

Influence Des Activites Anthropiques Sur La Degradation De La Qualite Des Sediments De La Lagune Ouladine (Sud-Est De La Côte d'Ivoire)

Keiba Noel Keumean, Maître Assistant

Abou Traoré, Assistant

Kouassi Ernest Ahoussi, Maître de Conférences

Péhégninon Junior Ophélie Djadé, Doctorante

Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et de Géomatériaux,
Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

Siaka Barthélémy Bamba, Chargé de Recherches

Laboratoire de Physique et de géologie Marine, Centre de Recherche
Océanologiques, Côte d'Ivoire

Doi:10.19044/esj.2020.v16n15p378 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n15p378](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n15p378)

Résumé

La contamination des sédiments lagunaires par les éléments traces métalliques constitue un danger pour l'eau, les espèces vivantes et pour la santé de l'homme. L'objectif de cette étude est d'évaluer le niveau de contamination des sédiments de la lagune Ouladine en éléments traces. Les éléments traces (Pb, Zn, Cu, Cd et Cr) ont été dosés dans les sédiments lagunaires à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique de type VARIAN AA 20. L'intensité de la contamination des sédiments a été estimée à partir du calcul de plusieurs indices, notamment le Facteur de Contamination (FC), le Degré de Contamination modifié (DCm) et l'Indice de Pollution Sédimentaire (IPS). La toxicité des sédiments a été mise en évidence en comparant les concentrations des éléments traces dosés aux valeurs guides américaines SQGs (Sediment Quality Guidelines). Les résultats mettent en évidence l'ordre d'abondance des teneurs en ETM (Eléments Traces Métalliques) des sédiments suivants : Cr (83,92 mg.kg⁻¹)>Pb (62,03 mg.kg⁻¹)>Zn (60,06 mg.kg⁻¹)> Cu (13,76 mg.kg⁻¹)> Cd (1,45 mg.kg⁻¹). Le Facteur de Contamination (FC) et le Degré de Contamination modifiée (DCm) révèlent une contamination faible à considérable. Les valeurs de l'IPS montrent que les sédiments de la lagune Ouladine sont faiblement pollués sauf à la station S7 où les sédiments sont sains. Hormis le Zinc, les autres ETM dosés s'avèrent néfastes pour les organismes vivants de la lagune Ouladine à toutes les stations qui ont fait l'objet d'échantillonnage.

Mots clés : ETM, sédiments, pollution, lagune Ouladine, Côte d'Ivoire

Influence of Anthropogenic Activities on the Degradation of the Quality of the Sediments of the Ouladine Lagoon (South-East of the Ivory Coast)

Keiba Noel Keumean, Maître Assistant

Abou Traoré, Assistant

Kouassi Ernest Ahoussi, Maître de Conférences

Péhégninon Junior Ophélie Djadé, Doctorante

Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et de Géomatériaux,

Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

Siaka Barthélémy Bamba, Chargé de Recherches

Laboratoire de Physique et de géologie Marine, Centre de Recherche
Océanologiques, Côte d'Ivoire

Abstract

Contamination of lagoon sediments by trace metal elements constitutes a danger to water, living species and human health. The objective of this study is to evaluate the level of trace element contamination in the sediments of the Ouladine lagoon. Trace elements (Pb, Zn, Cu, Cd and Cr) were assayed in lagoon sediments using a VARIAN AA 20. The intensity of sediment contamination was estimated from the calculation of several indices, including the Contamination Factor (CF), the Modified Degree of Contamination (MDC) and the Sediment Pollution Index (SPI). Sediment toxicity was demonstrated by comparing the concentrations of the measured trace elements with the American Sediment Quality Guidelines (SQGs). The results show the order of abundance of the following sediment VEC levels: Cr (83.92 mg.kg^{-1}) > Pb (62.03 mg.kg^{-1}) > Zn (60.06 mg.kg^{-1}) > Cu (13.76 mg.kg^{-1}) > Cd (1.45 mg.kg^{-1}). The Contamination Factor (CF) and the Modified Degree of Contamination (MDC) indicate low to considerable contamination. The SPI values show that the sediments of the Ouladine lagoon are slightly polluted except at station S7 where the sediments are healthy. Except for Zinc, the other measured TE (Trace elements) were found to be detrimental to the living organisms of the Ouladine lagoon at all the stations that were sampled.

Keywords: TE, Sediments, Pollution, Ouladine Lagoon, Ivory Coast

Introduction

Les milieux côtiers offrent des atouts, en termes de ressources (pêche), de transport (navigation), ou de commerce (tourisme), qui ont incité depuis des siècles la sédentarisation de l'homme dans ces zones (Tessier, 2012). Près de la moitié de la population mondiale (environ 3 milliards de personnes), vivent à moins de 200 km du littoral et les estimations indiquent que ce chiffre devrait doubler d'ici 2025 (Creel, 2003). Cette forte densité de la population a engendré un essor économique important, basé sur le développement des infrastructures (habitations, réseau routier, zones portuaires, zones agricoles), et des activités industrielles (métallurgie, chimie, bois.). Ces activités sont à l'origine des rejets de divers polluants organiques et inorganiques qui contribuent à la pollution des hydrosystèmes côtiers (Chouti et *al.*, 2018).

Les éléments traces métalliques constituent une des sources majeures de contamination parmi les nombreuses substances émises par les activités humaines. Les ETM ont tendance à s'accumuler dans les sédiments, une fois, introduits dans le milieu aquatique, et vont ainsi jouer le rôle de puits de contaminants. À cet égard, les sédiments peuvent être des indicateurs sensibles pour la surveillance des contaminants dans les milieux aquatiques (Bibak et *al.*, 2018) Cette contamination par les ETM stockée dans les sédiments deviendra une source de perturbation de l'écosystème aquatique, même après la prise de mesures destinées à stopper ou à réguler les apports (Tessier, 2012).

La ville de Grand-Bassam n'est pas épargnée par cette réalité. En raison d'une croissance démographique très forte et l'essor des activités touristiques, la lagune Ouladine est devenue le réceptacle d'une grande partie des rejets domestiques de la ville.

La présente étude se propose d'évaluer l'influence des activités anthropiques sur la lagune Ouladine et de fournir des informations de base qui pourraient être utilisées dans la surveillance de la qualité de l'environnement lagunaire de la ville de Grand-Bassam.

1- Matériel et méthodes

1.1- Présentation de la zone d'étude

La lagune Ouladine est située au Sud-est de la Côte d'Ivoire, à l'extrémité est de la lagune Ebrié, avec une superficie de 4,25 km² (Varlet, 1958). Orientée ouest-est, elle est parallèle au cordon littoral sur une longueur de 10 km (figure 1), et, est influencée par le fleuve Comoé. Avec ses puissants courants de chasse, le fleuve a ouvert des passes à travers le cordon durant sa longue migration entre 1845 et 1954 (Hauhouot, 2002). Les traces sont encore visibles comme le crochet façonné dans le cordon sableux près du village d'Azuretti et à l'extrémité ouest de la lagune (Varlet, 1958). La lagune

Ouladine est limitée au Sud par l’Océan Atlantique dont elle est séparée par un cordon sableux de largeur variant entre 110 et 545 mètres (figure1).

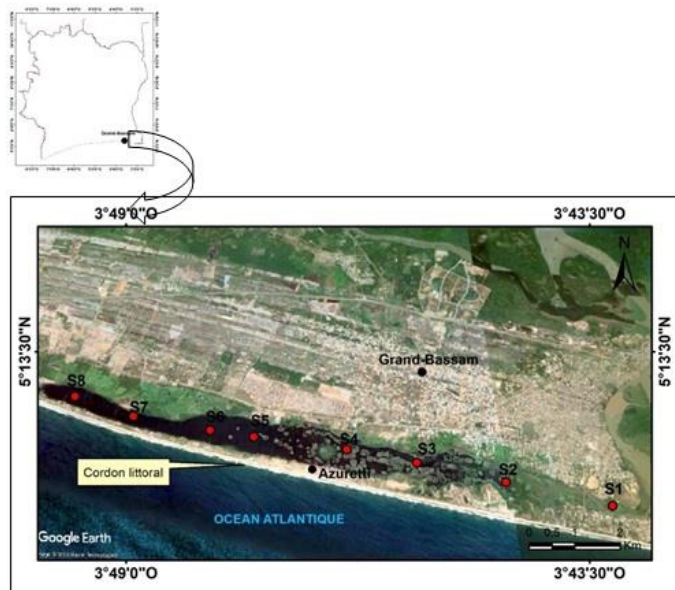


Figure 1 : Localisation des stations d’échantillonnage (source : Google Earth)

La lagune Ouladine est localisée dans la zone centrale du bassin sédimentaire où on observe du Nord au Sud les formations mio-pliocène à quaternaire. Les plateaux sablo-argileux mio-pliocène du Continental Terminal au Nord, dominent les sables argileux des bas plateaux antéholocène qui sont relayés au Sud par les vases et les sables lessivés fluvio-lagunaires.

1.2- Méthode d’échantillonnage

Les campagnes de mesures et d’échantillonnage ont été réalisées dans huit (08) stations réparties sur tout le plan d’eau lagunaire (Figure 1). Les sédiments superficiels (0-5cm) ont été échantillonnés dans huit (08) stations. Ces campagnes se sont déroulées sur une période de douze (12) mois et une fois dans le mois durant l’année 2018. A chaque station, les échantillons de sédiments superficiels ont été prélevés à l’aide d’une benne Van Veen. Les échantillons ont été ensuite conservés dans une glacière pour une analyse ultérieure au laboratoire. Le pH et la température des eaux ont été mesurés à l’aide d’un multi-paramètre de type Orion Star 4. La salinité et la conductivité des eaux ont été mesurées à l’aide d’un multi-paramètre de type HACH Sension 5.

1.3- Méthode d'analyse au laboratoire

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 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 préconisées par Tessier *et al.*, (1979) pour les études de la pollution marine. 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. 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 jusqu'à l'obtention d'une solution transparente. 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 éléments traces Cuivre (Cu), Chrome (Cr), Plomb (Pb), Cadmium (Cd), et Zinc (Zn) ont été dosés par Spectrométrie d'Absorption Atomique (AAS) à l'aide d'un spectromètre de type Varian AA20 à flamme équipée d'un four graphite.

1.4- Calcul des indices d'enrichissement métallique

L'évaluation du degré de contamination métallique et de toxicité des sédiments de la lagune Ouladine a été basée sur le calcul des indices d'enrichissement métallique et polymétallique notamment : le facteur de contamination (FC), le degré de contamination modifié (DC_m), l'indice de toxicité des sédiments ou indice de pollution sédimentaire (IPS) et l'évaluation du risque de toxicité des sédiments (TEC/PEC).

1.4.1- Calcul du Facteur de Contamination

Le facteur de contamination permet de montrer l'existence ou l'absence de contamination des sédiments par les éléments traces. Il permet également de donner le niveau de la contamination si elle existe (Zhu *et al.*, 2011 ; Rezaie-Boroon *et al.*, 2013). Ce facteur de contamination est exprimé par la formule suivante :

$$FC = \frac{C_{\text{métal}}}{C_{\text{référence}}}$$

$C_{\text{métal}}$: Concentration mesurée pour un métal

$C_{\text{référence}}$: Concentration de référence du métal

Hakanson, (1980) a défini des classes de contamination du FC (tableau 2).

Tableau 1 : Classes du facteur de contamination (Hakanson, 1980 ; Förstner et Wittman, 1981).

Classe	Valeur	Intensité de pollution des sédiments
1	$FC < 1$	Absente à faible
2	$1 \leq FC < 3$	Modérée
3	$3 \leq FC < 6$	Considérable
4	$6 \leq FC$	Très forte

1.4.2- Détermination du Degré de contamination (DC)

Le degré de contamination (DC) est la somme des FC (Hakanson, 1980). Selon Sahli *et al.*, (2014), Il permet l'estimation de la contamination *a priori* polymétallique pour chaque point de prélèvement. Ce degré de contamination est exprimé par la formule suivante :

$$DC_i = \sum FC$$

L'utilisation de cette formule exige la prise en compte des polluants métalliques et organiques. Afin de généraliser la formule, Abraham et Parker (2008) l'ont modifié et l'ont adapté au nombre de polluants analysés. Le degré de contamination modifié (DC_m) est déterminé à chaque site par la somme des facteurs de contamination (FC) divisée par le nombre de polluants analysés. Il est exprimé par la formule suivante :

$$DC_m = \frac{\sum FC}{n}$$

Avec n : nombre de polluants analysés

Le DC_m est associé à sept (07) classes selon Abraham et Parker (2008)

Tableau 2 : Classes du degré de contamination modifié selon Abraham et Parker (2008).

Classe	Valeur	Intensité de pollution des sédiments
1	$DC_m < 1,5$	Degré de contamination nul à très faible
2	$1,5 < DC_m < 2$	Faible degré de contamination
3	$2 < DC_m < 4$	Degré de contamination modéré
4	$4 < DC_m < 8$	Degré de contamination élevé
5	$8 < DC_m < 16$	Degré de contamination très élevé
6	$16 < DC_m < 32$	Degré de contamination extrêmement élevé
7	$DC_m \geq 32$	Degré de contamination ultra-élevé

1.4.3- Calcul de l'Indice de Pollution Sédimentaire (IPS)

Le calcul des facteurs d'enrichissement permet d'obtenir des informations sur la contamination des sédiments mais ne prend pas en compte la notion de toxicité liée à chaque métal. Ainsi, Rubio *et al.*, (2000) ont introduit l'indice de pollution sédimentaire (IPS). Cet indice se définit comme une somme linéaire des FC et prend en compte la toxicité relative des ETM par un facteur pondérateur (W). Un poids de 1 est assigné au Zn car il est le

moins toxique ; Cr la valeur 2 ; Pb et Cu se voient affecter la valeur 5 et Cd la valeur 30 (Hakanson, 1980). L'IPS peut être exprimé par l'équation suivante :

$$IPS_n = \left(\frac{\sum FC_n * W_n}{\sum W_n} \right)$$

FC_n : facteur de contamination du métal n

W_n : poids affecté au métal considéré

L'IPS est associé à cinq classes de qualité (Singh *et al.*, 2002) (Tableau 4).

Tableau 3 : Classes de l'indice de pollution sédimentaire (IPS).

Classe	Valeur	Intensité de pollution des sédiments
1	$0 \leq IPS < 2$	Sédiment sain
2	$2 \leq IPS < 5$	Sédiment faiblement pollué
3	$5 \leq IPS < 10$	Sédiment moyennement pollué
4	$10 \leq IPS < 20$	Sédiment très pollué
5	$20 \leq IPS$	Sédiment dangereux

1.4.4- Evaluation du risque de toxicité des sédiments

Pour évaluer la qualité environnementale des sédiments, les concentrations des ETM de la zone d'étude ont été comparées aux valeurs guides américaines SQGs (Sediment Quality Guidelines) récemment développées à partir d'une base de données d'effets biologiques et écologiques que pourraient occasionner certaines concentrations de polluants dans les sédiments. Le TEC (Threshold Effect Concentration) et le PEC (Probable Effect Concentration) ont été établis par Macdonald *et al.*, (2000). Le TEC identifie les concentrations des contaminants en dessous desquels, les organismes vivants dans les sédiments ne sont pas affectés. Contrairement au PEC, qui lui, identifie les concentrations des contaminants au-dessus desquels, on observe des effets néfastes sur les organismes vivants dans les sédiments (Macdonald *et al.*, 2000) (tableau 4).

Tableau 4 : Incidence de la toxicité dans les gammes de concentration des contaminants définies par SQGs (Macdonald *et al.*, 2000).

ETM (mg.kg ⁻¹)	Incidence de toxicité		
	<TEC : non toxique	TEC-PEC : toxique	>PEC : très toxique
Cd	<0,99	0,99 – 4,98	>4,98
Cr	<43,4	43,4 - 111	>111
Cu	<31,6	31,6 - 149	>149
Pb	<35,8	35,8 - 128	>128
Zn	<121	121 - 459	>459

2- Résultats et discussion

2.1- Résultats

2.1.1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux lagunaires

L'analyse des résultats, exprimés en termes d'intervalles de variation des valeurs moyennes (Tableau 5), montrent que les températures (T) enregistrées au niveau des différentes stations varient entre 28,5°C (S3) et 32,1°C (S8), avec une moyenne de $30,76 \pm 1,23^\circ\text{C}$. La variabilité spatiale comprise entre 3°C et 3,6°C montre une faible variation thermique dans les eaux de la lagune Ouladine. Le pH des eaux lagunaires est alcalin. Les valeurs varient entre 7,1 (S1) et 8,3 (S8), avec une moyenne de $7,7 \pm 0,37$. Sur le plan de la minéralisation des eaux, les valeurs de la conductivité (CE) et de la salinité (Sal) varient respectivement de 15,0 mS/cm (S1) à 28,0 mS/cm (S8) avec une moyenne de $21,4 \pm 2,8$ mS/cm et de 1,4 ‰ (S1) à 12,2 ‰ (S8) avec une moyenne de $7,73 \pm 3,62$ ‰.

Tableau 5 : Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques dans la lagune Ouladine

Sites	T (°C)	Sal ‰	pH	CE (mS/cm)
S1	31,7	1,4	7,1	15,0
S2	30,4	4,2	7,5	16,5
S3	29,2	5,1	7,5	17,0
S4	30,8	7,2	7,6	18,5
S5	28,5	9,8	7,8	23,5
S6	31,9	10,6	7,9	25,4
S7	31,5	11,3	8,2	27,3
S8	32,1	12,2	8,3	28,0
Moyenne	30,76	7,73	7,74	21,4
Ecart-type	1,23	3,62	0,37	2,8

T : Température ; Sal : Salinité ; CE : Conductivité électrique

2.1.2- Teneurs des ETM dans les sédiments de la lagune Ouladine

Les résultats du dosage des ETM dans les sédiments de la lagune Ouladine sont présentés à la figure 2. Ces résultats montrent que les concentrations moyennes du cadmium (Cd) varient entre 0,68 mg.kg⁻¹ enregistrée en S3 et 2,36 mg.kg⁻¹ enregistrée en S7. Ces teneurs moyennes en Cd des sédiments de la lagune Ouladine sont supérieures, dans toutes les stations, à la concentration moyenne de référence de la zone d'étude fixée à 0,44 mg.kg⁻¹ par Kikouama *et al.* (2009).

Pour le Cr, les concentrations varient de 73,53 mg.kg⁻¹ obtenu en S6 et 100,78 mg.kg⁻¹ enregistré au niveau de S2. Ces concentrations moyennes en Cr des sédiments de la lagune Ouladine sont supérieures à la concentration moyenne de référence de la zone d'étude fixée à 51,4 mg.kg⁻¹ (Kikouama *et al.* 2009).

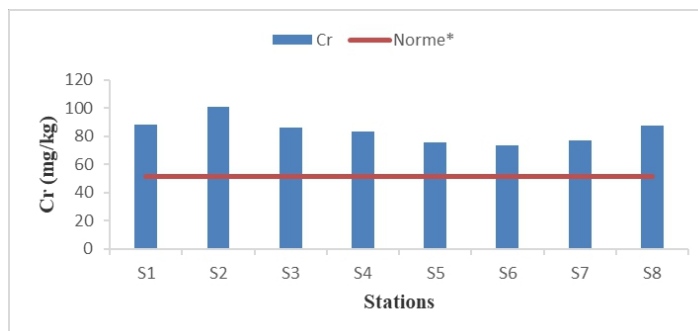
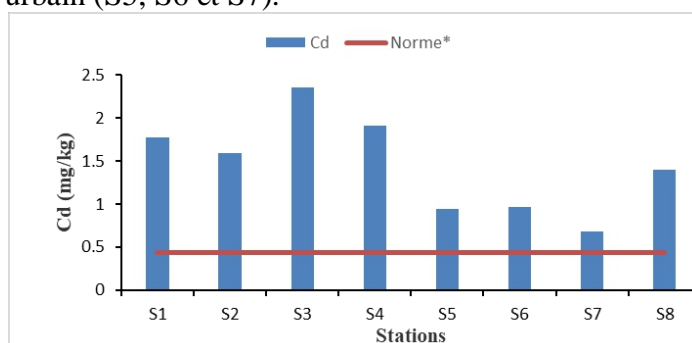
Concernant le Cu, les concentrations varient entre 9,33 et 18,25 mg.kg⁻¹ enregistrées respectivement au niveau de S6 et en S5. Ces concentrations moyennes en Cr des sédiments de la lagune Ouladine sont inférieures à la

concentration moyenne de référence de la zone d'étude fixée à $24,84 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Kikouama *et al.* 2009).

Les concentrations du Pb enregistrées varient entre $45,87$ et $72,79 \text{ mg.kg}^{-1}$ respectivement au niveau de S7 et en S1. Ces concentrations moyennes en Pb des sédiments de la lagune Ouladine sont supérieures à la concentration moyenne de référence de la zone d'étude fixée à $12,68 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Kikouama *et al.* 2009).

Les concentrations en Zn des sédiments au niveau des différentes stations varient de $45,09 \text{ mg.kg}^{-1}$ à la station S1 et de $73,75 \text{ mg.kg}^{-1}$ à la station S2. Pour ce qui est du Zn, les concentrations moyennes sont supérieures à la concentration moyenne de référence de la zone d'étude fixée à $45,13 \text{ mg.kg}^{-1}$ par Kikouama *et al.* (2009) à l'exception de la station S1.

L'analyse des résultats ci-dessous montre que les concentrations des différents ETM varient d'une station à une autre (Figure 2). De façon générale, les concentrations moyennes des ETM dans les sédiments de cette lagune se présentent dans l'ordre décroissant comme suit : Cr ($83,92 \text{ mg.kg}^{-1}$) > Pb ($62,03 \text{ mg.kg}^{-1}$) > Zn ($60,06 \text{ mg.kg}^{-1}$) > Cu ($13,76 \text{ mg.kg}^{-1}$) > Cd ($1,45 \text{ mg.kg}^{-1}$). Il est à remarquer que les stations situées dans les zones soumis à un fort rejet urbain (S1, S2, S3, S4 et S8) ont des teneurs élevées en ETM, notamment en Cd, Cr et Pb par rapport aux stations situées dans les zones soumis à un faible rejet urbain (S5, S6 et S7).



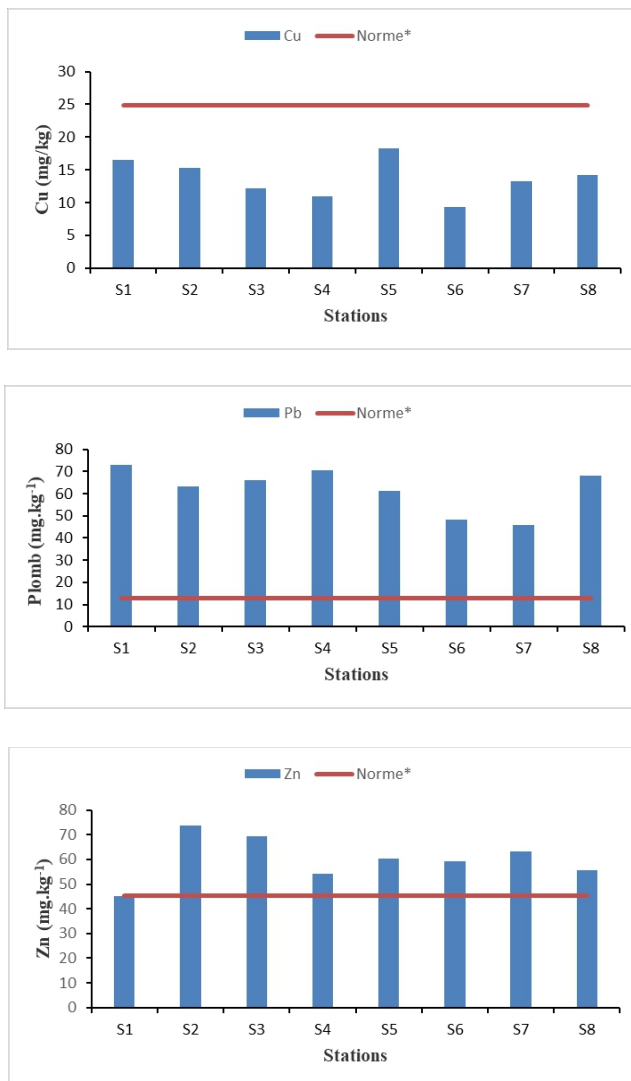


Figure 2 : Teneurs métalliques des sédiments de la lagune Ouladine en (mg.kg⁻¹) comparées avec les concentrations moyennes de référence définies par Kikouama *et al.* (2009).

2.1.3- Evaluation de la contamination des sédiments

Les résultats des calculs des indices d'enrichissement métallique sont présentés dans le tableau 6. Les valeurs du Facteur de Contamination (FC) varient de 0,37 à la station S1 pour le Cu et 5,56 à la station S4 pour le Pb. Les sédiments des stations étudiées présentent une contamination (FC ≥ 1) pour les ETM étudiés à l'exception du Cu (FC ≤ 1). Les contaminations considérables (FC ≥ 3) sont observées aux différentes stations pour le Cd et le Pb.

Les valeurs du Degré de Contamination modifié (DCm) varient de 1,72 à la station S7 à 2,85 à la station S3. Ces valeurs indiquent la présence d'une

contamination polymétallique modérée ($DCm=2,85$) à la station S3 et d'une contamination polymétallique faible ($DCm>1,5$) aux autres stations d'études.

Concernant l'Indice de Pollution Sédimentaire (IPS), les valeurs varient entre 1,66 à la station S7 et 4,52 à la station S3. Dans l'ensemble, les valeurs de l'IPS montrent que les sédiments de la lagune Ouladine sont faiblement pollués exceptés ceux de la station S7 ($IPS<2$) qui sont sains.

Tableau 6 : Valeurs du FC, DCm et IPS des sédiments de la lagune Ouladine

Indice	ETM	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
FC	Cd	4,04	3,61	5,36	4,34	2,13	2,20	1,55	3,18
	Cr	1,71	1,96	1,67	1,63	1,47	1,43	1,49	1,69
	Cu	0,67	0,62	0,49	0,44	0,73	0,37	0,53	0,57
	Pb	5,74	5,00	5,20	5,56	4,83	3,79	3,61	5,38
	Zn	0,99	1,63	1,53	1,20	1,33	1,31	1,40	1,23
DCm		2,63	2,57	2,85	2,63	2,10	1,82	1,72	2,41
IPS		3,67	3,30	4,52	3,83	2,24	2,12	1,66	3,02

2.1.4- Risque de toxicité des sédiments

L'évaluation de la qualité des sédiments des différentes stations de la lagune Ouladine permet de dégager différents niveaux de toxicité (tableau 7). Pour le Zn, tous les échantillons analysés montrent des valeurs inférieures au TEC, ce qui explique une absence d'effets biologiques. En revanche, pour les ETM (Cr, Cu, Pb), les valeurs sont comprises entre le TEC et le PEC, ce qui exprime la présence d'effets biologiques. Quant aux Cd, les concentrations mesurées se répartissent en 2 groupes en fonction des valeurs seuils de toxicité TEC et PEC. Les sédiments des stations S5, S6 et S7 ne constituent pas un danger, car toutes les teneurs de Cd mesurées sont en dessous du TEC. Cependant, les sédiments des stations S1-S4 et S8 constituent un danger, car toutes les teneurs de Cd sont comprises entre le TEC et le PEC indiquant la présence d'effets biologiques.

Tableau 7 : Qualité des sédiments aux différentes stations de la lagune Ouladine

ETM (mg.kg ⁻¹)	Incidence de toxicité		
	<TEC : non toxique	TEC-PEC : toxique	>PEC : très toxique
Cd	S5, S6-S7	S1-S4, S8	-
Cr	-	S1-S8	-
Cu	-	S1-S8	-
Pb	-	S1-S8	-
Zn	S1-S8	-	-

3- Discussion

Les résultats des analyses des ETM dans les sédiments de la lagune Ouladine montrent que les stations sujettes à des pressions anthropiques (S1,

S2, S3, S4 et S8) présentent les teneurs moyennes les plus élevées en Cd, Cr et Pb que les autres stations d'études. Les concentrations des ETM étudiés à l'exception du Cu sont supérieures aux valeurs moyennes de référence définies par Kikouama *et al.*, (2009) dans la zone d'étude. Cette tendance est confirmée par les résultats des différents indices calculés (DCm et IPS). Les variations des concentrations des ETM sont affectées par de multiples facteurs telles que les sources naturelles et anthropiques, les processus physiques et les conditions hydrodynamiques (Mondala *et al.*, 2018). Ces mêmes observations ont été faites par Chouti *et al.*, (2018) au niveau de la lagune côtière, de Togbin à Grand-Popo. Selon, ces auteurs, les variations des teneurs des ETM d'un site à un autre serait liée aux activités anthropiques, au faciès sédimentaire et à l'hydrogéologie des écosystèmes lacustres.

Les résultats du Facteur de Contamination (FC) témoigne d'une contamination modérée ($FC \geq 1$) pour les ETM étudiés à l'exception du Cu ($FC \leq 1$), avec, des contaminations considérables ($FC \geq 3$) observées aux différentes stations pour le Cd et le Pb. Ces contaminations sont dues aux eaux de ruissellement, aux dépôts sauvages d'ordures sur les rives de la lagune, aux eaux usées des activités de tannerie qui sont rejetées dans la lagune sans traitement et aux différentes inondations qu'a connu la ville de Grand-Bassam ces dernières années. Ces métaux sont lessivés par les eaux pluviales pour enrichir les eaux usées en ces éléments (Bhuyan *et al.*, 2019). Des observations similaires ont été faites par Wognin *et al.*, (2017) au niveau de la lagune Ebrié. Ces auteurs attribuent les valeurs élevées des ETM au niveau de la lagune Ebrié à une contribution anthropique. Cette contamination des sédiments de la lagune est favorisée par les conditions physicochimiques du milieu. En effet, le pH alcalin des eaux favorise la précipitation des ETM et limite leur libération dans les eaux, ce qui induit un enrichissement intense en ETM des sédiments (Djeddi *et al.*, 2018). Les faibles concentrations du Cu dans les sédiments de la lagune est le fait de l'assimilation de cet élément par les plantes aquatiques et les macrophytes. Cet élément est crucial pour la bonne croissance des plantes car il est un composant de diverses enzymes et protéines (Decena *et al.*, 2018). Cette diminution des teneurs en cet élément s'est faite par absorption dans la colonne d'eau où à partir de l'eau interstitielle des sédiments (Nahli *et al.*, 2016).

La qualité environnementale des sédiments de la lagune Ouladine est très préoccupante au regard des résultats issus de cette étude, les indices TEC et PEC des ETM étudiés à l'exception du Zn révèlent que les sédiments ont des effets toxiques potentiels sur les organismes vivant de la lagune. En comparant les résultats de la présente étude à ceux de Wognin *et al.*, (2017) en lagune Ebrié à Abidjan (Côte d'Ivoire), on remarque que les tendances sur la qualité environnementale des sédiments sont les mêmes. Selon, ces auteurs,

les sédiments de la lagune Ebrié montre un enrichissement anormal en ETM avec une prédominance du Cd.

Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail ont permis de faire une évaluation de l'influence des actions anthropiques sur la lagune Ouladine. La répartition spatiale des teneurs en éléments traces révèle des concentrations de sources diverses. La contamination par le Pb et le Cd est généralisée et touche l'ensemble des stations. Les indices de contamination (FC, DCm et IPS) révèlent une contamination polymétallique des sédiments étudiés par le Cd, Cr, et le Pb particulièrement dans les zones sujettes à des rejets urbains de la ville de Grand-Bassam. L'évaluation de la qualité des sédiments à partir des indices TEC et PEC montre que les ETM étudiés, à l'exception du Zn, ont des effets toxiques potentiels sur les organismes qui y vivent. Le niveau de contamination et la croissance de la teneur des sédiments en ETM de la lagune Ouladine soulignent l'urgence de diminuer les rejets de polluants dans ce milieu, en traitant les eaux usées de la ville de Grand-Bassam, ce qui éviterait les problèmes de santé publique et de disparation des ressources halieutiques.

References :

1. Abraham G. M. S. and Parker R. J. 2008. Assessment of Heavy Metal Enrichment Factors and the Degree of Contamination in Marine Sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ Monit Assess*, Vol.136, N°1-3, pp. 227-238.
2. Bhuyan Md. S., Bakar M. A., Rashed-U-N Md., Senapath V., Chung S. Y. and Islam Md. S. 2019. Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water and sediment of the Old Brahmaputra River, Bangladesh. *Applied Water Science* 9:125. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1004-y>.
3. Bibak M., Sattari M., Agharokh A., Tahmasebi S. and Namin J. I. 2018. Assessing some heavy metals pollutions in sediments of the northern Persian Gulf (Bushehr province). *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 5(3), 175–179. Doi : 10.15171/EHEM.2018.24
4. Chouti W. K., Chitou N. E., Kelome N., Vlavourou D. H., Kpakpo B. B., Tossou M. E. et Mama D. 2018. Etude de la spéciation du cuivre et du zinc dans les sédiments de la lagune côtière, de Togbin à Grand-Popo (Sud-Ouest Bénin). *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 045 : 01 – 09.
5. Creel L. 2003. Ripple effects : population and coastal regions. Population Reference Bureau. Washington.
6. Decena S. C. P., Arguelles M. S. and Robel L. L. 2018. Assessing Heavy Metal Contamination in Surface Sediments in an Urban River

- in the Philippines. *Pol. J. Environ. Stud.* V27, No. 5, 983-9-1995. DOI: 10.15244/pjoes/75204.
7. Djeddi H., Nacereddine S. K., Keddari D. et Afri-Mehennaoui F-Z. 2018. Teneurs Des Éléments Traces Métalliques Cu, Zn Et Pb Des Sédiments Du Barrage Béni Haroun (Nord-Est De l'Algérie). *European Scientific Journal* Vol.14, No.15. Doi: 10.19044/esj.2018.v14n15p269.
 8. Forstner U. and Wittman G.T.W. 1981. *Metal pollution in the Aquatic Environment* (2nd ed.). Springer-Verlag: Berlin, 486 p.
 9. Hakanson L. 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 5, 975-1001.
 10. Hauhouot C. 2002. Les problèmes de l'aménagement de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam. *Les Cahiers d'Outre-Mer* n°219.
 11. Kikouama O. J. R., Konan K. L., Katty A., Bonnet J. P., Balde L. and Yagoubi N. 2009. Physicochemical characterization of edible clays and release of trace elements. *Appl. Clay Sci.*, Vol.43, N°1, pp. 135-141.
 12. MacDonald D.D., Ingersoll C.G. and Berger T.A. 2000. Development and Evaluation of consensus-based sediment Quality Guidelines for freshwater Ecosystems. *Arch. Env. Contam. Toxicol.*, 39 : 20-31.
 13. Mondala P., Mendesb R. de A., Jonathanc M.P., Kumar B. J., Murugane K., and Sarkara S. K. 2018. Seasonal assessment of trace element contamination in intertidal sediments of the meso-macrotidal Hooghly (Ganges) River Estuary with a note on mercury speciation. *Marine Pollution Bulletin* 127 : 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.041>.
 14. Nahli A., Hebabaze S., Iounes N., Belhouari A. et Chlaida M. 2016. Etude de la contamination métallique des sédiments de surface de l'Oued Hassar après installation de la station d'épuration (StEp) de Médiouna (Casablanca, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, n° 38, 1-14.
 15. Rezaie-boroon M. H., Toress V., Diaz S., Lazzaretto T., Tsang M. and Deheyn D. D. 2013. The Geochemistry of Heavy Metals in the Mudflat of Salinas de San Pedro Lagoon, California, USA. *Journal of Environmental Protection*, Vol.4, pp. 12-25.
 16. Rubio B., Nombela M. A. and Vilas F. 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Mar. Pollut. Bull.*, Vol.40, N°11, pp. 968-980.
 17. Sahli L., El Okki M. E. H., Afri-Mehennaoui F-Z. et Mehennaoui S. 2014. Utilisation d'indices pour l'évaluation de la qualité des

- sédiments : Cas Du Bassin Boumerzoug (Algerie). *European Scientific Journal*, vol. 10, N°35, pp. 336-346.
18. Singh M., Müller G. and Singh I. B. 2002. Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanisation of the Ganga plain, India. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol.141, N°1-4, pp. 35-54.
 19. Tessier A., Campbell P. and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry* 51 : 844–851.
 20. Tessier E. 2012. Diagnostic de la contamination sédimentaire par les métaux/métalloïdes dans la rade de Toulon et mécanismes contrôlant leur mobilité. Thèse de doctorat de l'Université du Sud Toulon Var. 292 p.
 21. Varlet F. 1978. Le régime de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Paris. Trav. Doc. ORSTOM, 83p.
 22. Wognin A. V., N'guessan Y. M., Assalé F. J. P., Aka A. M., Coulibaly A. S., Mondé 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) : 911-923. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.30>.
 23. Zhu H-N., Yuan X-Z., Zeng G-M., Jiang M., Liang J., Zhang C., Yin J., Huang H-J., Liu Z-F. and Jiang H-W. 2011. Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Xiawan Port based on modified potential ecological risk index. *Trans. Nonferrous Met. Soc., Chine*, Vol. 2012, N°22, pp. 1470-1477.