

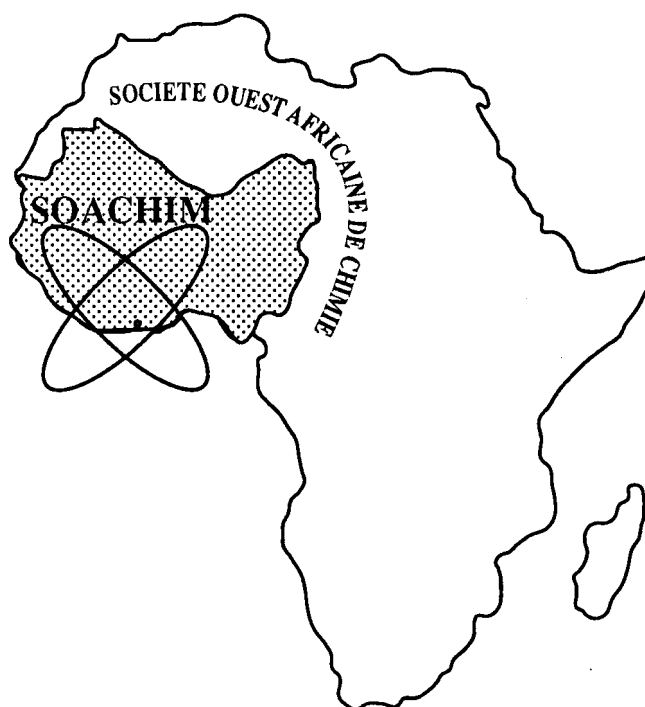
Etude de la spéciation du cuivre et du zinc dans les sédiments de la lagune côtière, de Togbin à Grand-Popo (Sud-Ouest Bénin)

**Waris Kéwouyèmi Chouti, Nafiou Egbéola Chitou, Nelly Kelome,
Dorcas Honvou Vlavanou, Boris Boniface Kpako,
Michael Edjrogan Tossou, Daouda Mama**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2018), 045 : 01 - 09

23^{ème} Année, Juin 2018



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

Site Web: <http://www.soachim.org>

Etude de la spéciation du cuivre et du zinc dans les sédiments de la lagune côtière, de Togbin à Grand-Popo (Sud-Ouest Bénin)

Waris Kéwouyèmi Chouti^{1, 2*}, Nafiou Egbéola Chitou², Nelly Kelome¹, Dorcas Honvou Vlavonou¹, Boris Boniface Kpako¹, Michael Edjrogan Tossou¹, Daouda Mama^{1,2}

¹Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi 01 BP : 526 Cotonou, Bénin.

²Laboratoire de Chimie Inorganique et de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi BP : 4521 Cotonou, Bénin.

(Reçu le 17/04/2017 – Accepté après corrections le 21/07/ 2018)

Résumé : L'objectif de notre étude est de caractériser l'évolution de la qualité des sédiments de la lagune côtière. Une campagne de prélèvement de sédiments a été réalisée le 20 décembre 2016. Au total, 12 échantillons ont été prélevés. Différents paramètres physico-chimiques (pH, température, salinité, TDS, conductivité, potentiel redox) ont été déterminés sur ces échantillons. Le long de la lagune côtière, les valeurs de ces différents paramètres sont au-delà des normes, exceptées pour le pH et la température. Le cuivre et le zinc ont été dosés dans les sédiments. La distribution de ces éléments traces métalliques (ETM) dans les sédiments a été évaluée par les extractions séquentielles. La spéciation des ETM montre que le cuivre est majoritairement présent dans la fraction acido-soluble et en proportions considérables dans les fractions réductible et résiduelle. Quant au zinc, il est présent en forte proportion dans la fraction résiduelle, et en des proportions considérables dans les fractions : oxydable, réductible et échangeable. Les ETM étudiés se retrouvent piégés dans les sédiments des sites : Hio, Djègbadji, Azizakouè et Akouèta. Les concentrations de ces derniers sont élevées au niveau de ces sites. Les sédiments de la lagune côtière sont donc soumis à une contamination métallique. Le calcul de l'indice de contamination a révélé que les zones de Hio et Djègbadji sont polluées par le cuivre. Quant au Risk Assessment Code, il montre que le risque lié au cuivre est faible pour le site de Djègbadji et moyen pour celui de Hio. Tandis qu'un très haut risque est lié au zinc pour les sites Azizakouè et Akouèta.

Mots clés : sédiments, lagune côtière, cuivre, zinc, extractions séquentielles.

Copper and zinc speciation in sediments of coastal lagoon, Togbin and Grand-Popo (South-West Benin)

Abstract : For several years, man-made anthropogenic activities have contributed to bring many pollutants into the environment, especially in water resources. These activities, which are responsible for the release of various pollutants, have resulted in a deterioration of the quality of surface water. The objective of this study is to characterize the evolution of the coastal lagoon sediment quality. A sediment sampling campaign was conducted on December 20, 2016. The samples were characterized by the analysis of various physicochemical parameters. Along the coastal lagoon, the values of these different parameters are beyond the norms, except for pH and temperature. The distribution of these metal trace elements (MTE) in the sediments was evaluated by using sequential extraction tests. of Tessier and al, 1979 Speciation of MTE in sampled sediments from the coastal lagoon shows that copper is predominantly present in the acid-soluble fraction and in considerable proportions in the reducible and residual fractions. As for zinc, it is also present in a high proportion in the residual fraction, and in considerable proportions in the oxidizable, reducible and exchangeable fractions. The studied MTE are trapped in the sediments of Hio, Djègbadji, Azizakouè and Akouèta. Their concentrations are higher at these sites. The sediments of the coastal lagoon are therefore subject to metal contamination.

Keywords: sediment, coastal lagoon, copper, zinc, sequential extraction.

* Auteur correspondant ; E-mail : warischouti@yahoo.com ; Tél : 00229 97 48 73 20

W.K. Chouti et al

1. Introduction

Les hydrosystèmes littoraux tels que les rivières, les fleuves, les lacs, les estuaires, les lagunes, les océans etc., sont de nos jours soumis à de fortes pressions anthropiques notamment, l'urbanisation, le tourisme, l'agriculture, la pêche, l'expansion industrielle et les exploitations minières [1, 3]. Ces activités sont à l'origine des rejets de divers polluants organiques et inorganiques qui contribuent à la pollution de ces hydrosystèmes. Les concentrations de ces contaminants dans certains eaux, sédiments et organismes vivants ont atteint des teneurs alarmantes du point de vue écotoxicologique, entraînant parfois des effets négatifs sur la santé humaine [4, 6].

De nombreuses études portant sur la qualité des eaux lagunaires ont mis en évidence une corrélation entre les activités anthropiques, notamment l'apport d'effluents domestiques, agricoles, industriels, et l'augmentation des teneurs en nutriments et en éléments traces métalliques (ETM) dans les eaux et les sédiments [7, 8]. En effet, la pollution par les éléments traces métalliques est-elle un problème d'actualité, qui préoccupe toutes les communautés soucieuses de maintenir leur patrimoine hydrique à un certain degré de qualité [9]. Car les ETM, sont toxiques au-dessus d'un certain seuil. Contrairement à certains polluants susceptibles de se dégrader, les polluants métalliques dans le milieu aquatique persistent [10].

Les ETM sont très nocifs voire mortels pour des espèces animales et/ou végétales aquatiques provoquant un dysfonctionnement dans la chaîne trophique et diminuant la biodiversité [11, 12]. Leur devenir dans l'environnement n'est pas uniquement fonction de leur teneur totale, dans la mesure où leur mobilité et/ou biodisponibilité dépendent avant tout des formes sous lesquelles ils sont présents dans le milieu [13, 14]. D'après Ferreira, (2009) [15] l'étude de la spéciation chimique des métaux traces dans les eaux et leur répartition dans les différentes fractions apparaissent donc indispensables pour mieux comprendre les facteurs contrôlant leur transfert dans les écosystèmes et leur biodisponibilité pour les organismes aquatiques. Car la spéciation contribue à définir la mobilité des éléments traces et donc permet d'établir des perspectives de comportement et d'évolution des éléments traces en fonction des conditions du milieu et de leur modification [16]. L'analyse et la quantification des métaux traces dans les compartiments aquatiques en tant que concentration totale sont apparemment acceptables mais insuffisantes et peuvent se révéler trompeuses, et nécessitent donc une information complémentaire

de partitionnement, qui élucidera de manière caractéristique les différentes formes élémentaires coexistantes [17].

Les milieux aquatiques du Bénin sont également soumis à cette pollution. La présente étude vise l'étude de la répartition et de la quantification des différentes formes chimiques du cuivre et du zinc dans les sédiments de la lagune côtière, de Togbin à Grand-Popo.

2. Matériel et Méthodes

2.1 Prélèvement des échantillons

Douze sites de prélèvements ont été choisis en fonction des zones où se développent les activités anthropiques, des déversements domestiques, des eaux de ruissellement et des apports de la mer. Ainsi, douze échantillons de sédiments ont été prélevés le 20 décembre 2016 sur la lagune côtière au niveau des sites qui ont été choisis pour les travaux de nos recherches. Les stations retenues ont été localisées et repérées au moyen d'un GPS (Tableau I).

Les prélèvements d'eau sont effectués en barque motorisée, à quelques centimètres sous la surface de l'eau. Des bouteilles en plastique de 1,5 litre préalablement lavées et rincées au laboratoire ont été remplies après 3 rinçages avec l'eau à prélever. Les bouteilles remplies complètement sont fermées hermétiquement pour éviter toute fuite de gaz ; elles sont automatiquement étiquetées. Parallèlement, des échantillons d'eaux ont été prélevés pour les mesures in situ (pH, température, conductivité, salinité).

Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne de Heckman. L'opération consiste à racler le fond du lac avec une benne de Heckman préalablement ouverte que l'on ferme une fois au fond au moyen d'un contre poids ; cette fermeture rapide entraîne le raclage du sédiment à plus à 10 cm de profondeur du fond de la lagune. Ces échantillons sont automatiquement emballés dans des sachets en plastiques et étiquetés.

2.2. Méthode d'analyse

La détermination des teneurs totales en éléments métalliques des sédiments a nécessité une minéralisation qui a été faite en se basant sur ce qui est décrit dans le protocole de Tessier *et al.*, 1979 [18]. La méthode utilisée pour le dosage du cuivre et du zinc dans les eaux et sédiments est la méthode HACH. Pour les sédiments, l'échantillon utilisé pour le dosage est celui obtenu après minéralisation des sédiments. La lecture des concentrations en cuivre et en zinc a été faite au spectrophotomètre d'absorption moléculaire DR 2800.

Tableau I : Sites de prélèvements des eaux de la lagune.

Sites	Noms	Coordonnées géographiques	Critères de choix
S ₁	Hio	E : 0416937 N : 0701593	Pression anthropique présente. Permet une estimation de l'impact des déchets solides ménagers sur la lagune.
S ₂	Ahlobé (Vodountô)	E : 0414844 N : 0701689	Zone protégée où on n'observe pas de pratique de pêche, ni d'acaja.
S ₃	Avlékété	E : 0412194 N : 0701594	Présence d'un hôpital et de latrine au bord de l'eau.
S ₄	Agoin	E : 0408500 N : 0700816	Présence de déchets au bord de la lagune.
S ₅	Gbèto	E : 0402599 N : 0700402	Pression anthropique présente.
S ₆	Djègbadji	E : 0399058 N : 0699931	Zone de pente qui permet d'apprécier l'impact des eaux de ruissellement sur la lagune. Déforestation compte tenu de l'utilisation des bois dans la préparation du sel.
S ₇	Dégoué	E : 0395860 N : 0699290	Zone où on assiste également à la fabrication de sel.
S ₈	Azizakouè	E : 0392918 N : 0699019	Présence des déchets, des débris de bois et des animaux domestiques au bord de la lagune.
S ₉	Mèkon	E : 0389289 N : 0697702	Permet de suivre l'effet conjugué des déchets et de l'élevage du cochon sur la lagune.
S ₁₀	Djondji	E : 0386205 N : 0697355	Zone de communication entre la lagune et le lac Ahémé. Il permet donc d'apprécier l'impact de l'apport des eaux du lac Ahémé dans la lagune.
S ₁₁	Tionou	E : 0381761 N : 0696240	Forte pression anthropique.
S ₁₂	Akouèta (Bouche du Roi)	E : 0378998 N : 0695834	Zone où la lagune est en communication directe avec la mer. Elle nous permet donc d'apprécier l'impact de l'apport de l'eau de mer dans la lagune.

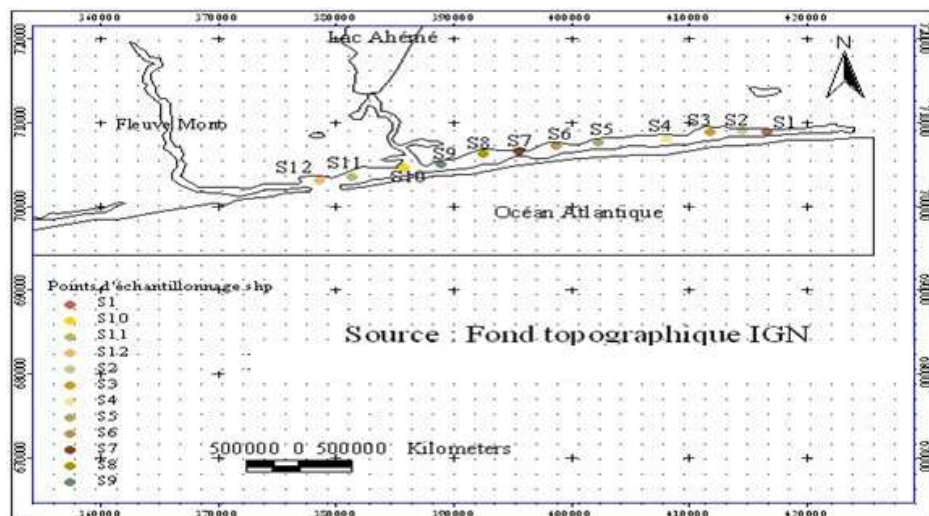


Figure 1 : Répartition des sites d'échantillonnage

La spéciation a nécessité la réalisation d'extractions séquentielles. Les échantillons de sédiment subissent d'abord un traitement préliminaire. Ils sont d'abord séchés à l'air libre puis finement broyés dans un petit mortier et tamisé après dans un tamis de maille de 0,25mm. Le tamisât est utilisé pour les extractions séquentielles des formes chimiques du cuivre et du zinc. Le schéma du protocole d'extraction est présenté dans le **Tableau II**.

2.3. Evaluation de la qualité des sédiments

2.3.1. Indice de contamination « Ic » pour évaluer le degré de pollution

Trois classes de pollution ont été proposées en fonction de l'indice de contamination « Ic », qui est le rapport entre la valeur considérée comme normale et celle observée dans le sédiment. Cet indice se trouve dans le **Tableau III**.

2.3.2. Calcul du Facteur de Contamination Individuelle (ICF)

L'ICF est un paramètre qui reflète le risque de contamination de l'eau par un polluant ^[19]. Il est donné par l'équation 1 :

ICF = Concentration fraction non résistante / Concentration fraction résistante. (Equation 1)

La proportion de la fraction non résistante est représentée par la sommation mathématique de la fraction F1, F2, F3 et F4. La fraction F5 constitue la fraction résistante ^[19]. Les risques de contamination de la ressource seront proportionnels aux valeurs d'ICF.

2.3.3. Risk Assessment Code (RAC)

Le RAC évalue la disponibilité des ETM en solution par l'application d'une échelle de pourcentage aux fractions échangeables et carbonatées des sédiments. Dans ces fractions, la liaison est faible et les ETM posent un risque très élevé de biodisponibilité pour l'environnement aquatique ^[20]. Nous pouvons donc établir par le RAC une classification du degré de toxicité des sites échantillonnés sur la base de la proportion du métal associée à la fraction échangeable. Le calcul du RAC s'effectue par sommation des fractions échangeable et carbonatée (acido-soluble). La valeur ainsi obtenue au niveau de chaque station est comparée à la classification du code d'évaluation des risques ^[19, 21] présentée dans le **Tableau IV**.

Tableau II : Schéma du protocole des extractions séquentielles du cadmium et du plomb pour 1 g d'échantillon

Fractions	Réactifs d'extraction	Volume (ml)	Temps (h)
Echangeable	1M MgCl ₂ , pH7, 20°C, agitation continue	8	1
Acido-soluble (CO ₃ ²⁻)	1M CH ₃ COONa/CH ₃ COOH, pH5, 20°C, agitation continue	8	5
Réductible (Fe ; Mn)	0,04M NH ₂ OH, HCl + 25%CH ₃ COOH, 95°C agitation intermittente	20	6
Oxydable (M.O.)	30% H ₂ O ₂ , 0,02M HNO ₃ , pH2, 85°C, agitation intermittente, 3,2M CH ₃ COONH ₄ , + 20% HNO ₃	5	2
		3	
		5	0,5
Résiduelle	40% HF + 60% HClO ₄ (Minéralisation totale)	5	à sec
Teneur totale en métal	40% HF + 60% HClO ₄ (Minéralisation totale)	10	à sec

Tableau III : Classement du sédiment en fonction de l'Ic.

Indice de contamination	Classement	Interprétations
Ic < 3	Classe 1	Zone Normale
3 ≤ Ic < 10	Classe 2	Zone Polluée
10 ≤ Ic	Classe 3	Zone à risque

Tableau IV : Classification du code d'évaluation des risques (Risk Assessment Code : RAC)

Risques	Critères
Pas de risques	< 1%
Risque faible	1-10%
Risque moyen	11-30%
Haut risque	31-50%
Très haut risque	>50%

3. Résultats et discussion

3.1. Paramètres physicochimiques

Le pH des eaux de la lagune côtière est compris entre 6,90 et 7,76 avec une moyenne de 7,32 (Tableau V). La plus grande valeur est observée à Mèkon et la plus petite à Hio. Les valeurs obtenues pour la température varient de 29,8°C à 32,2°C avec une moyenne de 30,95°C. La valeur minimale de

température a été obtenue à Hio et celle maximale à Dégoué. La conductivité varie de 7830 µS/cm à 25500µS/cm. La plus petite valeur a été obtenue à Ahlobé et la plus grande valeur à Tionou avec une moyenne de 13203,33µS/cm. Les valeurs obtenues pour la salinité varient de 4,4 mg/L à 15,7 mg/L. La valeur minimale de salinité a été obtenue au niveau du site de Ahlobé et celle maximale à Tionou avec une moyenne de 7,74mg/L. Les valeurs TDS varient de 7040 mg/L à 25800 mg/L. La valeur minimale a été obtenue à Akouèta et celle maximale à Tionou avec une moyenne de 13135,83 mg/L. Les valeurs de potentiel redox obtenu sont toutes négatives et varient de -32,5 mV à -25 mV. Ces valeurs indiquent que le milieu est réducteur.

La teneur en cuivre dans les échantillons d'eau varie de 0,018 mg/L à 0,697 mg/L (Figure 2). La teneur en zinc dans les eaux de la lagune côtière varie de 0,12 mg/L à 0,19 mg/L (Figure 3). Les teneurs en cuivre et en zinc sont toutes en dessus des valeurs guides françaises ^[22]. On en déduit que les eaux de la lagune côtière sont contaminées par le cuivre et le zinc.

Les concentrations en cuivre des sédiments sont comprises entre 16,1 mg/kg et 79,1 mg/kg (Figure 4). Les valeurs de cuivre obtenues au niveau des sites de Hio (79,1 mg/kg), Djègbadji (27,5 mg/kg),

Azizakouè (28,8 mg/kg), Djondji (26,2 mg/kg) et Tionou (31,3 mg/kg) sont au-dessus de la valeur guide française (26 mg/kg). Ce qui révèle que la lagune côtière est soumise à une pollution métallique par le cuivre précisément au niveau de ces cinq sites. Quant aux concentrations en zinc des sédiments, elles sont comprises entre 25 mg/kg et 186,5 mg/kg

(Figure 5). Ici, ce sont les valeurs de zinc obtenues au niveau des sites de Mèkon (96,5 mg/kg), Tionou (108,5 mg/kg) et Akouèta (186,5 mg/kg) qui sont supérieures à la valeur guide française (88 mg/kg). La lagune côtière est donc soumise à une pollution métallique par le zinc au niveau de ces trois sites.

Tableau V : Valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune côtière.

Sites	pH	Température (°C)	χ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinité (mg/L)	TDS (mg/L)	Eh (mV)
Hio	6,90	29,90	8900	4,60	8110	-30,2
Ahlobé	7,20	30,50	7830	4,40	7840	-31,8
Avlèkété	7,24	29,80	8380	4,80	8420	-32,2
Agouin	7,19	30,50	10050	5,80	10110	-30,5
Gbèto	7,25	30,30	13220	7,70	13220	-31,1
Djègbadji	7,20	31,70	15490	9,20	15630	-30,6
Dégoué	7,35	32,20	15010	8,90	15120	-30,6
Azizakouè	7,53	31,20	15000	8,90	15050	-29,9
Mèkon	7,76	31,90	17790	10,60	17870	-25
Djondji	7,35	31,50	13300	7,80	13420	-26
Tionou	7,50	31,10	25500	15,70	25800	-26,1
Akouèta	7,40	30,90	7970	4,50	7040	-32,5
Minimum	6,90	29,80	7830	4,40	7040	-32,5
Moyenne	7,32	30,95	13203,33	7,74	13135,83	-29,7
Maximum	7,76	32,20	25500	15,70	25800	-25
Normes	6,5 < pH < 9	-	2000	-	-	-

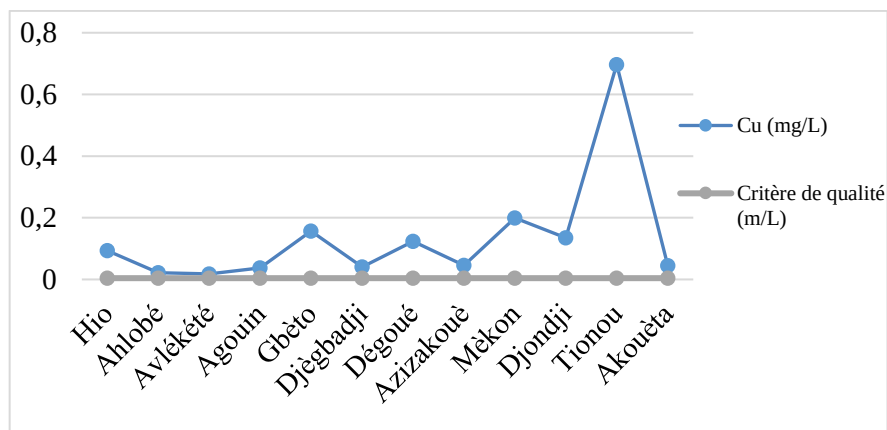


Figure 2 : Teneurs en cuivre dans les eaux de la lagune côtière.

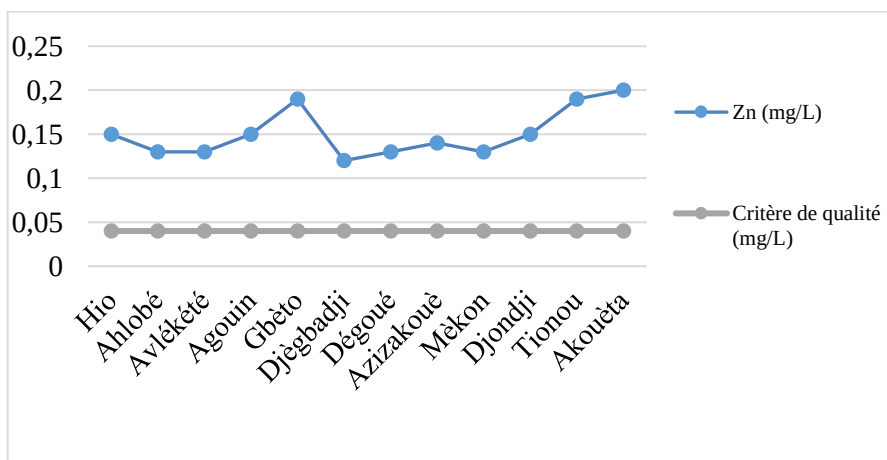


Figure 3 : Teneurs en zinc dans les eaux de la lagune côtière.

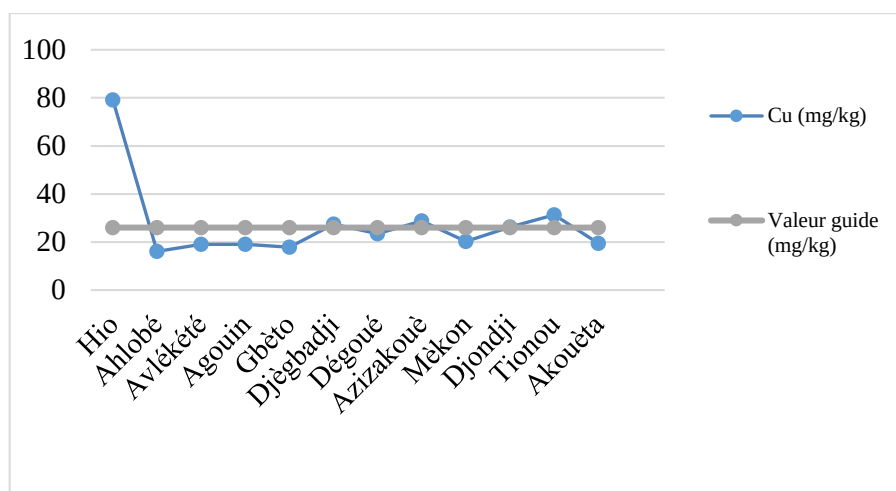


Figure 4 : Concentration totale du cuivre dans les sédiments au niveau de chaque station dans la lagune côtière.

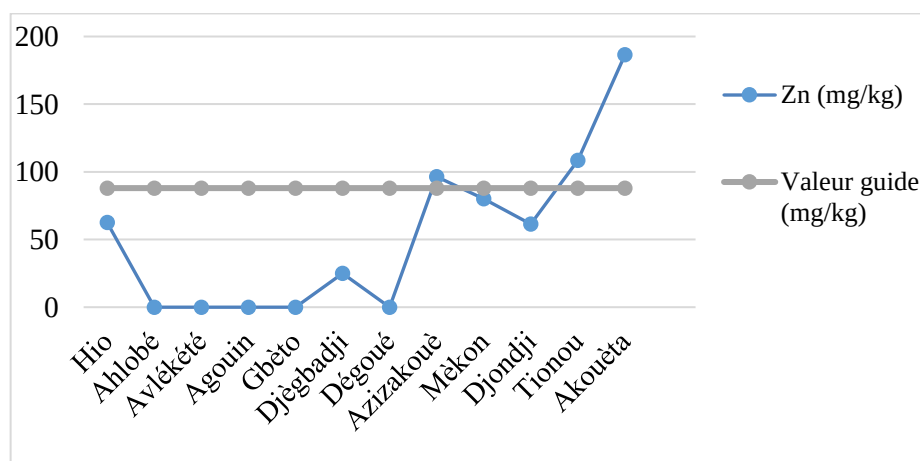


Figure 5 : Concentration totale du zinc dans les sédiments au niveau de chaque station dans la lagune côtière.

3.2. Spéciation du cuivre et du zinc dans les sédiments de la lagune côtière

La Figure 6 présente les résultats issus des extractions séquentielles du cuivre dans les sédiments de la lagune côtière.

L'analyse de la figure 6 permet de dire que le cuivre est inégalement distribué dans les différentes phases du sédiment. Le cuivre a une affinité avec la fraction résiduelle. Le fond géochimique naturel (fraction résiduelle) est élevé au niveau du site de Djègbadji et constitue un peu plus de la moitié du pourcentage de cuivre présent dans le sédiment (56,79%), le cuivre est également présent en un pourcentage considérable (39,49%) dans la fraction oxydable au niveau de ce même site. Par contre, il est faible dans les fractions réductibles (2,25%) et échangeable (1,45%). Au niveau du site de Hio, le pourcentage de cuivre dans le sédiment est distribué presque également dans les quatre fractions à savoir : fraction

résiduelle (20,27%) ; fraction oxydable (27,88%) ; fraction réductible (23,57%), ce qui vient confirmer le fait que le milieu soit anoxique ou réducteur et la fraction échangeable (28,26%). Il n'y a pas du tout de cuivre lié à la fraction acido-soluble au niveau des deux sites.

Les résultats issus des extractions séquentielles du zinc contenu dans les différentes phases géochimiques sont présentés sur la Figure 7.

Le zinc est inégalement réparti dans les différentes phases du sédiment. Il est essentiellement lié à la fraction acido-soluble du sédiment pour les deux sites : Azizakoué (53,06%) et Akouèta (93,09%). Le taux lié à la fraction échangeable est de 46,93 % pour le site d'Azizakoué et de 0,84% pour celui d'Akouèta. La fraction résiduelle contient peu de zinc pour le site d'Akouèta (6,06%), et n'en contient pas pour le site d'Azizakoué. Le fait que la fraction acido-soluble est très élevée pour les deux sites et la fraction résiduelle faible ou nulle, permet de montrer

que la pollution liée à ces deux métaux est d'origine anthropique. Leur taux moyen est de 3,93% pour la fraction échangeable et de 0,36% pour la fraction acido-soluble. Les valeurs des fractions réductible ou liée aux oxydes métalliques et oxydables sont toutes nulles pour les deux sites.

Le calcul de l'indice de contamination (Tableau VI) a révélé que les zones de Hio et Djègbadji sont polluées par le cuivre et les zones d'Azizakouè et d'Akouèta ne sont donc pas soumises à une pollution par le zinc.

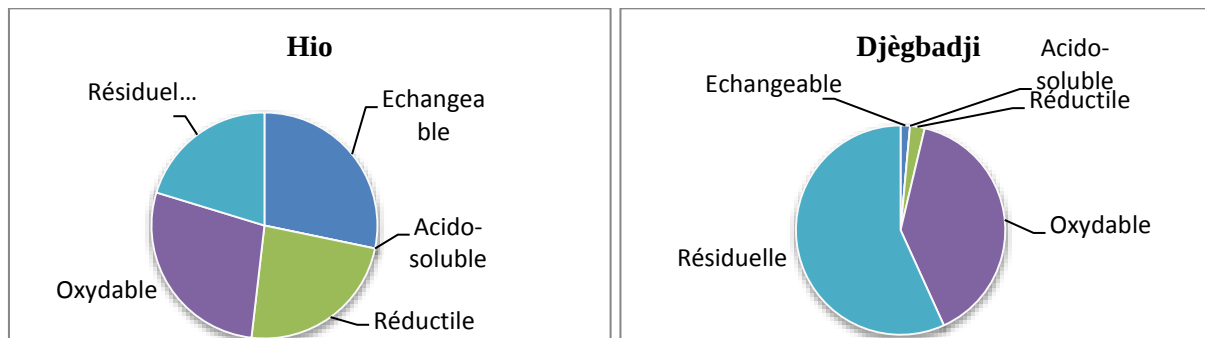


Figure 6 : Spéciation du cuivre dans les sédiments de la lagune côtière à Hio et Djègbadji

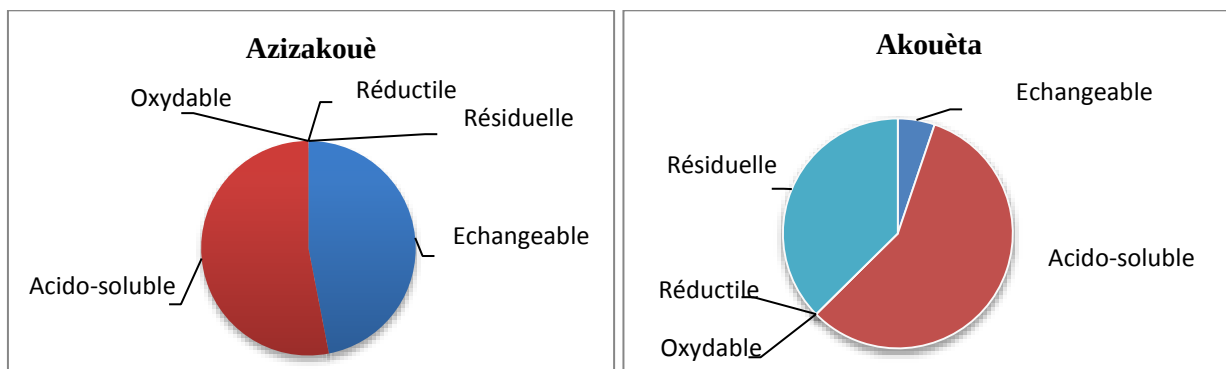


Figure 7 : Spéciation du zinc dans les sédiments de la lagune côtière à Azizakouè et à Akouèta.

Tableau VI : Indice de contamination du cuivre et du zinc

	Teneurs en ETM (mg/kg)	Ic
Cuivre	97,395	3,63
Zinc	46,925	0,53

Evaluation du Facteur de Contamination Individuel (ICF) (Equation 1) et du code d'évaluation des risques (Risk Assessment Code) (Equation 3).

$$ICF = \frac{\text{Concentration fraction non résistante}}{\text{Concentration fraction résistante}} \quad (1)$$

$$= \frac{F1 + F2 + F3 + F4}{F5} \quad (2)$$

$$RAC = \text{Fraction échangeable} + \text{Fraction acido-soluble} \quad (3)$$

Les résultats du calcul de l'ICF et du RAC sont présentés dans le Tableau VII.

Hio est le site où l'ICF est la plus élevée. Néanmoins cette valeur n'est pas très élevée donc ce site admet un potentiel risque de contamination de l'eau par le cuivre contenu dans les sédiments. Djègbadji est le site où l'ICF faible. Le risque de contamination de l'eau par le cuivre est donc moindre au niveau de ce site. Par contre, le zinc présente un faible facteur de contamination à Akouèta (1,67). Le risque de contamination de l'eau par le zinc serait donc faible. Il faut noter qu'à Azizakouè où la fraction résiduelle est inexistante, nous n'avons pu calculer l'ICF.

Tableau VII : Facteur de contamination individuelle et pourcentage du Risk Assessment Code (RAC).

	Cuivre		Zinc	
	Hio	Djègbadji	Azizakouè	Akouèta
ICF	3,93	0,73	-	1,67
RAC (%)	28,2	1,45	100	62,6

Les valeurs de pH obtenues pour notre étude au niveau des différents sites (6,9 à 7,76) sont acceptables et répondent aux normes de croissance des espèces halieutiques. Ces valeurs sont compatibles à ceux de Lawani (2013) ^[23] sur le lac Nokoué (6,74 à 7,52). De même, Dovonou et *al.*, (2011) ^[24] ont obtenu sur le lac Nokoué des valeurs de pH comprises entre 6,05 et 7,80. Les valeurs de températures enregistrées concordent avec celles enregistrées par Dovonou et *al.*, (2011), ^[24] sur le lac Nokoué ; et par Dèdjiho (2011) ^[25], pour l'aire marine protégée de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah. Ce dernier a souligné que pour une bonne croissance des espèces aquatiques couramment élevées il faut une marge de températures comprises entre 24 à 35 °C. Les valeurs des conductivités obtenues au niveau de tous les sites sont très élevées par rapport aux normes de la qualité des eaux (Beaux, 1998) ^[26] et donnent la preuve que les eaux de la lagune sont très chargées en matières minérales. Ces valeurs élevées des teneurs en conductivité seraient dues à l'intrusion saline. Notons que la lagune communique directement avec la mer au niveau de l'Embouchure. Donc cette intrusion saline est due à l'apport de l'eau de mer dans la lagune. Par ailleurs, les valeurs du potentiel redox sont toutes négatives. On en déduit que le milieu est réducteur.

Les résultats obtenus pour les teneurs en cuivre et en zinc indiquent que les eaux de la lagune côtière sont polluées par le cuivre et le zinc. Il en est de même pour les eaux du lac Nokoué car Lawani en 2013 ^[23] a trouvé des valeurs allant jusqu'à 0,51 mg/l pour le cuivre et 0,239 mg/l pour le zinc.

Les teneurs totales obtenues pour le cuivre et le zinc dans les sédiments montrent que ces derniers sont pollués par endroit par ces deux éléments traces métalliques. Les concentrations moyennes en éléments traces métalliques dans les sédiments sont de 27,34 mg/kg pour le cuivre et 88,64 mg/kg pour le zinc. La valeur de Cu est inférieure à celle obtenues par Traoré et *al.*, (2014) ^[27] pour la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) qui est de 145,71 mg/kg et mais celle de Zn est inférieure à celle obtenue pour la même lagune qui est de 29,25 mg/kg. Selon les recommandations françaises pour la qualité des sédiments et la protection de la vie des espèces aquatiques, les concentrations maximales autorisées pour le cuivre et le zinc dans les sédiments sont respectivement 26 mg/kg et 88mg/kg. Alors que les résultats issus de notre étude ont révélé que les valeurs du cuivre et du zinc des sédiments sont supérieures à la norme par endroit. Les valeurs obtenues pour le zinc dans les sédiments varient de 25 mg/kg à 186,5 mg/kg ; ces valeurs sont dans les

mêmes ordres de grandeurs que celles obtenues par Dimon et *al.*, (2014) ^[28] pour le lac Ahémé (25 mg/kg à 170 mg/kg). Mais largement inférieures à celles obtenues dans les sédiments de l'estuaire du fleuve Konkouré ^[29]. Les concentrations de zinc dans les sédiments sur les sites Azizakouè (96,5 mg/kg), Tionou (108,5 mg/kg) et Akouèta (186,5 mg/kg) sont largement supérieures à la norme, ces sites sont fortement pollués par le zinc. Ceci serait dû à la présence de déchets (solides et liquides issus des activités domestiques et de pêches), à la forte pression anthropique et aux apports de la mer. En se référant aux concentrations de cuivre dans les sédiments sur le site Hio (79,1 mg/kg), on constate ce site est pollué fortement par le cuivre.

En ce qui concerne les résultats d'extraction du cuivre et du zinc dans les sédiments, les teneurs en cuivre et en zinc varient d'un site à un autre pour chaque fraction extraite. Cette variation serait liée aux activités anthropiques, au faciès sédimentaire et à l'hydrogéologie des écosystèmes lacustres. Pour le cuivre, la fraction échangeable est considérable à Hio et faible à Djègbadji tandis que pour le zinc, elle est considérable à Azizakouè et faible à Akouèta mais pas négligeable. La fraction acido-soluble est très élevée alors que la fraction résiduelle (fond géochimique) est faible ou nulle pour les deux sites : le zinc provient des activités anthropiques.

Le code d'évaluation des risques (Risk Assessment Code) a permis de comprendre que le risque de contamination au cuivre est moyen à Hio et celui du zinc est élevé pour les deux sites qui ont été pris en compte.

4. Conclusion

Les sédiments de la lagune côtière sont à risque pour la vie des organismes aquatiques. Les résultats issus de nos analyses ont révélé que la lagune côtière est soumise à une contamination par les éléments traces métalliques pour les eaux en général et par endroit pour les sédiments. La qualité chimique des sédiments présente donc de risque pour les ressources aquatiques de la lagune côtière même si en certains endroits les teneurs des Cu et Zn sont inférieures aux normes dans les sédiments.

L'étude de la répartition des éléments traces métalliques (Cu et Zn) dans les sédiments superficiels de ce plan d'eau montre que les concentrations des ETM étudiés varient selon les sites d'échantillonnage, ceci peut être la preuve de l'existence de sources localisées de contamination. Les extractions séquentielles réalisées pour l'étude de la spéciation du Zn montrent que la fraction acido-

soluble est très élevée alors que la fraction résiduelle est faible ou nulle, ce qui suppose une contamination d'origine anthropique.

5. Bibliographie

- [1] Brambati A., Carbognin L., Quaia T., Teatini P., Tosi L. The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence. *Int. J. Geosci.*, (2003) 26(3), 264-268.
- [2] Bloundi M.K., 2005. Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental): Impacts des facteurs anthropiques. Thèse de doctorat, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre en cotutelle avec l'Université Mohamed V- Agdal, 238p.
- [3] Ayah M., Bawa L. M., Djaneye-Boundjou G., Doni S.K., Nambo P. Spéciation du cadmium, du chrome, du cuivre et du plomb dans les sédiments des déchets de phosphate de Kpémé (Sud-Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, (2012) 6(1), 479-492.
- [4] Briton Bi G.H., Yao B., Ado G. Evaluation of Abidjan lagoon pollution *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, (2006) 10(3), 175-1 81.
- [5] Boillot C. Evaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques : Contribution à l'amélioration de la phase « caractérisation des effets » Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, (2008) 298p + annexes.
- [6] Daniel, K.K., Bernard, Y.O., Ladji, M.. Contamination Des Sédiments D'une Lagune Tropicale Urbaine Par Les Elements Traces Metalliques (As, Cd, Cr, Pb, Zn) : Cas Des Baies Lagunaires De La Ville D'abidjan (Côte D'Ivoire), *Int. J. Pure App. Biosci*, (2016) 4(6), 204-217.
- [7] Bouras S., Maatoug M., Hellal B. et Ayad N. Quantification de la pollution des sols par le plomb et le zinc émis par le trafic routier (cas de la ville de Sidi Bel Abbès, Algérie occidentale). *Les techniques de laboratoire* (2010), 5(20), 11-17.
- [8] Ayah M., Grybos M., Tampo L., Bawa L.M., Bril H., Djaneye-Boundjou G. Qualité et pollution des eaux d'un hydrosystème littoral tropical : cas du système lagunaire de Lomé, Togo. *European Scientific Journal*, (2015) 11, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431.
- [9] Fahssi A. et Chafi A. Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et les organismes aquatiques du littoral de Sadia (maroc Oriental). *European Scientific Journal*, (2015) 11, No.21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- [10] Devallois V., 2009. Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydrosystèmes continentaux, Thèse de doctorat, Académie d'Aix-Marseille, Université de Provence, 304p.
- [11] Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer K. Bassin Rhône Méditerranée-corse. Guide technique n°7, Pollution toxique et écotoxicologie : notion de base. Lyon, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, (2002) 82p.
- [12] Lakhili F., Benabdelhadi M., Bouderkha N., Lahrach H., Lahrach A. Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *European Scientific Journal*, (2015)11, No.11 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- [13] Alloway B.J. The origins of heavy metal in soils, in: Alloway, B.J. (ed), *Heavy metals in soils*. Blackie, Glasgow, (1990) 29-39.
- [14] McBride M. *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press, Inc., New York, (1994) 406p.
- [15] Ferreira D., 2009. Caractérisation de la biodisponibilité du cuivre dans les écosystèmes aquatiques par échantillonnage passif, bio-indication, et modélisation. Thèse de l'Université Paul Cezanne. 220p.
- [16] Bourrelrier P.H. et Berthelin J. Contamination des sols par les éléments en traces-Les risques et leur gestion. Académie des Sciences - Techniques et documentation, Paris, (1998) 440p.
- [17] Benson Nsikak U., Winifred U. Anake, Ifedolapo O. Olanrewaju., Analytical Relevance of Trace Metal Speciation in Environmental and Biophysicochemical Systems. *American Journal of Analytical Chemistry*, (2013) 4, 633-641.
- [18] Tessier A. Campbell P.G.C. & Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, (1979), 51(7) 844-851.
- [19] Abdallah A. Chemical speciation and contamination assessment of Pb and V by sequential extraction in surface sediment of Nile Delta, Egypt. *Arabian Journal of Chemistry*, (2012) 51(1) 68-75.
- [20] Perin G., Craboledda L., Lucchese M., Cirillo R., Dotta L., Zanetta M., Oro A. Heavy metal speciation in the sediments of northern Adriatic Sea. A new approach for environmental toxicity determination In: *Heavy Metals in the Environment* (Lakkas T D, ed). CEP Consultants Edinburg. (1985).
- [21] HuaJun H., Huang, Xingzhong Yuana, Guangming Zenga, Huina Zhua, Hui Lia, Zhifeng Liua, Hongwei Jianga, Lijian Leng, Wenkai Bi. Quantitative evaluation of heavy metals pollution hazards in liquefaction residues of sewage sludge. *Bioresource Technology*, August (2011), 6p.
- [22] Débièche T., 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse obtenue à l'U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté Ecole Doctorale Homme, Environnement, Santé. 235p.
- [23] Lawani R.A.N., 2013. Evaluation des éléments traces métalliques et spéciation chimique du cuivre et du zinc dans les eaux et sédiments du lac Nokoué. Mémoire de master en Ecohydrologie. Université d'Abomey-Calavi, 90p.
- [24] Dovonou F., Aina M., Boukari M., Alassane A. Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques : cas du lac Nokoué au Sud Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, (2011) 5(4), 1590-1602.
- [25] Dèdjiho A., 2011. Évaluation de la chaîne trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah. Mémoire de DEA. FAST/UAC, Bénin.
- [26] Beaux J.F. L'environnement repères pratiques. Nathan, ISBN 209.18243-3, (1998) 64-71.
- [27] Traoré A., Soro G., Ahoussi K.E., Bamba B.S., Soro N., Biémi J. Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science* (2014) 10(3), 73-88.
- [28] Dimon F., Dovonou F., Adjahossou N., Chouti W., Mama D., Alassane A., Boukari M. Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim* (2014) 037, 36- 42.
- [29] Onivogui G., Balde S., Bangoura K., Barry M. K. Évaluation des risques de pollution en métaux lourds (Hg, Cd, Pb, Co, Ni, Zn) des eaux et des sédiments de l'estuaire du fleuve Konkouré (Rep. de Guinée). *Afrique SCIENCE*, (2013) 09(3), 36 – 44.