Durand et Guiral⁹, ce cycle climatique a une incidence directe ou indirecte sur l'écosystème lagunaire. Il influence considérablement la composition chimique de la lagune.

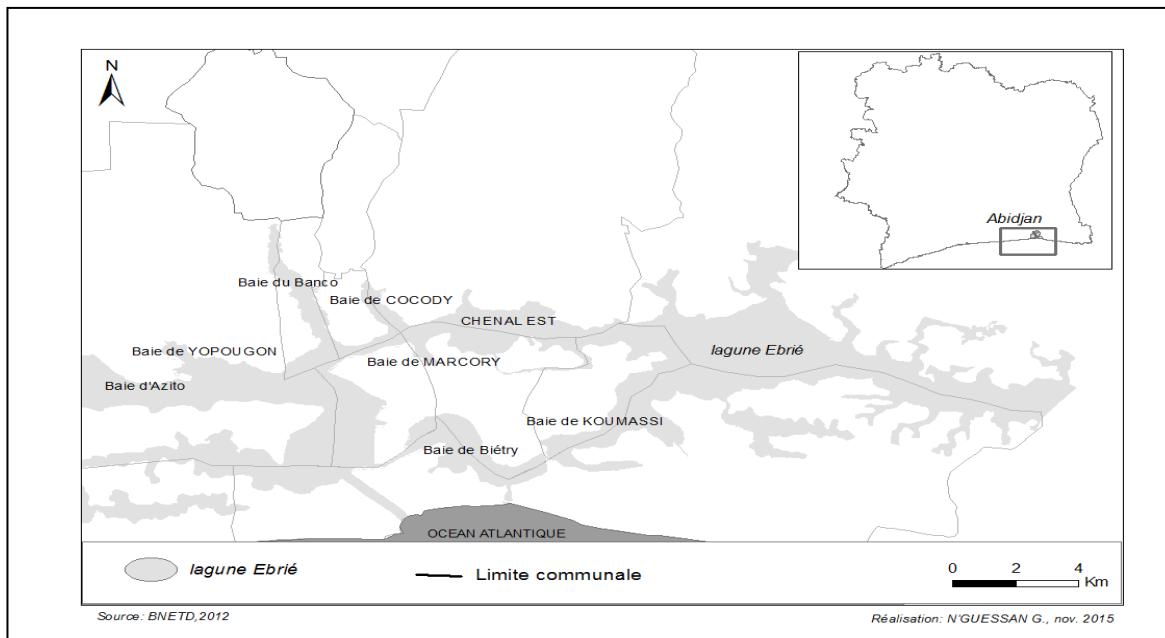


Figure 1: Carte de la lagune Ebrié, montrant les différentes baies étudiées

Localisation des sites d'échantillonnage

Les baies sélectionnées pour être les sites d'étude dans le cadre de ce travail sont au nombre de six, toutes intégrées à la lagune Ebrié dans la zone d'Abidjan, fortement urbanisée. Ce sont la baie de Yopougon Azito, la baie du Banco, la baie de Cocody, la baie de Marcory, la baie de Koumassi et la baie de Biétry. Les coordonnées GPS (Global

Positioning System) sont indiquées dans le tableau 1.

Selon leur localisation (à proximité de centres polluants, par exemple) et leur profondeur, ces baies peuvent présenter un intérêt scientifique (pollution par les métaux lourds, oxydation des métaux, qui les rend biodisponibles donc assimilables par les organismes vivants).

Tableau 1: Sites de prélèvements des échantillons et leurs localisations par GPS

Baie	Sites d'échantillonnage	Coordonnées GPS
Baie de Biétry	B1 (baie de Biétry 1)	05°16,752N ; 04°00,098W
	B2 (baie de Biétry 2)	05°16,081N ; 03°58,539W
Baie de Koumassi	K1 (baie de Koumassi 1)	05°17,882N ; 03°56,090W
	K2 (baie de Koumassi 2)	05°16,863N ; 03°55,719W
	K3 (baie de Koumassi 3)	05°16,457N ; 03°55,801W
Baie de Yopougon	AZ (baie d'Azito)	05°17,821N ; 04°04,740W
	BY (baie de Yopougon)	05°18,316N ; 04°03,917W
Baie du Banco	Ba (baie du Banco)	05°19,691N ; 04°01,969W
Baie de Marcory	M1 (baie de Marcory)	05°18,837N ; 04°00,003W
Baie de Cocody	BC (baie de Cocody)	05°19,677N ; 04°00,833W
	CE (Chenal Est)	05°19,298N ; 03°59,483W

La figure 2 présente la localisation des sites de prélèvement des échantillons de sédiments superficiels.

Les baies ont des caractéristiques communes, comme les effluents domestiques et les rejets d'activités artisanales que chaque baie étudiée reçoit en grande quantité et régulièrement ainsi que les déchets solides charriés par les eaux pluviales. Mais elles présentent des

caractéristiques distinctives. En effet, les baies de cocody, Marcory, Azito de même que le chenal Est ne sont pas trop influencés par les effluents industriels, alors que les baies de Biétri, Koumassi, Banco, Yopougon reçoivent toutes sortes de déchets issus des activités des industries fortement concentrées dans les zones dites industrielles de Yopougon, Vridi et Koumassi.

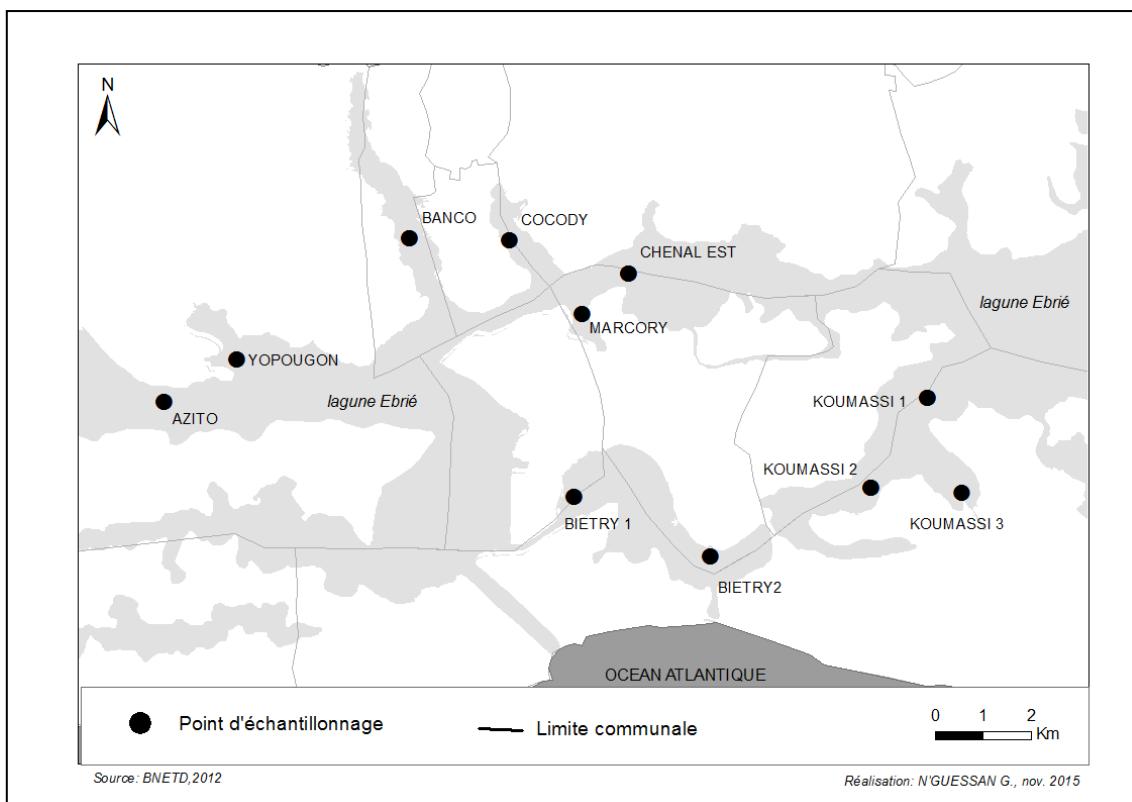


Figure 2: Localisation des points d'échantillonnage

Prélèvement des échantillons de sédiments et mesure de paramètres physico-chimiques

Les prélèvements ont été réalisés durant deux (02) campagnes de mesures sur chaque site, en février 2015 et en juillet 2015.

Les échantillons de sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne Shipeck. Seules les parties de sédiments qui ne sont pas en contact avec la benne sont sélectionnées. Les sédiments collectés sont conditionnés dans des sachets en plastique numérotés identifiant le site de prélèvement. Les échantillons sont conservés dans une glaciaire pour le transport au laboratoire où ils sont placés à 4 °C au congélateur. Compte tenu du développement relativement récent des sources majeures de

rejet des polluants (industries et démographie), les sédiments superficiels ont été pris en compte dans cette étude pour évaluer les teneurs en ETM qui traduisent une pollution récente ou actuelle.

Pendant que l'on prélevait des échantillons de sédiments, des mesures *in situ* ont été effectuées pour déterminer le pH, la température, la salinité, la conductivité électrique, la transparence et l'oxygène dissous de la colonne d'eau.

La salinité et la température ont été mesurées avec un Salinomètre de type YSI 33. L'oxygène dissous a été mesuré avec un Oxymètre YSI 58. La mesure du pH est faite avec un pH-mètre de type WTW pH192. La

transparence a été obtenue à l'aide d'un disque de Secchi. La conductivité a été mesurée avec un conductimètre de terrain (modèle WTW LF90).

Méthodes de traitement et d'analyse des sédiments

Au laboratoire, après avoir extrait les matériaux grossiers de diamètre supérieur à 2 mm, les échantillons ont été séchés à l'étuve à 90 °C ou au lyophilisateur jusqu'à poids constant. Ils ont été ensuite broyés à l'aide d'un mortier en agate et tamisés au moyen d'un tamis de maille inférieure à 63 µm.

Les sédiments ont été digérés par décomposition totale selon les méthodes de références pour les études de la pollution marine³¹. Le principe de la méthode de digestion est basé sur la décomposition des sédiments par l'acide hydrofluorique (HF) en combinaison avec de l'eau régale (HNO₃: HCl ; 1:3, v/v) à chaud. L'utilisation de HF est essentiel parce qu'il est le seul acide qui dissout complètement les treillis silicatés et dissous tous les métaux¹⁷.

Des échantillons de sédiments secs homogénéisés de 0,5g sont placés dans des tubes en téflon préalablement lavés à l'acide nitrique dilué et subissent une minéralisation à chaud, à l'aide de 10 mL d'eau régale (HNO₃ : HCl ; 1:3, v/v) et 3 mL de HF concentré 48%, pur. Le chauffage s'est fait à 120°C sur

réchaud pendant au moins 1 heure. Après refroidissement à l'air ambiant, les résidus sont repris dans une solution d'acide borique (2,8 g dans 20 mL d'eau distillée). Le volume final a été ramené à 50 mL et laissé au repos pendant toute une nuit. Les métaux ont été dosés par Spectrométrie d'Absorption Atomique de type Varian AA20 à flamme équipée d'un four graphite.

Evaluation de la contamination des sédiments

Dans notre étude ; différents indices ont été utilisés pour évaluer le degré de contamination des sédiments des baies du système lagunaire Ebrié.

Index de géoaccumulation Igeo de Müller

L'indice Igeo, de caractère empirique compare une concentration donnée versus une valeur considérée comme fond géochimique. En effet, le coefficient 1,5 rend compte des variations dans les niveaux de background pouvant être causées par des effets de lithologie.

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$$

Avec C_n : concentration dans le sédiment pour l'élément n ; B_n : background (ou bruit de fond) pour l'élément n ; log₂ : logarithme à base 2.

L'indice de géoaccumulation est défini par sept (7) classes selon Müller²¹ (Tableau 2).

Tableau 2: Classification de Müller²¹ (1981)

Valeur Igeo	Classes	Intensité de pollution
Igeo ≤ 0	0	Non pollué
0 < Igeo < 1	1	De pollué à modérément pollué
1 < Igeo < 2	2	Modérément pollué
2 < Igeo < 3	3	De modérément à sévèrement pollué
3 < Igeo < 4	4	Sévèrement pollué
4 < Igeo < 5	5	De sévèrement pollué à très sévèrement pollué
Igeo > 5	6	Très sévèrement pollué

Indice de pollution (PLI)

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$$

Avec n le nombre de métaux

1.4.3. Facteur de contamination

$$CF = C_{\text{métal}} / C_{\text{référence}}$$

Avec C_{métal} : concentration des métaux ;

C_{référence} : concentration du métal de référence

- Si PLI ≤ 1 : pas de pollution

- Si PLI > 1 : présence de pollution

Evaluation de l'état toxicologique

Pour évaluer l'état toxicologique des sédiments vis-à-vis des organismes vivant dans ces milieux, on utilise les valeurs de TEC (Threshold Effect Concentration ou

concentration des contaminants au-dessous de laquelle les organismes vivant dans le sédiment ne sont pas affectés) et de PEC (Probable Effect Concentration ou concentration des contaminants au-dessus de laquelle on observe des effets néfastes sur les organismes vivant dans le sédiment) selon¹⁸.

Analyses statistiques

L'analyse des relations entre les différents paramètres à partir d'une matrice de corrélation a été réalisée à l'aide du logiciel Statistica 7.1. Cet outil a également servi pour l'analyse en composante principale (ACP). Il s'agit d'une technique d'analyse qui permet de synthétiser et de classer les données. Elle

révèle en outre les facteurs qui sont à l'origine de l'évolution des variables et de leurs relations, à partir de la matrice de corrélation.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats

Paramètres physico-chimiques

Les valeurs des paramètres mesurés in situ sont indiquées dans le tableau 3. On note un ensemble de valeurs de température de l'eau de la lagune confiné dans un intervalle très restreint de 26,80°C à 29,77 °C, indiquant une variation très légère de ce paramètre au niveau des sites étudiés.

Tableau 3: Valeurs des paramètres physico-chimiques dans les baies du système lagunaire Ebrié

Baies	Sites	T (°C)	pH	Salinité (%)	Cond. (µS/cm)	OD (mg/L)	Transp. (m)
Biétri	B1	29,02	7	12,01	21834	0,4	1,1
	B2	28,8	7,08	10,11	18525	2,17	1,1
Koumassi	K1	27,98	6,49	0,8	1800	4,44	0,7
	K2	28,73	6,56	4,74	9118	1,73	0,9
	K3	28,64	6,68	22,9	40179	0,63	0,7
Yopougon	AZ	28,4	6,77	2,9	5775	4,8	0,8
	BY	28,48	6,66	5,14	9796	3,14	0,8
Banco	Ba	26,8	6,42	5,38	10665	2,28	0,6
Marcory	M1	29,77	6,49	6,01	11730	3,98	0,9
Cocody	BC	29,37	6,07	7,49	14165	1,97	0,5
	CE	29,14	6,54	7,62	14317	4,42	0,75

OD: Oxygène dissous ; T : Température ; Cond. : Conductivité électrique ; Transp. : Transparence.

Quant au pH, il varie aussi légèrement de 6,04 (baie de Cocody) à un maximum de 7,08 (baie de Biétry). Ces valeurs prouvent que ces eaux sont légèrement acides et tendent vers la neutralité. La salinité et la conductivité montrent une bonne corrélation entre elles et indiquent une variation non uniforme d'une baie à l'autre, avec notamment un minimum de conductivité de 5775 µS/cm (site AZ dans la

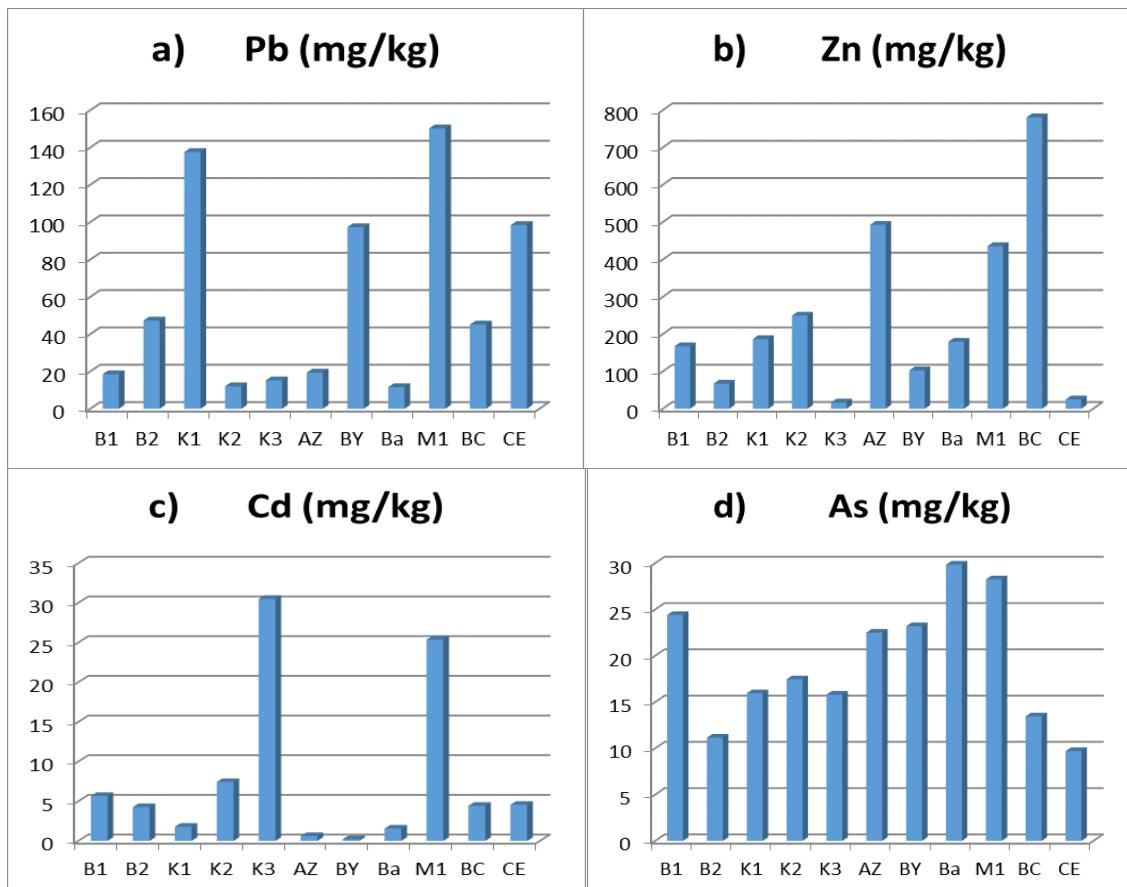
baie de Yopougon) et un maximum 40179 µS/cm (site K3 de Koumassi). Les teneurs en oxygène dissous mettent en évidence des zones bien aérées telles que le chenal Est, Azito et koumassi1 avec des valeurs supérieures à 4 mg/L et des zones frappées d'asphyxie presque totale (teneur en oxygène dissous inférieur à 1 mg/L), en l'occurrence B1 et K3.

Concentrations des métaux dans les sédiments

Tableau 4: Résultats des analyses des ETM sur deux campagnes

Baie	Sites d'échantillonnage	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)
Biétri	B1	18,5	5,66	167,49	24,4	89,35
	B2	47,24	4,26	67,15	11,15	275,4
Koumassi	K1	137,53	1,78	186,55	15,95	76,9
	K2	12,05	7,42	249,5	17,45	150,2
	K3	15,23	30,53	16,6	15,8	27,8
Yopougon	AZ	19,40	0,61	492,7	22,5	11,25
	BY	97,29	0,21	102,7	23,2	68,1
Banco	Ba	11,56	1,55	179,2	29,85	287,4
Marcory	M1	150,26	25,36	435,55	28,25	291,2
Cocody	BC	45,15	4,42	780,55	13,45	8,222
	CE	98,415	4,45	25	9,7	235,95
Minimum		11,56	0,21	16,6	9,7	8,22
Maximum		150,26	30,53	780,55	29,85	291,2
Moyenne		59,33	7,85	245,73	19,25	138,34
Ecart-type		52,36	10,23	234,67	6,80	114,21
Nombre d'échantillons (n)		11	11	11	11	11

Ces valeurs sont représentées sur les graphiques suivants (Figure3) qui donnent la distribution des ETM sur les différents sites.



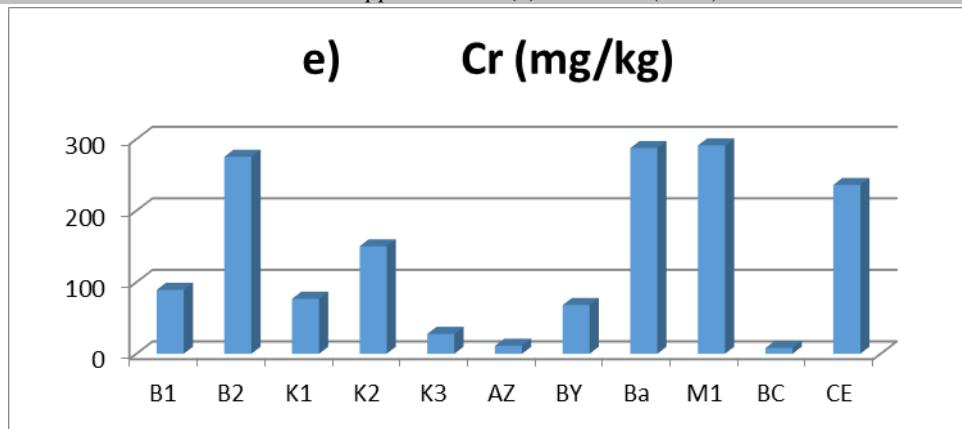


Figure 3 : Teneurs en métaux des sites (a :Pb ; b : Zn ; c : Cd ; d : As ; e : Cr)

La figure 3-a montre une distribution hétérogène de la teneur en plomb d'une baie à l'autre, avec des valeurs relativement élevées à koumassi1 (site K1 : 137,53 mg/kg) et à Marcory (site M1 : 150.26 mg/kg). La teneur minimale du plomb est de 11.56 mg/kg, obtenue dans la baie du banco.

La teneur en zinc des baies est donnée par la figure 3.b, avec un gradient très élevé entre le minimum 16,6 mg/kg dans la baie de Koumassi et le maximum 780,55 mg/kg enregistré dans la baie de Cocody.

Les concentrations en cadmium (figure 3-c) varient entre 0,21mg/kg dans la baie de Yopougon et 30,53 mg/kg en baie de koumassi.

Quant à la distribution de l'arsenic (figure 3-d), elle est plus homogène dans les différentes baies, comparée aux autres métaux. Toutefois, on note un minimum de 9,70 mg/kg dans la baie de cocody et un maximum de 28,85 mg/kg dans la baie du banco.

La figure 3-e présente la répartition des concentrations de chrome, avec un minimum de 8,22 mg/kg dans la baie de cocody et un maximum de 291,2 mg/kg Marcory.

Une étude comparative des teneurs en métaux des sédiments des différentes baies montre que :

- Dans la baie de Bietri (site B1), la teneur la plus élevée est celle du zinc (167,49 mg/kg) et la plus faible est enregistrée avec le chrome (5,66 mg/kg). Alors que sur le site B2 de cette baie, la teneur la

plus élevée est celle du chrome qui est de 275,4 mg/kg et la plus faible est celle du cadmium qui est de 4.26 mg/kg.

- Dans la baie de Koumassi, le site K1 donne les valeurs maximum de 186,55 mg/kg avec le zinc et minimum de 1,78 mg/kg avec le cadmium, quand le site K2 enregistre respectivement les teneurs de 249,5 mg/kg pour le zinc et 7,42 mg/kg avec le cadmium. Le site K3 donne plutôt un maximum de 30.53 mg/kg avec le cadmium et un minimum de 15,53 mg/kg avec le plomb.
- Dans le baie de yopougon, le site azito présente les valeurs 492.7 mg/kg (maximum) avec zinc et 0.61 mg/kg (minimum) avec le cadmium ; tandis que le site BY donne respectivement 102,7 mg/kg pour le zinc et 0,21 mg/kg pour le cadmium.
- Dans la baie de Banco, les teneurs maximum et minimum sont obtenues respectivement avec le chrome (287,4 mg/kg) et le cadmium (1,55 mg/kg).
- La baie de Marcory enregistre comme teneur maximum 435,55 mg/kg avec le zinc et comme valeur plus faible 25,36 mg/kg avec le cadmium.
- A Cocody, on note la plus grande teneur métallique avec le zinc (780,5 mg/kg) et la plus faible avec le cadmium (4,42 mg/kg), quand dans le Chenal Est (CE) on obtient respectivement 235,95 mg/kg avec le chrome et 4,45 mg/kg avec le cadmium.

On note que l'ordre de grandeur des teneurs des ETM dans l'ensemble des baies étudiées est le suivant : Zn > Cr > Pb > As > Cd.

Matrice de corrélation:

Les résultats obtenus par cette analyse (Tableau 5) montrent une bonne corrélation entre la salinité et la conductivité ($r = 0,99$), de

même qu'entre la transparence et le pH ($r = 0,86$) ou entre la conductivité et la teneur en cadmium ($r = 0,68$) enfin entre l'oxygène dissous et la teneur en plomb ($r = 0,65$). Par contre, on ne note aucune corrélation entre les teneurs des différents métaux dans les sédiments ($r < 0,4$) pour tous ces métaux.

Tableau 5: Matrice de corrélation des différents paramètres

	Pb	Cd	Zn	As	Cr	T(°C)	pH	Salinité	Cond	OD	Transp
Pb	1										
Cd	0,092	1									
Zn	-0,003	-0,086	1								
As	-0,026	0,070	0,142	1							
Cr	0,246	0,068	-0,317	0,165	1						
T(°C)	0,317	0,408	0,305	-0,320	-0,068	1					
pH	-0,228	-0,02	-0,575	-0,007	0,117	0,016	1				
Salinité	-0,395	0,677	-0,355	-0,212	-0,143	0,216	0,287	1			
Cond	-0,397	0,677	-0,348	-0,203	-0,125	0,222	0,282	0,999	1		
OD	0,645	-0,297	-0,166	-0,009	-0,141	-0,019	-0,209	-0,704	-0,709	1	
Transp	-0,031	0,040	-0,374	0,047	0,301	0,322	0,863	0,113	0,114	- 0,197	1

Caractérisation de la contamination des sédiments

Indice Igeo

Les résultats concernant les indices de géoaccumulation selon UCC (Tableau 6) montrent des valeurs élevées pour le Cd (4,4 donc classe 5, c'est à dire de sévèrement

pollué à très sévèrement pollué) et pour le As (2,6 donc classe 3, c'est à dire de modérément à sévèrement pollué), et des valeurs moins élevées pour Pb et Cr (0,6 chacun) ainsi que pour Zn (0,9) mettant les sédiments de la zone dans la classe 1, c'est-à-dire de pollué à modérément pollué en Pb, Cr et Zn.

Tableau 6: Indices de géo accumulation des métaux (Pb, Cd; AS ; Zn et Cr) dans les sédiments étudiés en utilisant les bruits de fond UCC

Baies	Sites	Pb (17)	Cd (0,1)	Zn (52)	As (2)	Cr (35)
Biétri	B1	- 0,46	5,24	1,1	3,02	0,76
	B2	0,89	4,68	- 0,22	1,89	2,39
Koumassi	K1	2,43	3,46	1,26	2,41	0,55
	K2	-1,08	5,45	1,68	2,54	1,52
	K3	-0,74	7,43	-2,23	2,39	-0,92
Yopougon	AZ	-0,39	1,96	2,66	2,91	-2,22
	BY	1,93	0,47	0,39	2,95	0,38
Banco	Ba	-1,14	3,26	1,20	3,31	2,45
Marcory	M1	2,56	7,17	2,48	3,23	2,47
Cocody	BC	0,82	4,73	3,32	2,16	-2,67
	CE	1,95	4,77	-1,64	1,69	2,17
	Moyenne	0,61	4,42	0,91	2,59	0,62

UCC : upper continental crust ou concentrations métalliques crustales ; entre parenthèses pour chaque métal.

Facteur de contamination et indice PLI

L'indice de pollution PLI (tableau 7) fait apparaître que tous les sédiments analysés présentent une pollution métallique, avec des valeurs de PLI supérieures à l'unité. Une valeur particulièrement élevée (18,6) est enregistrée au niveau de la baie de Marcory. Quant aux indices TEC et PEC (Tableau 8), on obtient des proportions d'échantillons inférieures à TEC de 45,45 % pour Pb ; 18,18 % pour Cd ; 36,36 % pour Zn ; 9 % pour As et 27,27 % pour Cr, indiquant des sédiments sans effet toxique sur les organismes vivant dans

ces sédiments. Par contre on enregistre des proportions supérieures à PEC de 18,18 % ; 36,36 % ; 27,27 % ; 00 % et 45,45 % respectivement pour Pb, Cd, Zn, AS et Cr ; montrant que ces sédiments peuvent avoir des effets toxiques potentiels sur les organismes vivant dans ces sédiments. Il en ressort que seule la teneur en arsenic semble ne pas avoir des effets toxiques sur ces organismes, vu qu'aucun échantillon (zéro pourcent des échantillons) ne présente de teneur supérieure au PEC.

Tableau 7: Valeur le CF et PLI selon les bruits de fond UCC

Baies	Facteur de contamination (CF) selon UCC						PLI (UCC)
	Sites	Pb	Cd	Zn	As	Cr	
Biétri	B1	1,1	56,6	3,22	12,2	2,5	5,7
	B2	2,8	42,6	1,29	5,6	7,86	5,8
Koumassi	K1	8,09	17,8	3,59	7,98	2,19	6,12
	K2	0,71	74,2	4,8	8,7	4,29	6,2
	K3	0,89	305	0,3	7,9	0,79	3,5
Yopougon	AZ	1,14	6,1	9,48	11,25	0,32	2,98
	BY	5,7	2,1	1,98	11,6	1,95	3,5
Banco	Ba	0,68	15,5	3,4	14,9	8,21	5,4
Marcory	M1	8,8	253,6	8,38	14,12	8,32	18,6
Cocody	BC	2,7	44,2	15,01	6,72	0,23	4,9
	CE	5,8	45,5	0,48	4,85	6,74	5,3
	Moyenne	3,49	78,47	4,72	9,62	3,95	6,2

Tableau 8: Evaluation des proportions des échantillons de sédiments inférieures au TEC ou supérieures au PEC

ETM (mg/kg)	Pb	Cd	Zn	As	Cr
TEC*	35,8	0,99	121	9,79	43,4
PEC*	128	4,98	459	33,0	111
% échantillons < TEC	45,45	18,18	36,36	9,0	27,27
% échantillons > PEC	18,18	36,36	27,27	0	45,45

* : Selon MacDonald¹⁸.

DISCUSSIONS

Les paramètres physico chimiques de la colonne d'eau influencent en partie la qualité des sédiments sous-jacents. En effet, la conductivité et la salinité mettent en lumière les influences - entrée et sorties- des eaux océaniques et continentales. Les zones qui enregistrent des entrées fréquentes des eaux

marines montrent des valeurs élevées de salinité et de conductivité. C'est le cas des baies de Biétri, Yopougon et Azito. Le pH montre que les eaux des sites étudiés, en relation constante avec les eaux marines sont basiques (sites B1 et B2 de la baie de Biétri, alors que les sites plus éloignés ont des eaux à caractère acide. Ceci s'explique par le

renouvellement de ces eaux par les apports d'eaux basiques de l'océan⁹. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Soro *et al*¹⁷. Les valeurs d'oxygène dissous, très faibles enregistrées sur certains sites (K1 : baie de Koumassi et B1 : baie de Biétri) témoignent des déversements quotidiens d'effluents domestiques et industriels riches en matière organique, dont la décomposition nécessite une grande quantité d'oxygène extraite de la colonne d'eau, appauvrissant ainsi le milieu en oxygène dissous. On peut donc dire que les variations des paramètres physico-chimiques du milieu lagunaire de la ville d'Abidjan sont en partie dues aux apports d'origine anthropique. Ces apports sont susceptibles de contenir des éléments traces métalliques (ETM) tels que le plomb (Pb), le chrome (Cr), le zinc (Zn), l'arsenic (As) et le cadmium (Cd). Les indices de géo-accumulation (Igeo) montrent que tous les sites étudiés sont fortement pollués en Cd et As, mais modérément pollués en Pb, Cr et Zn. Ceci est confirmé par les indices de pollution, qui indiquent que tous les sédiments analysés présentent une pollution métallique. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Coulibaly *et al*⁷, qui ont montré que la lagune Ebrié était sujette à la pollution métallique avec des classes variant de 1 à 5 dans l'échelle de pollution de Müller.

Ces résultats montrent que les baies recevant des effluents industriels (Biétri, Koumassi, Marcory) sont les plus polluées en ETM, alors que celles accueillant les déchets domestiques (liquides comme solides), sont moins pollués en ces éléments. En effet, les effluents domestiques peuvent être sources de forte pollution organique ou fécale, compte tenu de leur charge importante en matière organique. Les travaux de Yao *et al*³², ont révélé que les baies lagunaires d'Abidjan sont caractérisées par une pollution à dominante organique et chimique. Toutefois, la forte présence de Zn est due en partie au déversement d'ordures ménagères et eaux usées des quartiers qui bordent ces baies¹⁷. Il est connu que le zinc forme plus de 44 % des piles et accumulateurs, 12 à 13 % des produits ferreux protégés par le

zinc contre la corrosion. Un apport en Zn pourrait être aussi le fait d'activités agricoles sur le bassin versant de la lagune Ebrié, avec notamment l'utilisation d'engrais chimique. Pena et Pico²⁴ ont montré, en effet, que Zn entre autres fait partie des micropolluants des écosystèmes lagunaires provenant d'activités agricoles, industrielles et portuaires.

Les indices de géo-accumulation obtenus montrent que les différentes baies sont fortement polluées en cadmium et en arsenic, mais modérément polluées en plomb, chrome et zinc. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Kouassi¹⁵ et Affian *et al*², qui montrent que les baies lagunaires d'Abidjan sont fortement polluées en Cd notamment.

La qualité environnementale des sédiments des baies lagunaires d'Abidjan est très préoccupante au regard des résultats issus de cette étude. En effet, les indices PEC et TEC révèlent que ces sédiments ont des effets toxiques potentiels sur les organismes vivant dans ce milieu, relativement aux ETM Cr, Zn, Pb et Cd, à l'exclusion de As dont la teneur semble ne pas entraîner d'effet toxique sur ces organismes. Ces résultats sont pour la plupart en désaccord avec ceux de Coulibaly *et al*⁷, qui indiquent que les métaux Zn, Pb et Cd n'ont aucun effet néfaste sur les organismes vivant dans les sédiments de la lagune Ebrié, contrairement à Cr et As qui manifestent des effets toxiques. Cette différence des résultats, en dehors du chrome, pourrait provenir du fait que la zone d'étude de Coulibaly en⁷ est très vaste sur la lagune Ebrié et donc les moyennes des teneurs en ETM seraient sujettes à de fortes dispersions, alors que la présente étude s'est focalisée sur les seules baies de la lagune Ebrié situées dans la ville d'Abidjan, avec un maillage plus serré. On pourrait aussi évoquer le fait que la pollution en ETM des sédiments connaît une croissance au fil des années, de 2010 à 2014 en l'occurrence. En effet, les apports de déchets industriels comme domestiques dans la lagune Ebrié au niveau d'Abidjan ne font que s'intensifier d'année en année, compte tenu de la multiplication ou de l'accroissement des sources (développement du tissu industriel et croissance effrénée de la pollution).

En comparant nos résultats à ceux d'autres auteurs dans le monde (Tableau 9), on remarque que les tendances relatives des teneurs métalliques des sédiments sont presque les mêmes, c'est-à-dire une forte présence de

Zn suivi de Cr, Pb As et Cd. Par ailleurs, les teneurs obtenues par la présente étude montrent que la zone abidjanaise de la lagune Ebrié est fortement contaminée par les Zn, Cr, Pb, Cd et As.

Tableau 9: Comparaison des teneurs (mg/kg) en ETM des sédiments dans le monde avec nos résultats

Région	Zn	Cr	Pb	Cd	As	Références
Système lagunaire Ebrié, Côte d'Ivoire	245,73	138,34	59,33	7,85	19,25	Présente étude
Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire	72,5	85	14,4	0,2	10,4	Coulibaly et al ⁷
Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire	218,2	136	-	-	-	Soro et al ²⁷
Ribeira bay, Brésil	109	-	22,9	0,207	-	Gomez et al ¹²
Izmit Bay, Turquie	754	-	94,9	6,3	-	Pekey ²³
Baie Algeciras, Espagne	73	-	24	0,3	-	Alba et al ³
Hon Kong, Chine	147,73	-	53,56	0,33	-	Zhou et al ³⁴
Voies navigables, France	446	52,1	122	10,2	12,4	INERIS ¹³

CONCLUSION

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude ont mis en lumière l'influence des paramètres physico-chimiques sur le dépôt et l'accumulation des éléments traces métalliques dans les sédiments des baies lagunaires de la ville d'Abidjan. Certaines baies qui reçoivent les rejets industriels sont fortement polluées en ETM, alors que celles qui sont desservies par les déchets à dominance domestique présentent une faible pollution métallique. La pollution métallique des sédiments étudiés donne l'ordre suivant : Zn > Cr > Pb > As > Cd.

Globalement, les sédiments des baies lagunaires d'Abidjan présentent une qualité environnementale préoccupante vis-à-vis des organismes vivant dans ce milieu, car les teneurs métalliques trouvées présentent des effets toxiques avérés sur ces derniers. Ces résultats ont été obtenus grâce à l'utilisation des indices tels que PEC et TEC. Alors que Soro²⁷ indiquait que la pollution des sédiments n'était pas très alarmante, il apparaît aujourd'hui que cette pollution prend de l'ampleur et constitue une menace réelle pour les organismes vivant dans les sédiments, et par suite pour la santé des populations qui consomment certains de ces organismes par le biais de la chaîne trophique. Cette situation commande qu'un suivi régulier soit effectué notamment par le contrôle des rejets domestiques et industriels qui sont les sources

avérées de cette pollution des baies lagunaires, de même que des mesures des teneurs des ETM dans les organismes vivants en contact avec les sédiments, surtout pour leur importance dans la chaîne alimentaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Adingra, A.A. and Kouassi, A.M. Pollution en lagune Ebrié et ses impacts sur l'environnement et les populations riveraines. *F. Tech. & Doc. Vulg.*, 48-53 (2001).
2. Affian, K., Robin, M., Maanan, M., Digbehi, B., Djagoua, E.V. and Kouamé, F., Heavy metal and polycyclic aromatic hydrocarbons in Ebrié lagoon sediments, Côte d'Ivoire. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159(1-4): 531-541. (2009).
3. Alba, M.D., Galindo-Riaño, M.D., Casanueva-Marencio, M.J., García-Vargas, M. and Kosore, C.M., Assessment of the metal pollution, potential toxicity and speciation of sediment from Algeciras Bay (South of Spain) using chemometric tools. *Journal of Hazardous Materials*, 190: 177–187 (2011).
4. Amiard-Triquet, C., Bioaccumulation et nocivité relative de quelques polluants métalliques à l'égard des espèces marines. *Bull. Ecol.*, 20(2): 129-151 (1989).
5. Boran, M. and Altinok, I., A Review of heavy metals in water, sediment and living

- organisms in the Black Sea. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.*, 10: 565-572 (2010).
6. Coulibaly, A.S., Monde, S., Wognin, V. and Aka, K., State of anthropic pollution in the estuary of Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire) by analysis of the metal traces. *Eur. J. of Sci. Res.*, 19(2): 371-390 (2008).
 7. Coulibaly, A.S., Monde, S., Wognin, V. and Aka, K., Teneurs en éléments traces métalliques des sédiments d'un environnement littoral mixte: Confluence fleuve Comoé lagune Ebrié en Côte d'Ivoire. *Rev. CAMES*. 10: (2010).
 8. Diop, C., Dewaelé, D., Cazier, F., Diouf, A. and Ouddane, B., Assessment of trace metals contamination level, bioavailability and toxicity in sediments from Dakar coast and Saint Louis estuary in Senegal, West Africa. *Chemosphere*, 138: 980-987 (2015).
 9. Durand, J.R. and Guiral, D., Hydroclimat et Hydrochimie In Environnement et Ressources aquatiques de Cote d'Ivoire. Tome II. Milieux lagunaires, Ed. ORSTOM. 59-90 (1994).
 10. Fakayode, S.O., Impact assessment of industrial effluent on water quality of the receiving Alaro River in Ibadan, Nigeria. *AJEAM-RAGEE*, 10: 1-13 (2005).
 11. Förstner, U. and Wittman, G.T.W., The Metal pollution in the aquatic Environment (2nd ed.). Springer-Verlag. Berlin, 486 (1981).
 12. Gomes, F., Godoy, J., Godoy, M., Carvalho, Z. and Lopes, R., Metal concentrations, fluxes, inventories and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira Bays: A comparative study. *Marine Pollution Bulletin*, 59: 123–133 (2009).
 13. INERIS, Qualité chimique des sédiments fluviaux en France. Synthèse des bases de données disponibles. Rapport d'étude 03/06/2010 N° INERIS-DRC-10-105335-04971A. (2010).
 14. Katemo, Manda, B., G. Colinet, L. André, A. Chocha Manda, J.-P. Marquet et J.-C. Micha, Évaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/RD Congo) ; *Tropicultura*, 28(4): 246–252 (2010).
 15. Kouassi, N.L.B., Contribution a l'étude de la distribution, de la mobilité et de la toxicité potentielle des métaux cuivre, zinc et cadmium dans les sédiments d'un estuaire tropical (lagune Ebrié, côte d'ivoire). Thèse de doctorat, Univ. FHB. Abidjan, Côte d'Ivoire. N° 880/ (2014).
 16. Long, E.R., Bin, C., Smith, S.L. and Calder, F.D., Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 8–97 (1995).
 17. Loring, D.H. and Rantala, R.T.T., Manuel for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Sciences Reviews*, 32(4): 235-283 (1992).
 18. MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G. and Berger, T.A., Development and Evaluation of consensus-based sediment Quality Guidelines for freshwater Ecosystems. *Arch. Env. Contam. Toxicol.*, 39: 20-32 (2000).
 19. Marchand, M. and Martin, J.L., Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanographie Tropicale*, 20(1): 25-39 (1985).
 20. Morina, A., Morina, F., Djikanović, V., Spasić, S., Krpo-Ćetković, J. and Lenhardt, M., Seasonal variation in element concentrations in surface sediments of three rivers with different pollution input in Serbia. *J. Soils Sediment.*, 1-11 (2015).
 21. Müller, G., Die schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflusse. Eine bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung*, 105: 157-164 (1981).
 22. Ogindo, B.A., Heavy Metal Pollutants and their Concentrations in Fish (Barbus Species) in Sosiani River, Kenya. *discov. Innov.*, 13(3/4): 178-197 (2001).

23. Pekey, H., Heavy metal pollution assessment in sediments of the Izmit Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 123: 219–231 (2006).
24. Pena, G. and Picot, B., Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne: l'étang de Thau. *Oceanologica acta*. 14(5): 459-472 (1991).
25. Poubady, R.B., Le système lagunaire Ebrié en Côte d'Ivoire. Fonctionnement, hydrodynamisme et salinité. Thèse de doctorat Ingénieur. Univ. d'Abidjan (C.I), Institut National polytechnique de Toulouse (FR), 247 P (1979).
26. Scheren, P.A.G.M., Kroese C., Janssen F.J.J.G., Hordijk L. and Ptasinski K.J. Integrated water pollution assessment of the Ebrié Lagoon, Ivory Coast, West Africa. *Journal of Marine Systems*, 44: 1-17 (2004).
27. Soro, G., Metongo, B., Soro, N., Ahoussi, E., Kouamé, F., Zade, S. and Soro, T., Métaux lourds (Cu, Cr, Mn et Zn) dans les sédiments de surface d'une lagune tropicale africaine: cas de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(6): 1408-1427 (2009).
28. Tabinda, A.B., M. Hussain, I. Ahmed et A. Yassar. Accumulation of Toxic and Essential Trace Metals in Fish and Prawns from Keti Bunder Thatter District, Sindh *Pakistan J. Zool.*, vol. 42(5), pp. 631–638 (2010).
29. Tastet, J.P., Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Benin). Thèse doc. Etat, Univ. Bordeaux1, 181 P (1979).
30. Tastet, J.P., Aka, K., Bakayoko, S., Lapaquellerie, Y. and Sombo, B., La teneur en métaux lourds des sédiments marins et lagunaires de la Côte d'Ivoire. Pollution d'une baie en zone urbaine industrialisée. 10^{ème} réunion annuelle des sciences de la terre. Bordeaux, Soc. Geol. Fr. Edit., Paris. (1984).
31. UNEP,, Manuel d'échantillonnage et d'analyse des sédiments UNEP (DEPI) / MED WG.321 / Inf 4. United Nations Environment Program, 26 p (2007).
32. Yao, K.M., Métongo, B.S., Trokourey, A. and Bokra, Y., Détermination de certains paramètres de pollution dans les baies d'une lagune tropicale: la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *J. Ivoir. Oceanol. Limnol.* Abidjan. 4(1): 1-10 (2007).
33. Zahra, A., Hashmi, M.Z., Malik, R.N. and Ahmed, Z., Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah—feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan. *Sci. Total Environ.*, 470: 925-933 (2014).
34. Zhou, F, Guo, H.C. and Hao, Z.J., Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: a GIS-based chemometric approach. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 1372–84 (2007).