Afrique SCIENCE *13(3) (2017) 193 - 205*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info

Étude de la spéciation chimique du plomb dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo, Sud Bénin

Waris Kéwouyèmi CHOUTI[1,2*], Sylvie AGONZAN[1], Lyde Arsène TOMETIN[2] et Daouda MAMA[1,2]

[1] Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Institut National de L'Eau, 01 BP 526 Cotonou, Bénin
[2] Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Chimie Inorganique et de l'Environnement (LACIE), Faculté des Sciences et Techniques (FAST), 01 BP 526 Cotonou, Bénin

* Correspondance, courriel : *warischouti@yahoo.com*

Résumé

Le présent travail est une étude de la spéciation du plomb dans les sédiments de la lagune de Porto Novo. Les méthodes utilisées sont la spectrophotométrie, la colorimétrie et les extractions séquentielles de Tessier. Les stations échantillonnées révèlent une contamination au plomb. Selon les recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie, la concentration maximale du plomb autorisée dans les sédiments est de 35 mg / kg. Les teneurs totales du plomb dans les sédiments de deux sites sont supérieures à cette norme. Il y a donc contamination des sédiments par le plomb. L'analyse des différentes fractions montre que le plomb est inégalement réparti dans les sédiments avec une grande affinité pour les fractions résiduelles.

Mots-clés : *extractions séquentielles, pollution, métaux, Risk Assessment Code.*

Abstract

Study of the chemical speciation of lead in the sediments of the Porto-Novo lagoon, South Benin

The present work aims to study the speciation of lead in the sediments of the Porto Novo lagoon. The methods used are spectrophotometry, colorimetry and the sequential extraction of Tessier. The results reveal a contamination of lead. The analysis of the various fractions shows that the lead is unequally distributed in the sediments with a high affinity for the residual fractions.

Keywords : *chemical speciation, lead, sediment, lagoon.*

1. Introduction

La croissance démographique sans cesse galopante augmente la production des déchets. Ces déchets issus des activités domestiques et industrielles contiennent parfois des éléments traces métalliques et de la matière organique [1 - 3]. Par le phénomène de ruissellement, ces différents éléments chimiques répandus un peu partout sur le sol finissent par se retrouver dans les plans d'eau en général et dans les lagunes

littorales en particulier. Le complexe lagunaire lac Nokoué - lagune de Porto-Novo, classé site RAMSAR (1018), est le plus important plan d'eau continental du Bénin. En effet, sa production halieutique représente entre 65 et 70 % de la production des eaux continentales du Bénin [4]. La lagune de Porto-Novo est donc un milieu à fortes potentialités économiques pour la région du Sud-Bénin. En effet, la plupart des produits halieutiques tels que les poissons, des crabes et des crevettes consommés par la population proviennent de la lagune de Porto-Novo. De ce faire, elle constitue la source la plus importante de l'alimentation en protéines animales pour les populations. La lagune est confrontée à de fortes pollutions : déversements d'eaux usées, de déchets solides ménagers et des rejets industriels. Les sédiments des sources d'eau constituent des réservoirs ou puits de nombreux polluants chimiques [5]. Ils retiennent des micropolluants tels que les métaux traces, ils donnent une indication de la pollution historique du cours d'eau [6]. C'est pour ces raisons qu'ils ont été étudiés par plusieurs auteurs dans le cadre des recherches sur la qualité des cours d'eau, lagunes et lacs [5, 7, 8]. Les études menées sur la lagune de Porto-Novo ont révélé que les sédiments contiennent en proportions importantes des métaux tels que le mercure Hg, le plomb Pb, le cadmium Cd, le chrome Cr, le fer Fe, le manganèse Mn [9]. Mais ces travaux n'ont pas étudié la répartition de ces métaux dans les différentes fractions des sédiments. Or ces études de spéciation ont été effectuées sur d'autres plans d'eau du Bénin [10 - 12]. En effet, la détermination des quantités globales de polluants est insuffisante pour évaluer les risques de mobilité et de toxicité [13]. De même, il a été clairement démontré, en particulier pour les métaux, que ce sont les formes chimiques, c'est-à-dire la spéciation d'un élément, qui gouvernent ses propriétés toxicologiques, son devenir ainsi que ses modes de transfert dans l'environnement [14, 15]. Ce travail de recherche vise donc à étudier la spéciation du plomb contenu dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo. Il permettra de connaitre la répartition du plomb dans les cinq fractions du sédiment telles que définies par Tessier et *al.,*. Ceci permettrait d'aider à l'évaluation des risques, en détectant la présence ou non de fractions chimiques particulièrement dangereuses pour les organismes aquatiques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

La lagune de Porto-Novo, cadre de notre étude, est située au Sud-Est du Bénin (6°25' N, 2°36 E), elle forme avec le lac Nokoué la plus importante superficie d'eaux saumâtres du Bénin [9]. La lagune de Porto-Novo constitue l'exutoire par lequel les eaux du fleuve Ouémé se jettent dans l'Océan par le chenal de Lagos. Il communique en permanence à l'Ouest avec le Lac Nokoué par l'intermédiaire du canal Totchè ***(Figure 1)***. Elle est caractérisée par deux types d'apports : un apport d'eaux douces par le fleuve Ouémé, qui prend sa source au nord Bénin, par quelques rivières (principalement les rivières Zounvi et Donoukin qui traversent la ville de Porto-Novo) ainsi que quelques sources de la nappe phréatique du plateau et un apport d'eau salée provenant du lac Nokoué voisin, qui communique avec l'océan par le chenal de Cotonou.

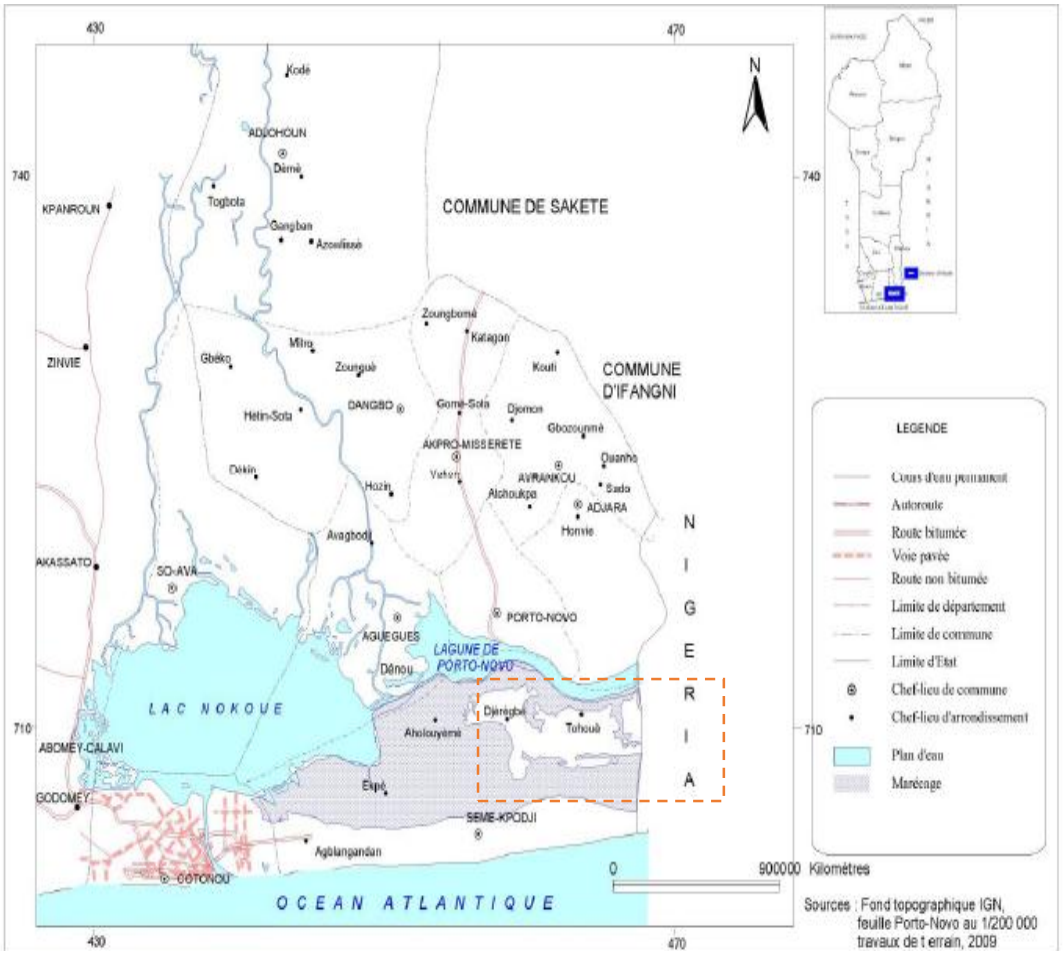

Figure 1 : *Situation du secteur d'étude*

Les sédiments de quatre sites ont été échantillonnés dans le cadre de ce travail. Ces sites sont présentés dans la ***Figure 2*** et le ***Tableau 1***.

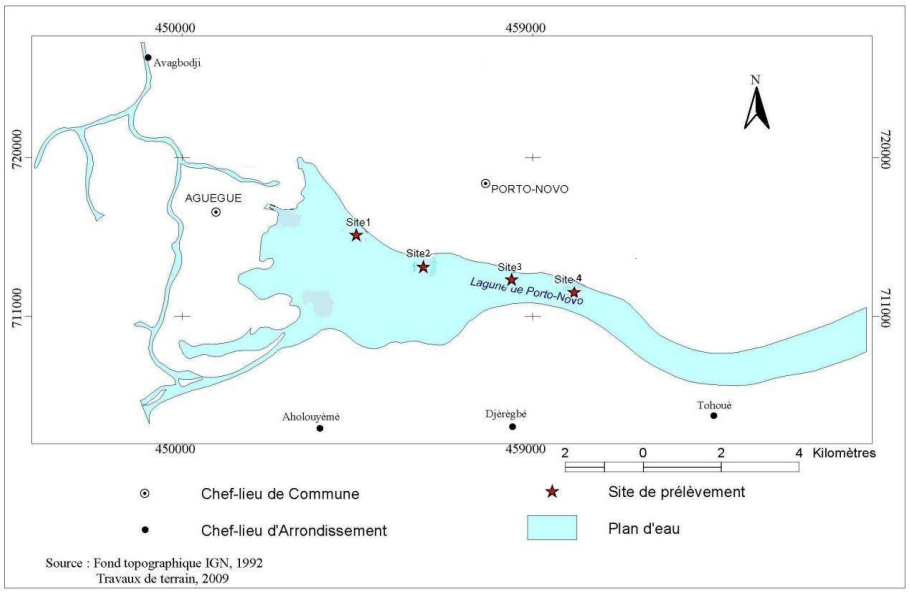

Figure 2 : *Carte de répartition des sites de prélèvement sur la lagune*

Tableau 1 : *Stations de prélèvements*

Nom	Raisons du choix du site	Coordonnées géographiques
Station 1 (L'embarcadère de Djassin)	Il permettra d'apprécier l'influence des transports des biens et des personnes qui partent de ce point à destination du village lacustre des Aguégués	N06°28'28.6'' E002°35'27.7''
Station 2 (Douane Tokpa)	Il permettra de mesurer l'impact des activités exercées autour de cette station	N06°27'59.4'' E002°37'21.4''
Station 3 (IBCG)	IBCG est une industrie de fabrication de savon située non loin de la lagune. C'est donc pour mesurer l'influence d'éventuels rejets de cette industrie sur la lagune.	N06°27'45.1'' E002°38p'25.4''
Station 4 (Hôtel Beaurivage)	C'est un complexe hôtelier situé aux abords de la lagune. C'est donc pour mesurer l'influence d'éventuels rejets du complexe hôtelier sur la lagune.	N06°28'14.4'' E002°36'18.4''

2-2. Le matériel de terrain

Le matériel utilisé pour la collecte des données sur le terrain est entre autre, le Global Positioning System (GPS) qui a permis de prendre les coordonnées géographiques des stations de prélèvement, le multi paramètre de marque WTW 340i a servi aux mesures de la température, de la conductivité et du pH, un oxymètre a servi à la mesure de l'oxygène dissous, des glacières pour la conservation des échantillons, une barque motorisée a assuré le déplacement sur l'eau, des bidons en plastique de 1,5 litre pour les prélèvements d'eau, des sachets noirs pour conserver les sédiments, un préleveur qui a servi à prélever l'eau à divers niveaux ; une benne à servi à prélever les sédiments et un appareil photo numérique pour la prise des photos.

2-2-1. Equipements de laboratoire

- Le matériel et équipements de laboratoire est composé de : une balance électronique, un mortier de laboratoire, des fioles de 50 mL, de 100 mL et des tubes de 25 mL et de 10 mL, des béchers, un agitateur magnétique et un barreau aimanté, des pipettes, un four, un tamis (0,2 mm) pour le tamisage des sédiments, une centrifugeuse, des tubes à centrifuger de 40 mL en polypropylène, un thermomètre gradué jusqu' à 150 °C, un bain- marie ; une plaque chauffante ; un réfrigérateur pour conserver les extrait de sédiment, un spectrophotomètre ; une centrifugeuse et des réactifs.

- Méthodologie adoptée au laboratoire
  Pour les extractions séquentielles des fractions chimiques du plomb, nous avons pesé dans un erlenmeyer de 100 mL, 5 g de sédiments séchés au frais et finement broyés auxquels nous avons appliqué le protocole des extractions séquentielles décrit par le ***Tableau 2***. Après chaque séquence, le résidu est récupéré pour l'étape d'extraction suivante après lavage avec environ 10 mL d'eau distillée. Entre deux étapes d'extraction successives, l'extrait est centrifugé pendant 15 minutes. Le surnageant est ensuite filtré, acidifié par quelques gouttes d'acide nitrique concentré puis complété au volume d'extraction avec de l'eau distillée. Le filtrat obtenu est conservé à 4°C dans les flacons en polyéthylène jusqu'aux analyses par spectrophotomètre d'absorption atomique à l'INRAB (Institut National des Recherches Agricoles du Bénin).

Tableau 2 : *Protocole des extractions séquentielles adapté de* [16] *pour 5,0 g*

Fractions	Réactifs d'extraction	Volume (mL)	Temps (h)
Echangeable	1M $MgCl_2$, pH = 7, 20°C, agitation continue	40	2
Acido-soluble ($CO3^{2-}$)	1M CH_3COONa / CH_3COOH, pH = 5, 20°C, agitation continue	40	24
Réductible (Fe ; Mn)	0,04M NH_2OH, HCl + 25 % CH_3COOH, 95°C agitation intermittente	100	24
Oxydable (M.O.)	30 % H_2O_2, 0,02M HNO_3, pH = 2, 85°C, agitation intermittente, 3,2 M CH_3COONH_4, + 20 % HNO_3	25 15 25	10 2
Résiduelle	40 % HF + 60 % $HClO_4$ (Minéralisation totale)	25	à sec
Teneur totale en Métal	40 % HF + 60 % $HClO_4$ (Minéralisation totale)	50	à sec

3. Résultats

3-1. Paramètres physicochimiques des eaux de la lagune de Porto-Novo

Les résultats consignés dans le ***Tableau 3*** représentent les valeurs des paramètres physicochimiques obtenues.

Tableau 3 : *Valeurs des paramètres physicochimiques des eaux*

Stations / Paramètres	S_1	S_2	S_3	S_4	Moyenne
Température (°C)	26,3	26,2	26 ,1	26 ,1	26,2
pHeau	6,4	6 ,81	6,63	6,58	6,61
Conductivité (µs / cm)	199,2	500	527	146,8	343,25
Oxygène dissous (mgO2 / L)	0,37	0,42	0,36	0,41	0,39
Potentiel redox (mV)	9	- 13	- 6	- 4	- 3,5
Salinité	0	0	0	0	0
TDS (mg / L)	331	527	97	131	271,5
Turbidité en NTU	19	27	20	23	22,25

- *Température*

La température des eaux de la lagune varie de 26,1 à 26,3°C avec une moyenne de 26,2°C. Le minimum est observé au niveau des stations 3 (IBCG) et 4 (Beaurivage) et le maximum à la station 1 (L'embarcadère de Djassin).

- Potentiel hydrogène de l'eau (pH_{eau})

Le ***Tableau 3*** montre les valeurs du pH_{eau} de la lagune de Porto-Novo. Ces pH_{eau} varient de 6,4 à 6,81 avec une moyenne de 6,61. La plus forte valeur s'observe au niveau de la station 2 (Douane Tokpa) et la plus faible est observée au niveau de la station 1 (L'embarcadère de Djassin).

- Conductivité

La conductivité de la lagune varie de 146,8 à 527 µs / cm avec une moyenne de 343,25 µs / cm. Le minimum est observé à la station 4 (Beaurivage) et le maximum à la station 3 (IBCG).

- Oxygène dissous

L'oxygène dissous à des teneurs variant de 0,36 à 0,42 mgO_2 / L au niveau de la lagune avec une moyenne

de 0,39 mgO_2 / L. La plus grande valeur est obtenue au niveau de la station 2 (Douane Tokpa) et la plus faible valeur est obtenue au niveau de la station 3 (IBCG).

- Potentiel redox de l'eau (mV)

Le potentiel redox à des teneurs variant de -13 à 9 mgO_2 / L au niveau de la lagune avec une moyenne de - 3,5 mgO_2 / L. La plus grande valeur est obtenue au niveau de la station 1 (L'embarcadère de Djassin) et la plus faible valeur est obtenue au niveau de la station 2 (Douane Tokpa).

- Salinité de l'eau

La teneur de salinité est négligeable au niveau de toutes les stations de prélèvement.

- Turbidité en NTU de l'eau

La turbidité à des teneurs variant de 19 à 27 au niveau de la lagune avec une moyenne de 22,25. La plus grande valeur est obtenue au niveau de la station 2 (Douane Tokpa) et la plus faible valeur est obtenue au niveau de la station 1 (L'embarcadère de Djassin).

- TDS de l'eau (mg / L)

Le TDS à des teneurs variant de 97 à 527 mg / L au niveau de la lagune avec une moyenne de 271,5 mg / L. La plus grande valeur est obtenue au niveau de la station 2 (Douane Tokpa) et la plus faible valeur est obtenue au niveau de la station 3 (IBCG).

3-2. Teneurs en plomb dans les eaux

La ***Figure 3*** montre que les stations de l'embarcadère de Djassin et de Douane Tokpa sont celles qui présentent une forte teneur en plomb.

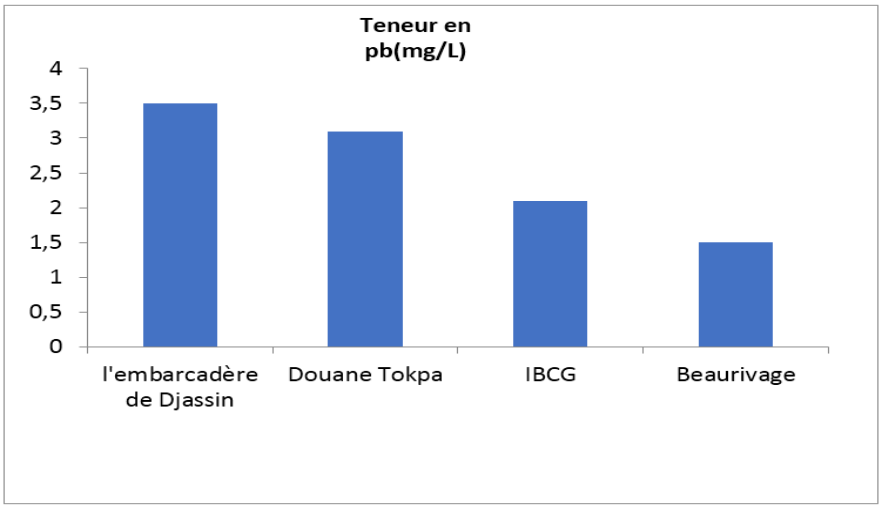

Figure 3 : *Teneur du plomb dans les eaux*

3-3. Teneur en plomb dans les sédiments

Selon les recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie, la concentration maximale du plomb autorisée dans les sédiments est de 35 mg / kg. Les teneurs totales du plomb dans les sédiments aux sites 1 et 4 sont supérieures à 35mg / kg ***(Tableau 4)***. Il y a donc contamination des sédiments par le plomb.

Tableau 4 : *Teneurs totales du plomb dans les sédiments*

Stations	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Teneurs en mg / kg	55	24,8	23	40

3-4. Résultats des extractions séquentielles en % de masse d'extraits de plomb

Il ressort qu'au niveau de la station I (embarcadère de Djassin) le plomb est majoritairement lié à la fraction oxydable ***(Figure 4)***.

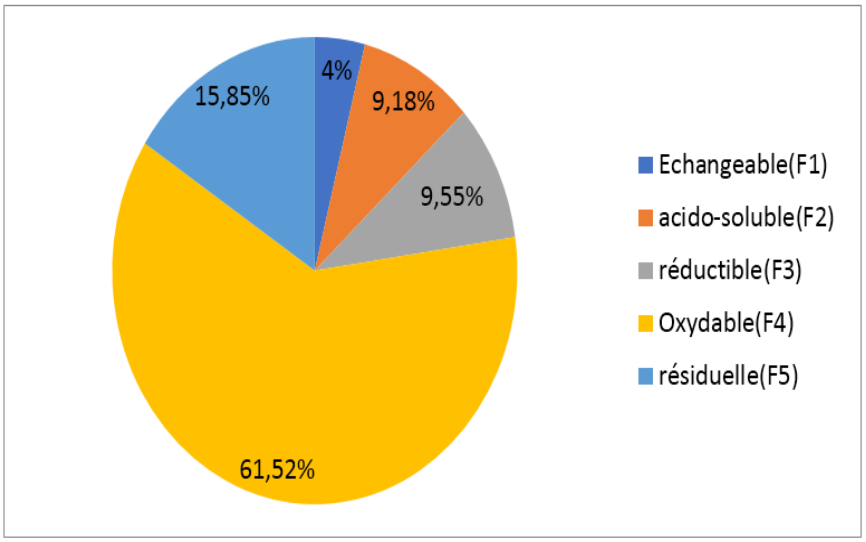

Figure 4 : *Pourcentage des différentes fractions à la station 1*

Au niveau de la station 2 (Douane Tokpa), le plomb est plus lié aux fractions résiduelle, oxydable et réductible qu'aux fractions échangeable et acido-soluble ***(Figure 5)***.

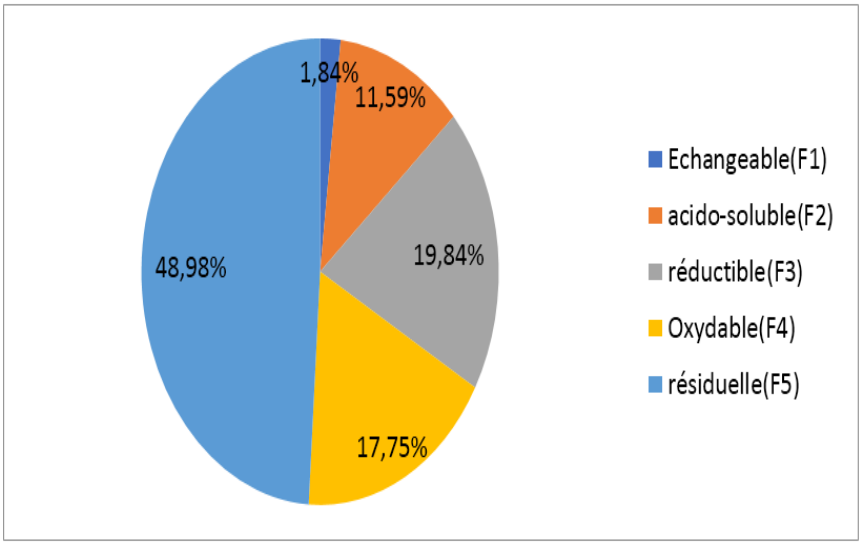

Figure 5 : *Pourcentage des différentes fractions à la station 2*

Quant à la station 3 (IBCG), le plomb est plus lié aux fractions résiduelle et réductible ***(Figure 6)***.

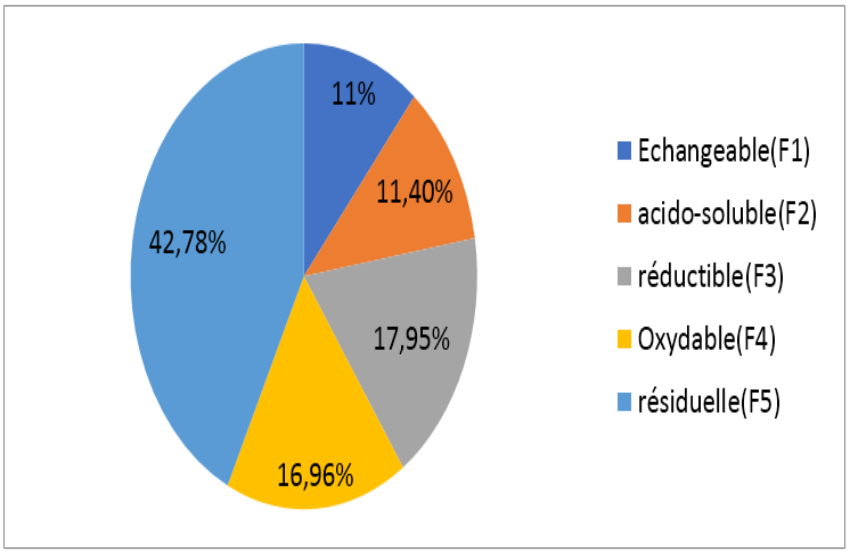

Figure 6 : *Pourcentage des différentes fractions à la station 3*

Enfin la station 4 (Beaurivage) montre que le plomb est plus lié aux fractions résiduelle et réductible ***(Figure 7)***.

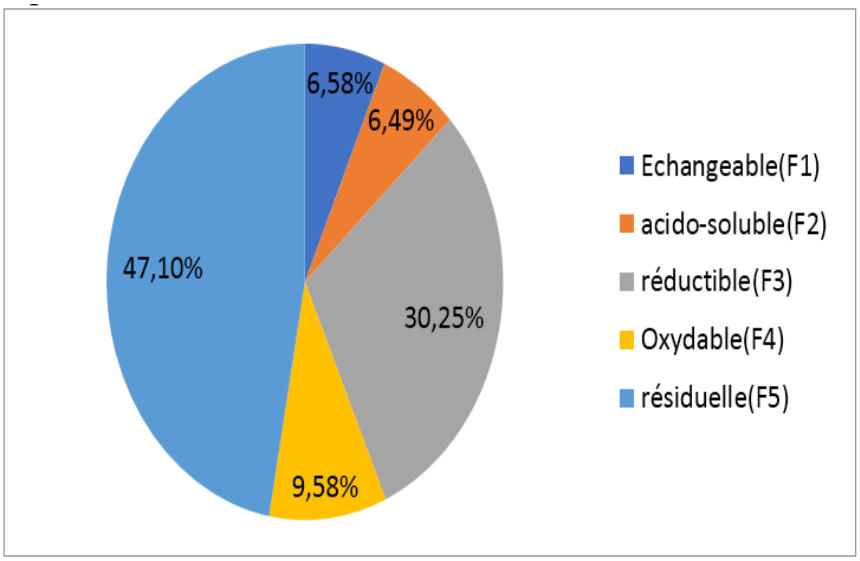

Figure 7 : *Pourcentage des différentes fractions à la station 4*

- Risk Assessment Code (RAC)

Le Risk Assessment Code permet d'établir une classification du niveau de risque de toxicité des sites d'échantillonnage [17]. Le calcul du RAC s'effectue par sommation des fractions échangeables et carbonatées (acido-soluble). La valeur ainsi obtenue au niveau de chaque station est comparée à la classification du code d'évaluation des risques [18, 19].

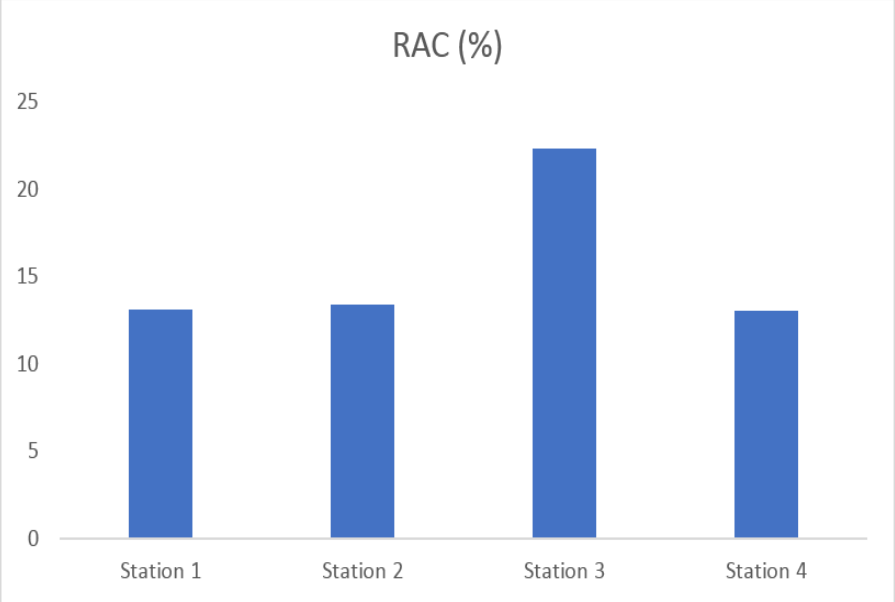

Figure 8 : *Risk Assessment Code (RAC) des stations étudiées*

La ***Figure 8*** montre que la station 3 (IBCG) est celle qui présente le niveau de risque de toxicité le plus élevé. Ceci pourrait s'expliquer par la présence de l'industrie qui déverse ses déchets dans la lagune. Le RAC est compris entre 13,07 et 22,04 : les sédiments de la lagune présentent un risque moyen.

4. Discussion

Les valeurs des températures enregistrées sont dans le même ordre de grandeur que celles obtenues sur l'aire marine de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah (Bénin) [20]. Cette gamme de température ne pose pas de problème ; les températures comprises entre 24 à 35°C sont favorables à une bonne croissance des espèces aquatiques couramment élevées [21]. Quant au pH, les valeurs obtenues au niveau des différents points d'échantillonnage sont situées dans la gamme de 6,5 à 8,5 [22] et sont compatibles aux résultats (6,5 à 8,2) relevés sur le complexe lagunaire lac Nokoué - lagune de Porto-Novo [23] et sur le fleuve Niger [24]. Au regard de ce constat, l'ensemble des valeurs obtenues pour le pH est acceptable. La salinité est négligeable au niveau de toutes les stations de prélèvement. Cela signifie que les eaux de la lagune ne sont pas salées à cette période d'étude qui correspond à la période de hautes eaux, ce qui confirme des travaux antérieurs [7] à la même période, et contraires à la salinité de ces eaux en période de basses eaux. La salinité des eaux de la lagune est fonction de la période de l'année. Quant aux valeurs de conductivité, elles sont très élevées au niveau de toutes les stations et donnent la preuve que les eaux de la lagune sont très chargées en matières minérales. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues sur les eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire) [25]. L'oxygène dissous dans les eaux de la lagune a une valeur relativement faible (0,36 à 0,42). L'oxygène dissous est au carrefour de bons nombres de phénomènes [26]. En effet, il intervient dans la respiration des organismes aquatiques, l'oxydation et la dégradation des polluants, l'activité photosynthétique de la flore et les échanges avec l'atmosphère. C'est ce qui explique la relation étroite qui existe entre eux. La faible concentration en oxygène dissous serait liée à la forte teneur en matière organique totale car les matières organiques ont besoin de l'oxygène du milieu pour se dégrader. Les valeurs du potentiel redox sont toutes négatives sur toutes les stations sauf la station 1 (l'Embarcardère de Djassin). Le milieu est donc réducteur. Par ailleurs, les valeurs de turbidité observées au niveau de toutes

les stations sont supérieures à 5 NTU (norme OMS) ; les eaux de la lagune sont donc troubles. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus sur le lac Nokoué [10]. Les valeurs élevées de la turbidité s'expliquent par les apports des eaux de ruissellement, des activités anthropiques autour de la lagune. Les résultats élevés obtenus pour la matière organique totale des sédiments de cette lagune permettent de dire que le fond de la lagune est riche en matière organique. Ceci confirme la faible quantité d'oxygène trouvé précédemment. Cette pollution organique serait liée à la présence de jacinthes d'eau et des plantes aquatiques qui l'encombrent et qui, avec le temps, meurent et se déposent au fond de la lagune. Quant aux valeurs de pH_{KCl} des sédiments obtenus, elles sont comprises entre 6,9 et 7,6 ; ceci implique une faible basicité des sédiments de la lagune. La valeur moyenne du pH_{KCl} des sédiments est de 7,25. Ce pH des sédiments confirme les teneurs du plomb supérieures à la norme trouvées ci-dessus. Car dans les sols et sédiments, le plomb s'accumule dans les horizons superficiels lorsque le pH est supérieur à 5 [27]. Les valeurs des concentrations du plomb dans les eaux échantillonnées obtenues sont comprises entre 1,5 et 3,5 mg / L. Toutes ces valeurs dépassent les valeurs seuils (0,001 à 0,007 mg / L) des recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement [28]. Lorsqu'on compare ces valeurs à celles obtenues dans la plupart des rivières de l'Inde [29], on constate que les valeurs en teneur de plomb obtenues au niveau de la lagune de Porto-Novo sont très élevées.

Par exemple, la concentration moyenne en plomb dans la rivière de Brahmani en Inde est 19,13 µg / L. Cette valeur est largement inférieure à celles observées au niveau de la lagune de Porto-Novo alors que l'Inde est plus peuplée, plus industrialisée donc l'impact des activités anthropiques devraient être plus importantes. Ce polluant métallique constitue une menace pour la vie des organismes aquatiques et la santé des populations. Cette concentration élevée du plomb dans la lagune résulterait de la mauvaise gestion des déchets liquides et solides. Ces résultats sont similaires à ceux relevés dans des travaux antérieurs sur l'étude de la pollution chimique de la lagune de Porto-Novo montrant que les eaux contiennent du plomb à une teneur supérieure à la norme canadienne. De même, les études réalisées sur la pollution des eaux du chenal de Cotonou par le plomb, ont montré que la teneur en plomb dans les eaux du lac Nokoué est également supérieure à la norme exigée [30]. Selon les recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie, la concentration maximale autorisée du plomb dans les sédiments est de 35 mg / kg. Or les résultats de notre étude ont révélé que le dosage du plomb au niveau des sédiments indique des valeurs inférieures à la norme sur les stations 2 et 3. Ces valeurs sont semblables à celles obtenues sur les sédiments du lac Ahémé [31]. Par contre, elles sont largement supérieures à celles obtenues sur les sédiments de l'estuaire du fleuve Konkouré (Rep. de Guinée) [32].

Les valeurs du plomb dans les sédiments sur les stations 1 et 4 sont supérieures à la norme. On en déduit que les sédiments de ces stations sont pollués par le plomb. La valeur moyenne du plomb dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo est 35.7 mg / kg, largement inférieure à celle obtenue sur les sédiments du lac Dang au Cameroun [33], et supérieure à celle obtenue sur la rivière Euphrates en Iraq [34]. En ce qui concerne les résultats des différentes fractions d'extraction du plomb, on constate que pour toutes les stations de prélèvement en dehors de la station 1 (l'Embarcardère de Djassin), le classement dans l'ordre décroissant des pourcentages des fractions se révèle de la manière suivante : fraction résiduelle, réductible, oxydable, acido-soluble et échangeable. Ceci est en relation avec des travaux réalisés au Canada [16]. Selon ces études sur la spéciation du plomb dans les sédiments, la répartition du plomb entre les fractions de l'extraction sur les sédiments s'est révélée selon l'ordre suivant : résiduel > oxyde de Fe et de Mn > organique > carbonate > échangeable. Les activités anthropiques menées au niveau des sites concernés n'influencent donc pas le processus de distribution du plomb selon les différentes fractions. Mais au niveau de la station 1 (l'Embarcardère de Djassin), l'ordre n'est pas respecté comme cela n'a pas aussi respecté au niveau des sédiments superficiels du ruisseau Makupa Mombasa au Kenya [35]. Alors le processus de distribution du plomb dans les différentes fractions au niveau de l'Embarcadère de Djassin est influencé par les activités

exercées autour de l'embarcadère. Les éléments liés aux fractions échangeables et acido-solubles sont plus facilement labiles face aux changements de conditions physico-chimiques de l'environnement et donc plus mobiles, biodisponibles et potentiellement plus toxiques que ceux liés aux phases réductibles et oxydables [36]. Le plomb contenu dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo présente donc moins de risque. Selon les résultats, le plomb a plus d'affinité pour les fractions résiduelle, réductible et oxydable que pour les fractions acido-soluble et échangeable. Ces résultats ne sont pas similaires à ceux obtenus sur la spéciation du plomb sur le barrage d'Okpara [11]. Mais ces résultats sont proches de ceux relevés lors des travaux sur le chenal de Cotonou et du lac Nokoué : le plomb est plus lié aux fractions organique et résiduelle dans les sédiments [37]. C'est au niveau la station 3 (l'IBCG) que la fraction échangeable est plus élevée. Ce taux élevé serait dû à la proximité de l'usine. La fraction échangeable étant la fraction la plus toxique envers l'environnement, les sédiments présentent beaucoup plus de risque au niveau de l'usine de l'IBCG.

5. Conclusion

La lagune de Porto-Novo représente une potentialité économique à mettre en valeur. La sauvegarde de ses caractéristiques écologiques et biologiques contribuera, sans aucun doute, à soutenir l'économie Béninoise et au maintien de la bonne santé de la population. Mais, malheureusement, ce plan d'eau est à une phase de pollution par le plomb. En effet, cette étude a-t-elle confirmé les travaux antérieurs qui ont montré que la lagune est polluée par le plomb. Il s'agit d'un véritable problème dont les populations et les autorités ne semblent pas être encore tout à fait conscientes. Il est temps que des dispositions soient prises aussi bien au niveau des autorités compétentes qu'au niveau des populations pour remédier à cette situation déplorable. Sur trois des quatre sites étudiés, le plomb se répartit, entre les fractions, de façon décroissante comme suit : résiduelle, réductible, oxydable, acido-soluble et échangeable. Selon le calcul du Risq Assesment Code (RAC), les sédiments de la lagune présent un risque moyen de toxicité.

Références

[1] - R. ADJIA, W. M. L FEZEU, J. B. TCHATCHUENG, S. SORHO, G. ECHEVARRIA, M. B. NGASSOUM, Long term effect of municipal solid waste amendment on soil heavy metal content of sites used for periurban agriculture in Ngaoundere, Cameroon. *Afr. J. Environ. SciTechn.*, 2 (12) (2008) 412 - 421

[2] - S. O. ADEFEMI and E. E. AWOKUNMI, The impact of municipal solid waste disposal in Ado-Ekiti metropolis, Ekiti-State, Nigeria. *Afr. J. Environ. Sci. and Tech*, 3 (8) (2009) 186 - 189

[3] - E. E. AWOKUNMI, S. S. ASAOLU1 and K. O. IPINMOROTI, Effect of leaching on heavy metals concentration of soil in some dumpsites. *Afr. J. of Environ. Sci. Techn.*, 4 (8) (2010) 495 - 499

[4] - DIRECTION DES PÊCHES. Rapport Annuel d'activité Ministère de l'Agriculture, Elevage et Pêche, Bénin (2000)

[5] - K. YAO, M. SORO, T. ALBERT, Y. BOKRA, Assessment of Sediments Contamination by Heavy Metals in Tropical Lagoon Urban Area (Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 34, N°2 (2009) 280 - 289

[6] - C. BOUCHESEICHE, E. CREMILLE, T. PELTE, K. POJER, Guide technique n°7, pollution toxique et écotoxicologie : notion de base. Lyon, Agence de l'eau Rhône - Méditerranée - Corse, (2002)

[7] - CHOUTI WARIS, MAMA DAOUDA et ALAPINI FRANÇOIS, Etude des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4 (4) (2010) 1017 - 1029

[8] - I. YACOUB, K. AKA, B. DOGUI, A. ATOINETTE, B. JEAN, Contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 18 (2009) 1009 - 1018

[9] - W. CHOUTI, Etude de la pollution chimique d'une lagune tropicale (eaux, sédiments, poissons) : Cas de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin), Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey Calavi, (2011) 100 p + Annexes.

[10] - F. M. ADANDEDJI, Spéciation chimique du mercure dans les sédiments du lac Nokoué. Mémoire de master professionnel en Hydrologie. Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey Calavi, FAST / UAC, (2012) 63 p.

[11] - A. ADJAGODO, Spéciation du plomb et du cuivre dans les sédiments de la retenue d'eau de l'Okpara. Mémoire de master professionnel en Hydrologie. Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey Calavi, FAST / UAC, (2012) 85 p.

[12] - A. N. LAWANI RÉBÉCCA, Évaluation des éléments traces métalliques et spéciation chimique du cuivre et du zinc dans les eaux et sédiments du lac Nokoué. Mémoire de Master professionnel Ecohydrologie. Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey Calavi, FAST / UAC, Bénin, (2013) 74 p.

[13] - A. O. IBHADON, P. WRIGHT and R. DANIELS, Trace Metal Speciation and Contamination in an Intertidal Estuary. *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 6, N°8 (2004) 679 - 683

[14] - D. BAIZE, Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Éditions, Paris, (1997) 410 p.

[15] - Sanz-Medel A. Toxic Trace Metal Speciation : Impor- tance and Tools for Environmental and Biological Analy- sis. Pure and Applied Chemistry, Vol. 70, N°12 (1998) 2281 - 2285

[16] - A. TESSIER, P. G. C. CAMPBELL et M. BISSON, Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51 (7) (1979) 844 - 851

[17] - G. PERIN, L. CRABOLEDDA, M. LUCCHESE, R. CIRILLO, L. DOTTA, M. L. ZANETTA, A. A. ORO, Heavy metal speciation in the sediments of northern Adriatic sea. A new approach for environmental toxicity determination. In : Lakkas TD Editor. Heavy Metals in the Environment, Vol. 2. CEP Consultants, Edinburgh, (1985)

[18] - H. HUAJUN, HUANGA, XINGZHONG YUANA, GUANGMING ZENGA, HUINA ZHUA, HUI LIA, ZHIFENG LIUA, HONGWEI JIANGA, LIJIAN LENGA, WENKAI BI, Quantitative evaluation of heavy metals pollution hazards in liquefaction residues of sewage sludge. *Bioresource Technology*, August (2011) 6 p.

[19] - A. ABDALLAH, Chemical speciation and contamination assessment of Pb and V by sequential extraction in surface sediment of Nile Delta, *Egypt. Arabian Journal of Chemistry*, June (2012) 8 p.

[20] - C. A. DEDJIHO, Évaluation de la chaine 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, (2011)

[21] - V. POUOMOGNE, Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment produire du poisson à coût modéré. Presse Universitaire d'Afrique, Yaoundé, (1998) 263 p.

[22] - J. F. BEAUX, L'environnement repères pratiques. Nathan, ISBN 209-18243-3, (1998) 64 - 71

[23] - P. A. LALEYE, Écologie comparée de deux espèces de Chrisichthys, poissons siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Liège (Belgique), (2003) 152 p. + Annexes.

[24] - B. ALHOU, J.-C. MICA, A. DODO, A. AWAISS, Etude de la qualité physico-chimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey, *Article publié in Iternational Jornal of Biological and Chemical Sciences*, 3 (2) (2009) 240 - 254 p.

[25] - S. G. EBLIN, A. P. SOMBO, G. SORO, N. AKA, O. KAMBIRÉ, N. SORO, Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 75 (2014) 6259 - 6271

[26] - M. LAMIZANA-DIALLO, S. KENFACH, J. MILLOGO-RASOLODIMBY, Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso - Le cas de Massili dans le Kadiogo, Sud Sciences et Tehnologies, N°16 (2008) 23 - 28

[27] - D. COSSA, Les éléments traces en milieu marin. Assurance de qualité des mesures, rôle et comportement géochimique et contamination. Intechmer 2005-2006, (1992) 89 p.

[28] - CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT, Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique, dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Winnipeg, le Conseil, (1999)

[29] - R. REZA, G. SINGH, Assessment of heavy metal contamination and its indexing approach for river water, *Int. J. Environ. Sci. Tech.,* 7 (4) (2010) 785 - 792 p.

[30] - E. W. VISSIN, L. O. SINTONDJI et S. C. HOUSSOU, Etude de la pollution des eaux et de la contamination du Tilapia guineensis du canal de Cotonou par le plomb. RGLL, N°08 Déc. (2010)

[31] - FIDÈLE DIMON, FLAVIEN DOVONOU, NAÉSSÉ ADJAHOSSOU, WARIS CHOUTI, DAOUDA MAMA, ABDOUKARIM ALASSANE, MOUSSA BOUKARI, 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.*, 037 (2014) 36 - 42

[32] - G. ONIVOGUI, S. BALDE, K. BANGOURA, M. K. BARRY, 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,* 09 (3) (2013) 36 - 44

[33] - B. OUMAR, N. L. EKENGELE, O. A. D. BALLA, Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique SCIENCE*, 10 (2) (2014) 184 - 198

[34] - A. M. S. EMAD, A. Z. TAHSEEN, A. S. AL-RAWI, Assessment of Heavy Metals Pollution in the Sediments of Euphrates River, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 4 (2012) 1009 - 1023

[35] - K. M. PHILIP, A. N. GACHANJA, T. M. MUNYAO, Speciation of Trace Metals Pb, Zn, Cu and Cd in Surficial Sediment from Makupa Creek Mombasa, Coastal Kenya. *Open Access Library Journal*, (2016)

[36] - Q. MA et N. RAO, Chemical fractionation of cadmium, Nickel, and Zinc in contaminated soils. *Journal of Environnement*, (1997) 26 p.

[37] - Y. A. K. ALASSANE, Etude de la distribution des résidus de plomb dans les écosystèmes aquatiques du chenal de Cotonou et du lac Nokoué. Thèse de doctorat, Université d'Abomey Calavi, (2010) 196 p.