

Contamination à l'arsenic des eaux et des sédiments des zones continentale et maritime de la partie ouest de la Lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)

[Arsenic contamination of waters and sediments in the continental and maritime areas in the western part of the Ebrie Lagoon (Côte d'Ivoire)]

Safiatou COULIBALY¹, Mariame COULIBALY², and Boua Célestin ATSE¹

¹Centre de Recherches Océanologiques, BP V 18, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Ecole Normale Supérieure, 08 BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Ebrié Lagoon is the most important lagoon system in Côte d'Ivoire. This ecosystem is today facing enormous risks of pollution. These are characterized by the water quality deterioration and a strong disturbance by metallic pollutants. In this study, the level of arsenic contamination of water and sediments in the western part of the Ebrié Lagoon was determined on a year. Water and sediment samples are taken monthly from February 2014 to January 2015 in continental and marine areas. Arsenic is analyzed by atomic absorption spectrometry at the wavelength 538 nm according to the EPA method, 2007. The seasonal variations in arsenic showed a significant difference between the continental and maritime areas. The results show that the water and sediments of the continental and maritime areas in the western part of the Ebrié Lagoon are contaminated by arsenic. The high values of water/sediment coefficients suggest that the sediments of these areas constitute an arsenic reservoir for the water column. The physico-chemical parameters studied have a strong correlation with arsenic. This arsenic pollution could disrupt the biological balance of the environment and adversely affect biological integrity and human health.

KEYWORDS: Arsenic, Water, Sediments, Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire.

RESUME: La lagune Ebrié constitue le système lagunaire le plus important de la Côte d'Ivoire. Cet écosystème est aujourd'hui confronté à d'énormes risques de pollution. Ceux-ci se caractérisent par la détérioration de la qualité des eaux et une forte perturbation par des polluants métalliques. Dans cette étude, le niveau de la contamination à l'arsenic des eaux et des sédiments de la partie ouest de la lagune Ebrié a été déterminé au travers d'une campagne annuelle. Les échantillons d'eau et de sédiments sont prélevés mensuellement de février 2014 à janvier 2015 dans les zones continentale et maritime. L'arsenic est dosé par spectrométrie d'absorption atomique à la longueur d'onde de 538 nm selon la méthode de EPA, 2007. Les variations saisonnières de l'arsenic ont montré une différence significative entre les saisons au niveau des zones continentale et maritime. Les résultats montrent que l'eau et les sédiments des zones continentale et maritime de la partie ouest de la lagune Ebrié sont contaminés par l'arsenic. Les valeurs élevées des coefficients eau-sédiment suggèrent que les sédiments de ces zones constituent un réservoir d'arsenic pour la colonne d'eau. Les paramètres physico-chimiques étudiés présentent une forte corrélation avec l'arsenic. Cette pollution à l'arsenic pourrait perturber l'équilibre biologique du milieu et porter atteinte à l'intégrité biologique et à la santé humaine.

MOTS-CLEFS: Arsenic, Eau, Sédiments, Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les lagunes sont des écosystèmes caractérisés par une variété de structures physiques et biologiques [1]. Ces zones sont très importantes sur le plan économique, écologique et de la recherche scientifique. Cependant, la croissance rapide de la population et le développement incontrôlé des industries dans de nombreuses régions du monde compromettent l'intégrité écologique de ces milieux [2]. Cette démographie galopante entraîne l'augmentation des émissions de polluants tels que les métaux lourds dans les cours d'eau [3]. La pollution d'origine métallique constitue un problème d'actualité qui préoccupe toutes les nations soucieuses de maintenir leur patrimoine côtier à un haut degré de qualité [4].

La lagune Ebrié qui constitue le système lagunaire le plus important de la Côte d'Ivoire, a vu la qualité de ses eaux et sédiments se dégrader avec le développement des industries et la croissance des activités agricoles [5]. La détérioration de ses eaux est devenue un problème complexe, aussi bien aux conditions écologiques, qu'aux développements socioéconomiques [6]. En effet, les différents travaux de recherche réalisés sur la zone d'Abidjan ont montré que la lagune Ebrié est fortement perturbée par les polluants métalliques [5], [7]. Cependant, très peu d'études ont été effectuées sur la zone occidentale de ladite lagune. De plus, depuis octobre 1999, une importante mortalité de poissons notamment les plies, les raies et les mâchoirons d'élevage et surtout sauvages surviennent généralement en début des grandes saisons pluvieuses dans la zone occidentale de cette lagune. La mortalité a atteint un pic au mois de mai 2013 avec la perte de plusieurs centaines de tonnes de poissons. Cette situation a occasionné la fermeture de cette zone à la pratique de toutes activités de pêche pendant 18 mois suite à un communiqué du Ministre des Ressources Animales et Halieutiques ivoirien au Conseil du Gouvernement du 25 juillet 2013 [8].

Il apparaît donc important de porter une attention particulière sur l'état sanitaire de cette partie de la lagune Ebrié. Le suivi et le contrôle de la qualité de l'eau ainsi que la gestion de la pollution de cette lagune passent par l'évaluation du niveau de contamination par certains métaux lourds classés toxiques par l'OMS tel que l'arsenic. En effet, compte tenue des exploitations offshore et des activités très intenses de pêches avec des engins motorisés dans la partie ouest de la lagune Ebrié, cette zone pourrait être un potentiel réservoir d'arsenic. Ce métalloïde à l'instar des métaux lourds toxiques est capable de pénétrer dans l'organisme par sorption cutanée, par inhalation, et par ingestion de nourriture contaminée [9], [10]. Les concentrations en arsenic inorganique dangereux qui sont présentes dans les eaux de surface augmentent les risques de contamination des poissons et donc pour l'homme. Par conséquent, la contamination des milieux par l'arsenic est un problème de santé publique à l'échelle mondiale [11]. Cette étude vise essentiellement à déterminer le niveau de la contamination à l'arsenic des eaux et des sédiments de la partie ouest de la lagune Ebrié.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ECHANTILLONNAGE ET MESURE DES PARAMÈTRES ÉTUDIÉS

Les prélèvements des échantillons d'eau et de sédiments ont été effectués mensuellement de février 2014 à janvier 2015 au niveau de onze (11) stations dans les zones maritime et continentale de la lagune Ebrié (05°16'N-04°15 – 4°30 W) (Figure 1). Les stations ont été sélectionnées en tenant compte de l'importance des activités anthropiques et des mortalités massives des poissons. Ainsi, les stations de Layo, Songon, Papoga, Mopoyem, Gboubo et Abraco constituent la zone continentale (ZC) et les stations d'Ahua, Bapo, N'djem, Koko et Taboth la zone maritime (ZM). Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide de bouteilles en polyéthylène d'une capacité de un litre puis filtrée sous vide sur une membrane filtrante. L'eau a été ensuite acidifiée à $\text{pH} < 2$ en ajoutant 0,5 ml d'acide chlorhydrique. Les sédiments de surface ont été prélevés à l'aide d'une benne Van Veen avec une ouverture de 0,05m². Les échantillons sont conservés dans les bouteilles en polyéthylènes et transportés au laboratoire. Au cours des campagnes d'échantillonnage, la température, le pH, la salinité et l'oxygène dissous ont été mesurés in situ à l'aide d'un multi-paramètre (HANNA HI 9829). La transparence a été déterminée selon la méthode de Secchi. Au laboratoire, les échantillons ont été analysés pour la détermination de la concentration des matières en suspensions selon la méthode décrite par [12]. De même, le dosage de l'arsenic (As) dans l'eau et dans les sédiments collectés a été effectué par spectrométrie d'absorption atomique à la longueur d'onde de 538 nm selon [13].

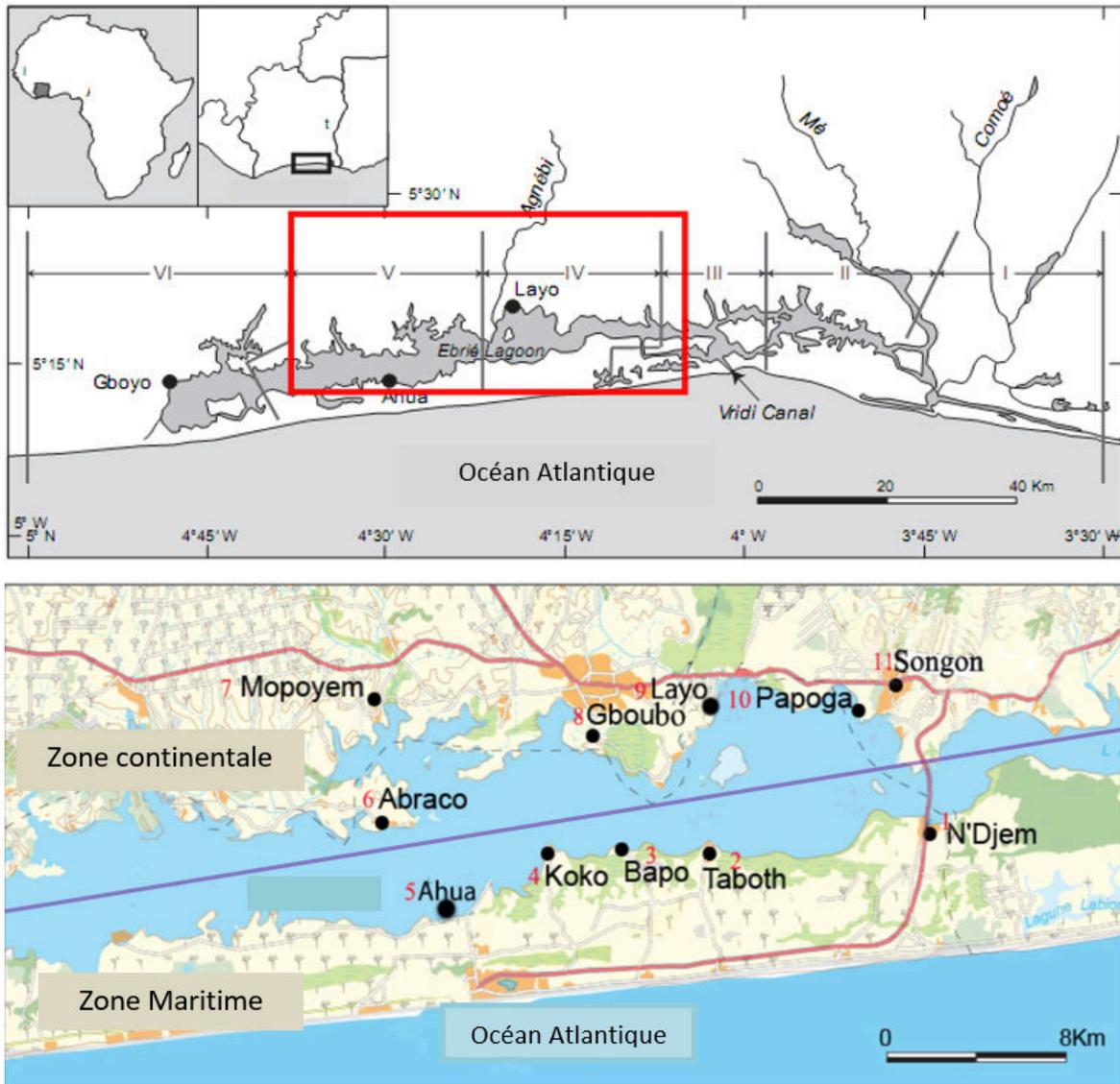


Fig. 1. Zone d'étude (zone continentale = Abraco, Mopoyem, Gboubo, Layo, Papoga et Songon ; zone maritime = N'djem, Taboth, Bapo, Koko et Ahua)

2.2 ANALYSE STATISTIQUE

L'ANOVA a été utilisée pour évaluer l'effet de la saison sur les paramètres mesurés ainsi que la différence entre les zones continentale et maritime. Ensuite, le test HSD (Honest Significant Difference) de Tukey a été effectué lorsque l'ANOVA montrait une différence significative. Les différences ont été considérées comme significatives à des valeurs $p < 0,05$. L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel Statistica 7.1.

2.3 COEFFICIENT D'ÉCHANGE EAU-SÉDIMENT

Les sédiments constituent une zone de stockage temporaire ou définitif pour de nombreux polluants dans les milieux aquatiques marins et estuariens. Il est donc particulièrement important de caractériser leur capacité de fixation des polluants par le coefficient d'échange eau-sédiments. A partir des taux saisonniers et annuels de l'arsenic (As), les coefficients d'échange eau-sédiment saisonniers et annuels ont été calculés selon la formule suivante [14] :

$$CE = \frac{C_s}{C_e}$$

Avec :

- C_s la concentration du métal dans les sédiments en $\mu\text{g}/\text{kg}$;
- C_e la concentration du métal dans l'eau en $\mu\text{g}/\text{L}$.

2.4 COEFFICIENT DE CORRÉLATION DE BRAVAIS-PEARSON

Le coefficient de corrélation linéaire r de Bravais-Pearson a été utilisé pour déterminer la relation entre les paramètres physico-chimiques et la teneur en arsenic des échantillons. Il varie de -1 à +1. La valeur -1 représente une parfaite corrélation négative tandis que la valeur +1 représente une parfaite corrélation positive. La valeur 0 représente une absence de corrélation ou l'indépendance entre les variables. Plus la valeur r s'approche de -1 ou +1, plus la relation linéaire est forte. Plus la valeur du coefficient r s'approche de 0, plus la relation linéaire est faible.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

Les valeurs moyennes de la température sont élevées et varient de $28,84 \pm 0,86$ °C (zone continentale) à $28,88 \pm 0,61$ °C (zone maritime) (Tableau I). Les eaux sont faiblement basiques ($7,09 \pm 0,18$ - $7,30 \pm 0,05$) et oxygénées ($6,19 \pm 0,22$ - $6,42 \pm 1,29$ mg/L) au niveau des deux zones. La salinité ($2,88 \pm 1,18$ - $3,57 \pm 0,87$) et la transparence ($1,08 \pm 0,10$ - $1,55 \pm 0,37$ m) sont minimales dans les deux zones. Les concentrations moyennes des matières en suspensions sont de $13,80 \pm 1,41$ mg/kg pour la zone continentale et $11,74 \pm 1,25$ mg/kg pour la zone maritime. L'analyse statistique (ANOVA) montre qu'il n'existe aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les deux zones pour les paramètres physico-chimiques mesurés à l'exception de la transparence et des matières en suspensions. La zone continentale présente des valeurs élevées de matières en suspension avec une faible transparence (Tableau I).

Tableau 1. Valeurs moyennes de la température, du pH, de l'oxygène dissous, de la salinité, de la transparence et des MES mesurés de février 2014 à janvier 2015 dans les zones continentale (ZC) et maritime (ZM) de la partie Ouest de la lagune Ebrié

| Paramètres | Zones | |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | Zone continentale | Zone maritime |
| Température (°C) | $28,84 \pm 0,86$ | $28,88 \pm 0,61$ |
| pH | $07,09 \pm 0,18$ | $07,30 \pm 0,05$ |
| Oxygène dissous (mg/L) | $06,19 \pm 0,22$ | $06,42 \pm 1,29$ |
| Salinité | $02,88 \pm 1,18$ | $03,57 \pm 0,87$ |
| Transparence (m) | $01,08 \pm 0,10^a$ | $01,55 \pm 0,37^b$ |
| Matière en Suspension (mg/L) | $13,80 \pm 1,41^b$ | $11,74 \pm 1,25^a$ |

Les valeurs avec des lettres (a, b) en exposant présentent une différence significative ($p < 0,05$) entre les zones pour un paramètre annuel donné.

Les concentrations d'arsenic dans l'eau varient de $4,99 \pm 4,82$ à $8,17 \pm 3,15$ $\mu\text{g}/\text{L}$ dans la zone continentale et de $3,58 \pm 2,09$ à $16,95 \pm 12,82$ $\mu\text{g}/\text{L}$ dans la zone maritime (Tableau II). Les concentrations saisonnières présentent une différence significative ($p < 0,05$) entre les saisons quel que soit la zone. Les concentrations sont élevées pendant la saison sèche dans la zone continentale et pendant la saison des crues dans la zone maritime. Les valeurs moyennes de la concentration d'arsenic dans l'eau montrent qu'il existe une différence significative ($p < 0,05$) entre la zone continentale et la zone maritime. La zone maritime enregistre les concentrations moyennes les plus élevées (Tableau II). Les concentrations de l'arsenic dans les sédiments sont très élevées par rapport aux concentrations enregistrées dans l'eau (Tableau II). Elles varient de $1,06 \pm 0,70$ à $1,22 \pm 0,68$ mg/kg dans la zone continentale et de $1,01 \pm 0,59$ à $1,50 \pm 0,77$ mg/kg dans la zone maritime. Les concentrations saisonnières dans les sédiments ne présentent aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les saisons pour les deux zones. Aussi, Les valeurs moyennes de la concentration de l'arsenic dans les sédiments ne montrent-elles aucune différence significative ($p > 0,05$) entre la zone continentale et la zone maritime.

Tableau 2. Variation saisonnière et valeurs moyennes de l'arsenic dans l'eau ($\mu\text{g/L}$) et les sédiments (mg/kg) mesurés de février 2014 à janvier 2015 dans les zones continentale (ZC) et maritime (ZM) de la partie Ouest de la lagune Ebrié

| | | Zones | |
|----------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | | Zone continentale | Zone maritime |
| Arsenic dans l'eau | Saison sèche | 08,17 \pm 3,15 ^{c2} | 03,89 \pm 2,83 ^{a1} |
| | Saison des pluies | 06,66 \pm 4,87 ^{b2} | 03,58 \pm 2,09 ^{a1} |
| | Saison des crues | 04,99 \pm 4,82 ^{a1} | 16,95 \pm 12,82 ^{b2} |
| | Moyenne | 06,61 \pm 4,84 ¹ | 08,14 \pm 1,16 ² |
| Arsenic dans les sédiments | Saison sèche | 01,06 \pm 0,70 | 01,10 \pm 0,80 |
| | Saison des pluies | 01,22 \pm 0,68 | 01,01 \pm 0,59 |
| | Saison des crues | 01,12 \pm 0,63 | 01,50 \pm 0,77 |
| | Moyenne | 01,21 \pm 0,75 | 01,21 \pm 0,75 |

Les valeurs avec des lettres a, b en exposant présentent une différence significative ($p < 0,05$) entre les saisons ; les valeurs avec des chiffres 1, 2 en exposant présentent une différence significative ($p < 0,05$) entre les zones.

Le coefficient d'échange eau-sédiment calculé, est élevé durant toutes les saisons dans les deux zones (Figure 2). Elle varie de 129,74 à 224,44kg/L dans la zone continentale et de 88,49 à 282,77 dans la zone maritime.

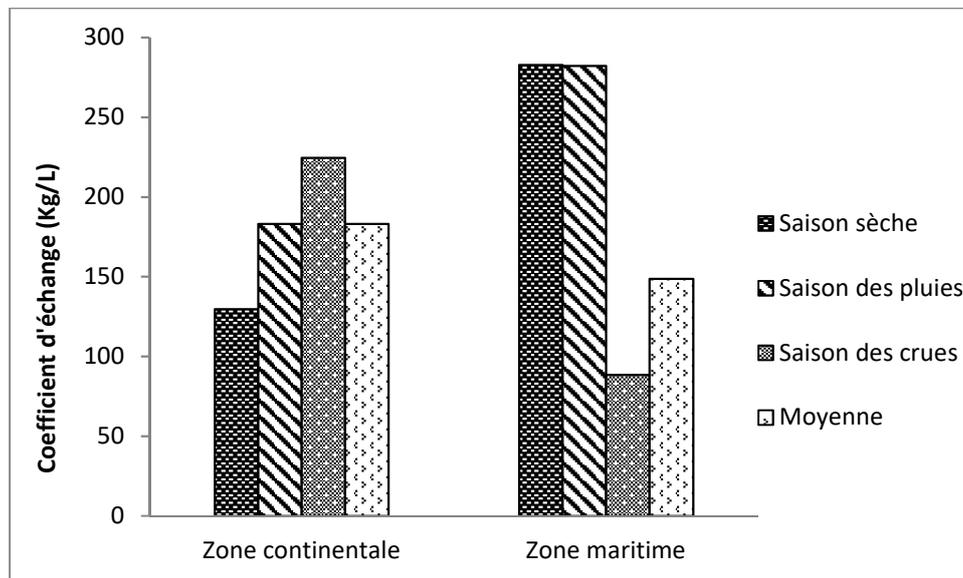


Fig. 2. Coefficient d'échange de l'arsenic en Kg de sédiments par litre d'eau dans les zones continentale (ZC) et maritime (ZM) de la partie Ouest de la lagune Ebrié

L'observation de la matrice de corrélation montre que la teneur en arsenic des échantillons d'eau présente une forte corrélation positive avec la température, l'oxygène dissous et les matières en suspension d'une part, et d'autre part, une forte corrélation négative avec la salinité (Tableau III). La teneur en arsenic des sédiments montre une forte corrélation positive avec le pH et négative avec la température.

Tableau 3. Matrice de corrélation entre les paramètres physico chimiques et l'arsenic dans l'eau et les sédiments mesurés de février 2014 à janvier 2015 dans les zones continentale (ZC) et maritime (ZM) de la partie Ouest de la lagune Ebrié

| | Zones | Paramètres | | | | | |
|----------------------------|-------|------------|-------|----------------|--------|-------|-------|
| | | T° | pH | O ₂ | Sal | Trsp | MES |
| Arsenic dans l'eau | ZC | 0,99* | -0,53 | 0,89* | -0,95* | -0,12 | 0,67 |
| | ZM | 0,92* | -0,66 | -0,20 | -0,98* | 0,28 | 0,97* |
| Arsenic dans les sédiments | ZC | -0,47 | 0,98* | 0,12 | -0,03 | -0,47 | 0,68 |
| | ZM | -0,86* | 0,98* | -0,34 | -0,03* | 0,09 | 0,59 |

Les valeurs en * présentent une corrélation significative à $p < 0,05$. ZC : zone continentale ZM : zone maritime.

3.2 DISCUSSION

Les résultats obtenus montrent que les valeurs moyennes de la température, du pH, de l'oxygène dissous et de la salinité ne présentent aucune différence significative entre les zones continentale et maritime de la partie ouest de la lagune Ebrié. Les eaux de ces zones sont chaudes, faiblement basiques, oxygénées et peu salées. Ces caractéristiques peuvent être attribuées à la température élevée de l'air et aux régimes hydrologiques de la zone d'étude [15], [16], [17]. En effet, la partie ouest de la lagune Ebrié est sous l'influence des eaux continentales et des eaux océaniques qui contrôlent les paramètres physico-chimiques de cette zone. Cette étude a également montré qu'il y a une différence significative entre les deux zones pour la transparence et les matières en suspensions. Cette différence est probablement due à l'entrée massive des eaux météorites dans la zone continentale. Nos résultats sont comparables à ceux de [18] et de [19] qui ont rapporté que la partie Ouest de la lagune Ebrié a des transparences qui varient entre 0,4 et 4 m.

Cette étude révèle la présence d'arsenic dans l'eau des zones continentale et maritime de la partie ouest de la lagune Ebrié. La variation saisonnière de la teneur en arsenic de l'eau a montré une différence significative entre les saisons. Les fortes concentrations sont enregistrées durant les saisons sèches et les saisons de crues. Cette différence saisonnière peut être attribuée au changement des paramètres physico-chimiques des eaux avec l'entrée des eaux continentales dans la lagune durant la crue d'une part, et d'autre part, le phénomène d'évaporation durant la saison sèche [20], [21]. En effet, l'accumulation des métaux lourds dépend des propriétés physiques et chimiques de l'eau, telles que le pH, la température et la salinité [22]. Aussi, l'état d'oxydation et les conditions redox dans l'environnement pourraient-ils influencer la solubilité du métal [23]. Par ailleurs, les résultats de cette étude, montrent également une différence significative entre les zones continentale et maritime. Généralement, les concentrations maximales de l'arsenic dans l'eau sont enregistrées dans la zone maritime. Cette forte concentration peut être due aux rejets constants des huiles de moteur et de carburant dans la zone d'étude à cause de l'important trafic des pirogues à moteurs utilisées pour la pêche et pour le transport. [24] et [25] ont rapporté que les huiles de moteur et le carburant sont les principales sources de métaux lourds sur les plans d'eau lagunaires où la population utilise les embarcations motorisées pour se déplacer.

En ce qui concerne les sédiments, cette étude indique qu'ils contiennent des taux très élevés en arsenic en comparaison avec les concentrations dans l'eau et cela quel que soit la zone. En effet, les sédiments sont les plus importants réservoirs des métaux lourds et d'autres polluants dans l'environnement aquatique. [26] rapporte que les sédiments sont considérés comme des compartiments de l'accumulation des polluants, apportés par la colonne de l'eau. Dans les sédiments, aux phénomènes physico-chimiques s'ajoute l'activité microbienne [27]. Dans ces milieux, l'arsenic subira alors diverses transformations (oxydation, réduction, sorption) suivant la composition chimique du sédiment ainsi que les différents mécanismes mis en place par les micro-organismes. Selon [28] les composés méthyles de l'arsenic (MMA, DMA, TMAO) présents dans les sédiments peuvent provenir soit par méthylation directe par les micro-organismes, soit par un apport lié à l'activité humaine, principalement agricole (pesticides, fertilisants). Les coefficients d'échange eau-sédiment élevés de cette étude confirment que les sédiments de cette zone constituent un puits d'arsenic pour la colonne d'eau. En effet, [29] stipule que les sédiments peuvent devenir soit une source, soit un puits d'élément trace métallique pour la colonne d'eau.

L'analyse de la matrice de corrélation entre les variables étudiées révèle une forte corrélation entre les paramètres physico-chimiques et la concentration d'arsenic. Cela montre le rôle important que jouent les paramètres physico-chimiques dans la mobilité et la solubilité de l'arsenic [27]. En effet, les facteurs physico-chimiques affectent la capacité d'adsorption et influencent ainsi le flux d'arsenic à l'interface liquide-solide [30]. En milieu aqueux, il s'agit souvent d'adsorption par formation de complexes de sphère interne avec les oxydes de fer, de manganèse et d'aluminium qui se trouvent généralement en contact avec les eaux naturelles par l'intermédiaire de la matière en suspension [31] et [32] rapporte que la solubilité des métaux lourds varie avec le pH. Les substances humiques adsorbent préférentiellement l'As(V) avec un maximum d'adsorption vers pH

5,5 [33]. De plus, la spéciation de l'arsenic qui est nécessaire pour prédire sa mobilité, est fortement influencée par le pH et le potentiel redox. Il apparaît donc que dans les domaines de pH ($5,5 \leq \text{pH} \leq 9$), les formes majoritaires de As(V) sont anioniques: H_2AsO_4^- et HAsO_4^{2-} , pour As(III) il s'agit de la forme non chargée : H_3AsO_3 [28].

Les données obtenues dans le cadre de cette étude concernant la concentration de l'arsenic sont inférieures aux valeurs considérées comme normales pour le milieu naturel. Les valeurs seuils sont de 10 $\mu\text{g/L}$ dans l'eau et de 50mg/Kg dans les sédiments [34]. Cependant, un suivi des teneurs en arsenic de la zone d'étude s'impose. Selon [35], la plupart des polluants, en particulier les substances persistantes organiques ou minérales se présentent à des concentrations supérieures dans les êtres vivants par rapport aux doses rencontrées dans les biotopes à cause des phénomènes de bioconcentration. Ainsi, pour les poissons elle se manifeste par une mortalité mais aussi de façon indirecte par la modification des cellules germinales, le ralentissement de la croissance et surtout de la reproduction des espèces [36].

4 CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence la contamination à l'arsenic des eaux et des sédiments des zones continentale et maritime de la partie Ouest de la lagune Ebrié, qui est perturbée par des rejets domestiques et agricoles. Par ailleurs, la distribution de l'arsenic est sous le contrôle des paramètres physico-chimiques. Les concentrations en dessous des normes établies par l'OMS n'excluent pas la nécessité d'une attention particulière quant aux effets cumulatifs de ce métalloïde qui pourraient constituer des risques sanitaires. En effet, le danger de cette pollution métallique aquatique réside dans le risque toxicologique qui peut être induit lors de la consommation des produits provenant de ces zones, d'où son impact direct sur la santé humaine. Sur le plan écologique, cette pollution peut perturber l'équilibre biologique du milieu et porter atteinte à l'intégrité biologique.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos sincères remerciements au fond du Conseil Interprofessionnel pour la Recherche Agricole (FIRCA) pour le soutien financier.

REFERENCES

- [1] E. Baran, "Biodiversity of estuarine fish fauna in West Africa", *Naga the ICLARM Quarterly*, vol. 23 no.4 pp. 4-9, 2000.
- [2] K. P. Anoh, « Stratégies comparées de l'exploitation des plans d'eau lagunaire de Côte d'Ivoire », *Document d'outre-mer*, pp. 347-363, 2010.
- [3] S. H. G. Brondi, A. N. De Macedo, G. H. L. Vicente et A. R. A. Nogueira, "Evaluation of the quenchers method and gas chromatography mass spectrometry for the analysis pesticide residues in water and sediment" *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 86 pp. 18-22, 2011.
- [4] B. H. Ben, H. Nassali, M. Leblans et A. Srhiri, "Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc)" *Afrique Science*, vol 1 no 1 pp. 109-12, 2005.
- [5] S. Coulibaly, *Bioaccumulation des métaux lourds et effets biologiques induits chez Sarotherodon melanotheron rüppell, 1852 pêché dans la Baie de Biétri en Lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)*, Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, p.214, 2013
- [6] K. M. Yao, S. B. Métongo, A. Trokourey A. et B. Yobou B., "Assessment of sediments contamination by heavy metals in a tropical lagoon urban area (Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire)", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 3 pp. 755-770, 2009.
- [7] S. Coulibaly, *Etude des paramètres de pollution en zone lagunaire d'Abidjan*, Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2006.
- [8] P. Koffi; "Des poissons toxiques sur le marché ?", *Le Nouveau Réveil* no 3408, p. 6, 2013.
- [9] OMS, Arsenic in Drinking Water, International Programme-t-on *Chemical Safety, Environmental Health Criteria* no 224 Genève pp. 1-521, 2001.
- [10] P. N. Williams, A. H. Price, A. Raab, S. A. Hossain, J. Feldmann et A. A. Meharg, Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure, *Environmental Science & Technology*, vol 39 pp. 5531-5540, 2005.
- [11] C. Hopenhayn, "Arsenic in Drinking Water: Impact on Human Health", *Elements* vol 2 pp. 103-107, 2006.
- [12] A. Aminot et M. Chaussepied, *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. CNEXO, Editions Jouve, Paris, 395 p 2006, 1983.

- [13] EPA, *SW-846 test methods for evaluating solid waste, physical-chemical methods*, method 6010 C: inductively coupled plasma-atomic spectrometry emission, 2007.
<http://www.epa.gov/OSW/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6010c.pdf>.12-12-2017.
- [14] IRSN, Direction de l'environnement et de l'intervention, service d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes. *Fiches radionucléides et environnement*, p. 13, 2004.
- [15] K. J. Konan, *Etude des paramètres de populations, de la biologie de reproduction et des stratégies alimentaires du Cichlidae Tylochromis jentinki (Steindachner, 1895) dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)*, Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2010.
- [16] S. Sylla, *Paramètres des populations, biologie de la reproduction et régime alimentaire du Garangidae Trachinotus teraia, Cuvier, 1832 dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2010.
- [17] L. Boni, S. Coulibaly, C. S. K. Nobah, B. C. Atse et E. P. Kouamelan, "Physical and chemical parameters and nutrients in the Ebrie lagoon, (Côte d'Ivoire, West Africa): impact on fish mortality" *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, vol 4 no 3 pp. 1-16, 2016.
- [18] I. M. Bodji, *Biologie et écologie d'un poisson africain Pomadasys jubelini (Cuvier, 1830) (Pisces, Haemulidae) dans trois complexes lagunaires (Grand-Lahou, Ebrié et Aby) de Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2015.
- [19] E. L. G. Djadji, *Etude des traits biologiques et du régime alimentaire de deux espèces de Mugilidae, Liza falcipinnis, Valenciennes, 1836 et Mugilcephalus, Linnaeus, 1758, dans les complexes lagunaires Ebrié et Grand-Lahou, Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2015.
- [20] S. Coulibaly, B. C. Atsè, K. M. Koffi, S. Sylla, K. J. Konan et N. J. Kouassi, "Seasonal Accumulations of Some Heavy Metal in Water, Sediment and Tissues of Black-Chinned Tilapia *Sarotherodon melanotheron* from Bietri Bay in Ebrie Lagoon, Ivory Coast" *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 10: pp. 512-522, 2012.
- [21] K. M. Koffi, S. Coulibaly, B. C. Atse et E. P. Kouamelan, "Survey of Heavy Metals Concentrations in Water and Sediments of the estuary Bietri Bay, Ebrie Lagoon, Côte d'Ivoire", *International Journal of Research in Earth and Environmental Sciences*, vol 3 pp. 1-10, 2014.
- [22] M. Coulibaly, *Développement de méthodes électrochimiques pour la détection de trace de métaux lourds : application à l'analyse du cuivre, du sélénium et du manganèse dissous dans des milieux complexes*. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 2008.
- [23] J. O. Lalah, E. Z. Ochieng et S. O. Wandiga, "Sources of heavy metal input into Winam Gulf, Kenya " *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 81 PP. 27-284, 2008.
- [24] A. Traore, G. Soro, K. E. Ahoussi, B. S. Bamba, N. Soro et J. Biemi, "Niveau de décontamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)" *Afrique science* vol 10 no 3 pp. 73 – 88, 2014.
- [25] C. A. Gouin, N. Aka N., B. Adiaffi, B. S. Bamba et N. Soro, "Pollution saisonnière des sédiments de lagune par des métaux lourds (Cu, Pb et Zn) en zone tropicale humide : cas de la lagune Mondoukou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)", *International Journal of Biological and Chemical Sciences* vol 10 no 2 pp. 835-845, 2016.
- [26] N. C. Bonai, G. M. Souza-Franco, O. Fogolari, D. J. C. Mocelin et J. Dal-Magro, "Distribution of metals in the sediment of the Itá reservoir, Brazil", *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol 21 pp. 245-250, 2009.
- [27] M. L. Cazalet, *Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traité aux liants hydrauliques : Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques*, Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, France, 2012.
- [28] E. Lombi, W. W. Wenzel et D. C. Adriano, *Arsenic-contaminated soils: II. Remedial action*, in Remediation engineering of contaminated soils, D.L. Wise, D.J. Trantolo, E.J. Cichon, H.I. Inyang and U. Stott meister editors, Dekker, New York, pp. 739-758, 2000.
- [29] E. Tessier, *Diagnostic de la contamination sédimentaire par les métaux/metalloïdes dans la rade de Toulon et mécanismes contrôlant leur mobilité*. Mémoire de Docteur de l'Université du Sud Toulon Var, France, p. 291, 2012.
- [30] Y. Bentahar, *Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse*, Thèse de Doctorat, Université Côte d'Azur, France, 2016.
- [31] B. Campredon, *Mécanismes et transferts de l'arsenic dans une confluence du Var et étude d'une méthode de remédiation dans les eaux potables*. Thèse de Doctorat, Université Nice Sophia Antipolis, France, 2013.
- [32] J. Lions, 2004. *Étude hydrogéochimique de la mobilité de polluants inorganiques dans des sédiments de curage mis en dépôt: expérimentations, études in situ et modélisation*, Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure des Mines de Paris. France, 2004.
- [33] M. Sadiq, *Arsenic chemistry in soils: an overview of thermodynamic predictions and fields observations*, *Water Air Soil Poll* vol 93 pp. 117-136, 1997.

- [34] Z. Ding, B. Zheng, J. Long, H. E. Belkin, R. B. Finkelman, C. Chen, D. Zhou. et Y. Zhou, "Geological and geochemical characteristics of high arsenic coals from endemic arsenosis areas in southwestern Guizhou Province, China", *Appl. Geochem* Vol 16, pp. 1353-1360, 2001.
- [35] S. Péan, *Effets des polluants organiques persistants sur le comportement des poissons. Sciences agricoles*. Mémoire de Docteur de l'Université de La Rochelle, France, 2012.
- [36] F. Ramade, *Précis d'écotoxicologie*, Collection d'écologie. Masson. Paris, Milan, 1992.