

Niveau de contamination en éléments traces métalliques des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

Konan Pacôme M'BRA^{1*}, Franck Olsen DOUOHON¹, Natchia AKA²,
Valérie Ama WOGNIN¹ et Kouamé AKA¹

¹ Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, UFR-STRM, Laboratoire de Géologie Marine et Sédimentologie,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

² Centre de Recherches Océanologiques, 29 Rues des Pêcheurs, BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire

(Reçu le 06 Avril 2026 ; Accepté le 22 Juillet 2026)

* Correspondance, courriel : mbrapacom@gmail.com

Résumé

Cette étude porte sur l'évaluation de la contamination en Éléments Traces Métalliques (ETM) des sédiments superficiels de la lagune de Grand-Lahou. Elle est basée sur l'analyse des teneurs en éléments traces métalliques entre la saison des crues et la saison sèche. L'Indice de Géoaccumulation (Igeo) le Facteur d'Enrichissement (FE), le Facteur de Contamination (FC) et le Degré de Contamination (DC) ont été calculés afin d'évaluer le niveau de contamination en ETM des sédiments. Les teneurs en ETM enregistrent l'ordre d'abondance suivant en valeur moyenne : Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Sb > As > Cd (saison des crues) et Zn > Ni > Cr > Cu > As > Pb > Sb > Cd (saison sèche). Les résultats de d'Igeo, de FE, de FC et de DC ont révélé des contaminations polymétalliques. L'As, le Cd et le Sb ont été identifiés comme les contaminants les plus préoccupants.

Mots-clés : *Lagune de Grand-Lahou, qualité des sédiments, éléments traces métalliques.*

Abstract

Trace metal element contamination level in sediments of grand-lahou lagoon

This study focuses on the assessment of Trace Metal contamination in surface sediments of the Grand-Lahou lagoon. It is based on the analysis of trace metal content between the flood season and the dry season. The Geoaccumulation Index (Igeo), Enrichment Factor (EF), the Contamination Factor (CF) and the Degree of Contamination (DC) were calculated in order to assess the level of TME contamination of the sediments. The TME contents recorded the following order of abundance in average value : Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Sb > As > Cd (flood season) and Zn > Ni > Cr > Cu > As > Pb > Sb > Cd (dry season). The results of Igeo, EF, CF and DC revealed polymetallic contaminations. As, Cd and Sb were the most worrying TMEs.

Keywords : *Grand-Lahou lagoon, sediment quality, metallic trace elements.*

1. Introduction

Les lagunes sont des dépressions côtières situées en-dessous du niveau moyen des océans [1]. Sur le littoral ivoirien, on distingue d'Ouest en Est, trois (03) complexes lagunaires majeures ; Grand-Lahou, Ébrié et Aby. Elles sont le lieu d'importantes activités industrielles, économiques, piscicoles, agricoles et touristiques [2]. Aussi attire-t-elle une quantité importante de population. À ce propos, le Sud côtier compte 30% de la population ivoirienne [3]. La lagune de Grand-Lahou, est le réceptacle d'effluents anthropiques, continentaux et marins. Ainsi, les cours d'eau Bandama, Boubo et Go se jettent dans la lagune de Grand-Lahou. Également, elle reçoit des intrusions marines ainsi que des rejets d'eaux usées et d'ordures ménagères. De plus, par le canal d'Azagny, elle communique avec les eaux de la lagune Ébrié. Au regard de tous ces apports, l'équilibre de cet environnement pourrait sérieusement être bouleversé. La nécessité d'examiner le niveau de contamination et de résilience éventuelles de la lagune de Grand-Lahou devient nécessaire. Pour ce faire, cette étude repose sur l'analyse des sédiments. Selon le centre d'écotoxicologie appliquée de la Suisse, les sédiments constituent un piège à contaminants à long terme des eaux de surface et de la chaîne alimentaire. Ils accumulent les polluants adsorbés sur les particules sédimentées [4]. Ces polluants peuvent être relâchés dans la colonne d'eau sous l'action de la faune, des crues ou d'activités de dragage et y exercer leur toxicité. Ils peuvent alors affecter les organismes vivant dans le compartiment sédimentaire (benthos) et, à travers eux, contaminer les maillons supérieurs de la chaîne alimentaire. La présente étude porte sur l'évaluation de la contamination en ETM des sédiments de sub-surface de la lagune de Grand-Lahou. Elle vise à mettre à disposition des données scientifiques récentes pour la préservation et la gestion durable cet écosystème lagunaire et ses potentialités biologiques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

La lagune de Grand-Lahou (**Figure 1**) est située sur le littoral ivoirien entre les 5°26' et 4°58' de longitude Ouest et les 5°06' et 5°15' de latitude Nord. Elle comprend quatre (4) sous-unités lagunaires ([5, 6]) :

- La lagune Nyouzoumou : Elle s'étire sur près 40 Km le long du cordon littoral. Elle a une superficie de 15 km² avec une profondeur moyenne de 3 m. Elle communique avec la mer par l'intermédiaire de l'ouverture du canal artificiel de Groguida et avec la lagune Tagba sur sa façade Est.
- La lagune Tadio : elle est la plus vaste avec une superficie de 90 km². Elle reçoit les eaux du fleuve Boubo. Elle communique au Sud avec la lagune Nyouzoumou et au Nord avec la lagune Mackey.
- La lagune Mackey : elle a une superficie de 28 km² et relie les lagunes Tadio à l'Ouest et la lagune Tagba à l'Est. Elle est la moins profonde (2 m en moyenne). Elle reçoit les eaux des rivières Boubo et Go.
- La lagune Tagba : sa superficie est de 57 km² avec une profondeur moyenne de 3 m. Elle communique avec la mer au Sud, avec la lagune Nyouzoumou au Sud-Ouest, et avec le fleuve Bandama et la lagune de Ébrié par le canal artificiel d'Azagny à l'Est.

Le complexe lagunaire de Grand-Lahou bénéficie d'un climat caractérisé par quatre (4) saisons (deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses). La végétation environnante est constituée de forêts denses humides sempervirentes, de mangroves, de savanes prélagunaires et de savanes littorales. La combinaison des différentes influences marines (flot et jusant), des régimes des cours d'eau (Bandama, Boubo et Go) et l'alternance des saisons pluvieuses et sèches permettent de définir trois (3) saisons lagunaires [7] : une saison sèche (de janvier à avril), une saison des pluies (de mai à août) et une saison des crues (de septembre à décembre).

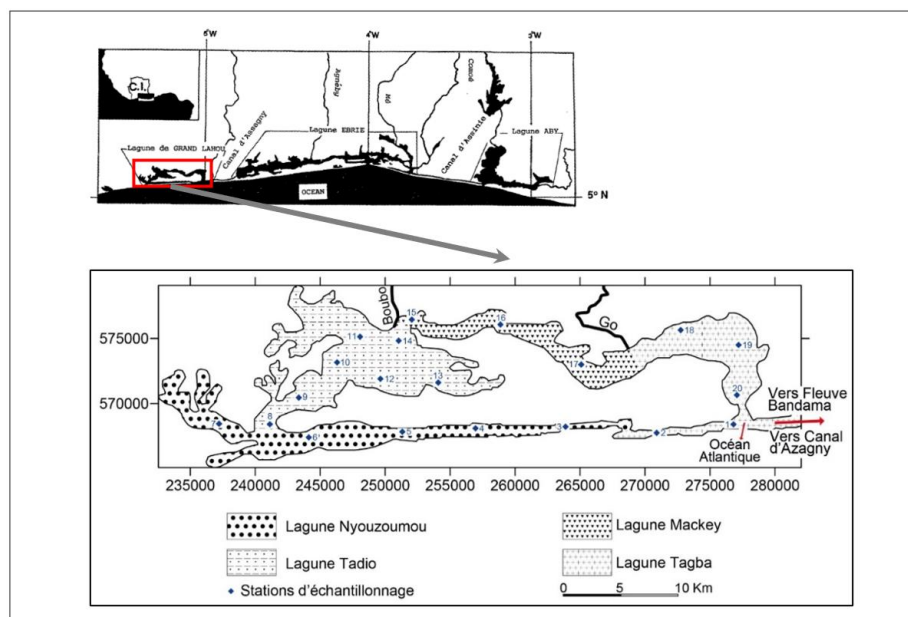


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (Lagune de Grand-Lahou)

2-2. Échantillonnage et technique d'analyse

Au total, 40 échantillons ont été recueillis sur deux (2) saisons (sèche et crues) dont 20 échantillons pour chaque saison à l'aide d'une benne Van veen. L'analyse des ETM s'est faite au laboratoire à l'aide d'un Spectromètre d'Émission Optique à Plasma à Couplage Inductif ou Inductivity Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). Cette analyse commence par la réduction des échantillons à l'état liquide. Pour ce faire, les échantillons sont séchés à l'étuve à 50° C pendant 24 heures et subissent un prétéamaisage avec un tamis de 2 mm afin d'éliminer les éléments grossiers. Les particules fines obtenues, sont broyées et sont de nouveau tamisées avec un tamis de maille, 63 μ m. La poudre ainsi obtenue, subie une digestion par attaque à l'eau régale. Cette dernière étant constituée d'acide chlorhydrique (37%) et d'acide nitrique (65 %) a la capacité de dissoudre tous les métaux. Ensuite, 0,5 g d'échantillon sec et 8 mL d'eau régale sont chauffés à 95° C pendant 75 mn. Le liquide obtenu est mis à refroidir à température ambiante. On mélange ensuite 550 mL de ce liquide à de l'eau déminéralisée qui sera centrifugé à 2000 tours par minute. Le produit de cette centrifugation est porté à ICP-OES pour le dosage des ETM. Les atomes sont excités à un niveau énergétique supérieur. Le retour à l'état stable est accompagné de l'émission d'une série d'onde électromagnétique caractéristique de chaque élément.

2-3. Méthode d'évaluation des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

L'appréciation de la pollution métallique au moyen de la seule détermination des teneurs métalliques dans les sédiments est une approche peu significative [8]. En effet, l'abondance d'un métal dans un milieu ne fait pas forcément de lui une menace pour l'environnement. En effet, l'évaluation du risque nécessite de considérer la concentration de l'ETM par rapport aux valeurs naturelles de fond et sa biodisponibilité dans l'environnement. Il convient donc d'exprimer la contamination métallique à l'aide d'indices et de facteurs de contamination : l'Indice de Géoaccumulation (Igeo), le Facteur d'Enrichissement (FE), le Facteur de Contamination (FC) et le Degré de Contamination (DC).

- **L'Indice de géoaccumulation** (Igeo) met en évidence l'intensité de la pollution métallique [9]. Cet indice de caractère empirique compare une concentration donnée avec une valeur considérée comme fond géochimique. Ici, nous utiliserons comme fond géochimique, les concentrations des éléments traces dans la croûte continentale données par [10]. L'Igeo s'obtient selon **l'Équation** suivante :

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5B_n} \right) \quad (1)$$

avec, $\log_2$: logarithme de base 2 ; n : élément considéré ; C : concentration mesurée dans l'échantillon ; B : fond géochimique ; 1,5 : facteur d'exagération du fond géochimique, dont la fonction est de prendre en compte les fluctuations naturelles du fond géochimique.

On distingue une échelle de sept classes de niveau de pollution des sédiments [9] :

$I_{geo} \leq 0$	: Sédiment non pollué
$0 < I_{geo} < 1$	: Sédiment non pollué à modérément pollué
$1 < I_{geo} < 2$	: Sédiment modérément pollué
$2 < I_{geo} < 3$	: Sédiment modérément pollué à sévèrement pollué
$3 < I_{geo} < 4$	: Sédiment sévèrement pollué
$4 < I_{geo} < 5$	: Sédiment sévèrement pollué à très sévèrement pollué
$5 < I_{geo}$	: Sédiment très sévèrement pollué

- **Le Facteur d'Enrichissement (FE)** permet de discriminer les apports anthropiques des sources naturelles et de définir l'intensité de la contamination [11]. Il fournit le nombre de fois qu'un élément est enrichi par rapport à l'abondance de cet élément dans le matériau de référence donné par [10]. Pour ne pas surestimer ou sous-estimer ce facteur d'enrichissement, la normalisation des teneurs en ETM par la concentration d'un élément conservatif et représentatif de sa phase porteuse est communément employée. Le but de la normalisation est de corriger les changements dans la nature du sédiment qui pourraient influencer la distribution du contaminant (diminution ou augmentation des phases porteuses). Plusieurs éléments conservatifs peuvent être utilisés : Al, Fe, Th, Ti, Zr [12]. Dans le cadre de ce travail, la normalisation a été réalisée avec le fer. Ainsi, le facteur d'enrichissement normalisé [13] s'obtient selon **l'Équation** suivante :

$$FE = \frac{\left(\frac{Me}{X} \right)_{\text{Echantillon}}}{\left(\frac{Me}{X} \right)_{\text{Naturelle}}} \quad (2)$$

avec, X : Al, Fe, Th, Ti, Zr ; Me : ETM

Cinq classes d'enrichissement métallique des sédiments sont définies [14] :

$FE < 2$	: enrichissement anthropique inexistant ou faible
$2 < FE < 5$	: enrichissement anthropique modéré
$5 < FE < 20$	: enrichissement anthropique significatif
$20 < FE < 40$	: enrichissement anthropique très fort
$FE > 40$	: enrichissement anthropique extrême

- **Le facteur de contamination (FC)** se définit comme un outil de base utile pour la détection de la contamination des sédiments en ETM. Il permet ainsi de mettre en évidence l'enrichissement métallique dans les sédiments ([15, 16]). Le FC est exprimé par **l'Équation** suivante :

$$FC = \frac{\text{Concentration de l'ETM dans le sédiment}}{\text{Concentration de l'ETM dans la croûte continentale}} \quad (3)$$

Pour ce travail, c'est la concentration des métaux dans la croûte continentale proposée par [10] qui a été utilisée.

Aussi, on distingue quatre (4) niveaux de contamination [17] :

- $FC < 1$: Faible contamination
- $1 \leq FC < 3$: Contamination modérée
- $3 \leq FC < 6$: Contamination considérable
- $FC \geq 6$: Contamination élevée

Aussi, en sommant les FC des chaque ETM d'un échantillon donné on obtient le *Degré de Contamination* (DC). Il permet de décrire la contamination en substances toxiques à l'échelle du sédiment [17]. Il est obtenu par la **Formule** suivante :

$$DC = \sum FC \quad (4)$$

avec, DC : Degré de contamination et FC : Facteur de contamination.

Quatre (4) niveaux de contaminations sont identifiés [17] :

- $DC < 6$: contamination faible,
- $6 \leq DC < 12$: contamination modérée,
- $12 \leq DC < 24$: contamination considérable,
- $24 \leq DC$: contamination très élevée.

3. Résultats et discussion

3-1. Distribution saisonnière des ETM (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb et Zn) des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

L'évolution des ETM (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn) dans les sédiments superficiels de la lagune de Grand-Lahou (**Tableau 1**) montre une régression des concentrations de la saison des crues à la saison sèche pour tous les ETM excepté l'As qui monte une tendance contraire. En saison des crues, les teneurs en ETM enregistrent l'ordre d'abondance suivant en valeurs moyennes : $Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Sb > As > Cd$. En saison sèche : $Zn > Ni > Cr > Cu > As > Pb > Sb > Cd$. Ainsi, les ETM comme les Zn et le Cr et dans une moindre mesure le Pb et la Ni se révèlent être les ETM les plus abondants dans les sédiments de la lagune de Grand-Lahou. Cette abondance est le fait de l'alcalinité de la tranche d'eau sus-jacente. En effet, le pH alcalin des eaux favorise la précipitation des ETM et limite leur libération dans la colonne d'eau aidant ainsi à l'enrichissement des sédiments en ETM [18]. L'abondance de Zn et de Cr est aussi constatée dans les sédiments du bassin Boumerzoug en Algérie [19]. Par ailleurs, il est bon aussi de noter que les concentrations en ETM de cette présente étude sont inférieures (saison sèche) à celles obtenues par [20] au niveau de la lagune Potou en saison d'étiage (avril 2017).

Tableau 1 : Évolution des concentrations des ETM (mg/kg)

	As		Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Sb		Zn	
	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS
Min	0,13	0,53	0,01	0,01	1,16	0,64	0,50	0,95	1,41	1,2	2	0,06	0,32	0,15	3,1	1,34
Max	5,29	5,18	0,54	0,14	17,2	7,13	11,1	6,06	17	12,4	12,9	3,66	2,72	1,16	103	20
Moy	1,04	1,88	0,24	0,06	9,58	2,87	3,75	2,70	5,43	4,82	6,43	0,76	1,12	0,47	33,8	5,97

Légende : Min : Minimum - Max : Maximum - Moy : Moyenne - SC : Saison des crues - SS : saison sèche.

3-2. Évolution de la pollution en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

Les résultats de calcul des Igeo des sédiments de la lagune de Grand-Lahou sont consignés dans le **Tableau 2**. Aussi, la répartition spatio-temporelle de la pollution en ETM des sédiments de lagune de Grand-Lahou est donnée par la **Figure 2. L'arsenic** : En saison des crues, les valeurs d'Igeo varient de -4,54 à 0,82 avec une moyenne de -2,26. Ceci dénote de deux classes de pollution. La première classe, indiquant une absence de pollution concerne la majorité des échantillons. La deuxième classe (non pollué à modérément pollué) ne concerne que la partie Est de la lagune Nyouzoumou. En saison sèche, les valeurs d'Igeo varient de -2,50 à 0,79 avec une moyenne de -1,01. Nous avons la même tendance de pollution qu'en saison des crues. Toutefois, la classe non pollué à modérément pollué se localise en lagune Tadio et au Nord-Ouest de la lagune Tagba.

- **Le cadmium** : Les variations des valeurs d'Igeo en Cd en saison des crues s'étalent de -0,65 à 1,83 avec une moyenne de 0,57. On en déduit trois classes de pollutions. La première classe (non pollué) se localise en lagune Tagba (Sud et Nord) et en lagune Tadio (Sud). La deuxième classe (non pollué à modérément pollué), se retrouve majoritairement en lagune Mackey, en lagune Tadio (Nord-Est) en lagune Nyouzoumou. La troisième classe (modérément pollué) se rencontre en lagune Tagba (Nord-Ouest), en lagune Nyouzoumou (Est) et en lagune Tadio (Centre). En saison sèche, tous les échantillons analysés ne présentent aucune pollution en Cd. En effet, toutes valeurs d'Igeo sont dans la classe de sédiments non pollués.
- **Le chrome** : En saison des crues, les valeurs d'Igeo varient de -5,50 à -1,61 avec une moyenne de -2,63. En saison sèche, l'Igeo varie de -6,36 à -2,88 avec une moyenne de -4,59.
- **Le cuivre** : En saison des crues, les valeurs d'Igeo varient de -5,41 à -0,95 avec une moyenne de -2,81. En saison sèche, nous avons une variation de -4,49 à -1,82 avec une moyenne de -3,19.
- **Le nickel** : En saison des crues, les valeurs d'Igeo varient de -4,31 à -0,71 avec une moyenne de -2,68. En saison sèche, l'Igeo varie de -4,54 à -1,17 avec une moyenne de -2,86.
- **Le plomb** : En saison des crues, les valeurs d'Igeo varient de -3,67 à -0,98 avec une moyenne de -2,15. En saison sèche, nous avons une variation de -8,74 à -2,80 avec une moyenne de -5,73.

Les valeurs d'Igeo des ETM (Cr, Cu, Ni et Pb) indiquent toutes une pollution inexistante dans les sédiments de la lagune de Grand-Lahou.

- **L'antimoine** : En saison des crues, les valeurs d'Igeo varient de -0,51 à 2,55 avec une moyenne de 0,99. Ces valeurs regroupent quatre classes de pollution en Sb. La première classe (non pollué) se retrouve à l'extrême Ouest de la lagune Nyouzoumou, en lagune Tagba (Nord-Est) et en lagune Tadio (Nord et Sud). La deuxième classe (non pollué à modérément pollué), se localise en lagune Tagba (Sud), en lagune Nyouzoumou (Ouest), en lagune Tadio (Nord-Ouest) et en lagune Mackey (Ouest et Est). La troisième classe (modérément pollué) se localise en lagune Nyouzoumou (Est et Centre-Ouest) en lagune Tadio (Est), en lagune Mackey (centre) et en lagune Tagba (centre). La quatrième classe (modérément pollué à sévèrement pollué) se localise en lagune Nyouzoumou (centre), en lagune Tadio (Sud) et en lagune Tagba (Nord-Ouest). En saison sèche, les valeurs d'Igeo en Sb évoluent de -1,65 à 1,32 avec une moyenne de -0,26. Ceci met en évidence trois classes de pollution. La première classe (non pollué) est observée au niveau de la plupart des échantillons. La deuxième classe (non pollué à modérément pollué) se localise en lagune Tagba (Sud), en lagune Nyouzoumou (centre et Ouest), en lagune Tadio (Est) et en lagune Mackey (Ouest). La dernière classe (modérément pollué) se localise au Sud-Tadio et au Nord-Ouest de la lagune Tagba.
- **Le zinc** : En saison des crues, les valeurs des Igeo varient de -4,65 à 0,40 avec une moyenne de -1,50. Il se dégage ainsi deux classes de pollution. La première classe (non pollué) concerne la majeure partie des échantillons. Tandis que la deuxième classe (non pollué à modérément pollué) s'observe au centre de la lagune Tadio. En saison sèche les échantillons présentent tous une pollution inexistante en Zn.

En définitive, la plupart des ETM étudiés notamment le Cr, le Cu, le Ni, le Pb et le Zn ont une empreinte polluante faible ou inexistante. Par contre, les ETM qui présentent des exceptions (As, Cd et Sb) demeurent en général dans les classes de pollutions modérées. Ces classes de pollution sont surtout caractéristiques de la saison des crues. Cette pollution serait due aux apports continentaux (cours d'eau Bandama, Boubo et Go) et aux ruissellements. Au niveau de la Baie de Biétry à Abidjan où les rejets industriels sont particulièrement importants du fait des installations industrielles et d'une population riveraine élevée, les Igeo de la plupart des ETM mettent en évidence des niveaux de pollution particulièrement élevés (sévérement à très sévérement pollué) excepté le Ni qui est un non-polluant [21]. Aussi, le caractère rural de la lagune de Grand-Lahou est-il davantage mis en évidence par sa particularité de faibles niveaux de pollution.

Tableau 2 : *Igeo en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou*

	As		Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Sb		Zn	
	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS
Min	-4,54	-2,5	-0,65	-3,19	-5,50	-6,36	-5,41	-4,49	-4,31	-4,54	-3,67	-8,74	-0,51	-1,65	-4,65	-5,86
Max	0,82	0,79	1,83	-0,11	-1,61	-2,88	-0,95	-1,82	-0,71	-1,17	-0,98	-2,80	2,55	1,32	0,40	-1,96
Moy	-2,26	-1,01	0,57	-1,79	-2,63	-4,59	-2,81	-3,19	-2,68	-2,86	-2,15	-5,73	0,99	-0,26	-1,50	-4,05

Légende : Min : Minimum ; Max : Maximum ; Moy : Moyenne ; SC : Saison des crues ; SS : saison sèche.

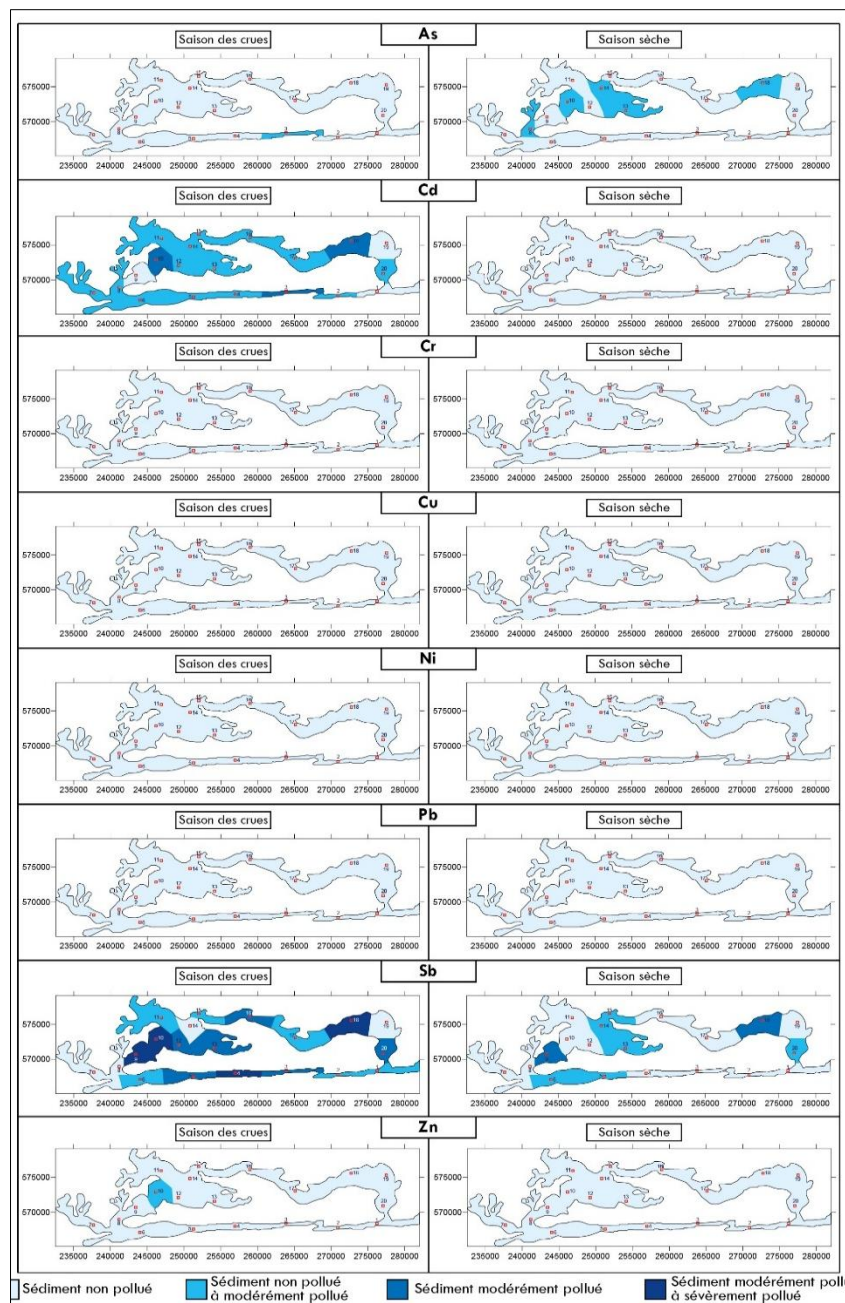


Figure 2 : Évolution spatio-temporelle de la pollution en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

3-3. Évolution de l'enrichissement en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

Les résultats des calculs des FE des ETM sont consignés dans le **Tableau 3**. L'évolution spatio-temporelle de l'enrichissement en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou est donnée par la **Figure 3**.

- **L'arsenic**: En saison des crues, les valeurs de FE indiquent que la plupart des échantillons ont un enrichissement faible. On dénombre néanmoins des zones à enrichissement modéré (Lagune Nyouzoumou Est et Ouest) et significatif (Tagba Nord-Est). En saison sèche, l'enrichissement est beaucoup plus intense. Les sédiments faiblement enrichis en As s'observent à l'Ouest de la lagune Mackey. Les modérément enrichis s'observent en lagune Tagba (Sud-Ouest, centre et Nord-Ouest), en lagune Mackey (centre), en lagune Tadio (Sud et centre), en et en lagune Nyouzoumou (Extrême Ouest). L'enrichissement significatif se remarque en lagune Tagba (Sud-Est et Nord-Est), en

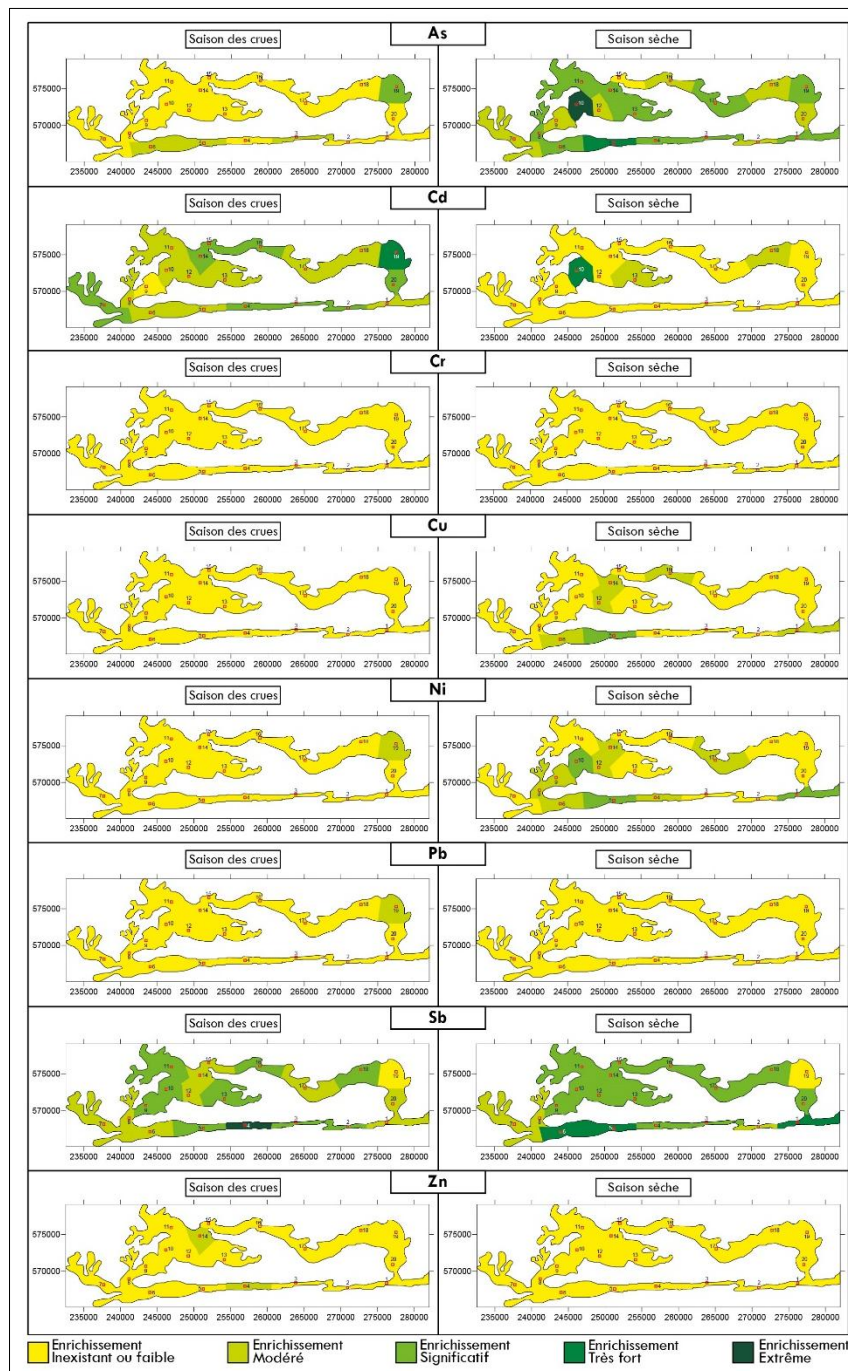
lagune Mackey (Est), en lagune Tadio (Sud et extrême-Nord) et en lagune Nyouzoumou (Est et Ouest). Le très fort enrichissement se distingue au centre de la lagune Nyouzoumou et l'enrichissement extrême en As se localise au centre de la lagune Tadio.

- **Le cadmium** : La variation des valeurs de l'enrichissement en Cd indique une évolution de l'enrichissement inexistant à très fort en saison des crues. L'enrichissement inexistant est observé au Sud de la lagune Tadio. Les sédiments modérément enrichis sont observés en lagune Tagba (Sud-Est et Nord-Ouest), en lagune Mackey (Ouest), en lagune Tadio (Sud, Est et extrême-Nord) et en lagune Nyouzoumou (centre). L'enrichissement significatif se localise en Lagune Tagba (Ouest, Centre), en lagune Mackey (Centre et Ouest), en lagune Tadio (Nord), et en lagune Nyouzoumou (Est et Ouest). Enfin, le très fort enrichissement en Cd est observé au Nord-Est de la lagune Tagba. En saison sèche, les sédiments sont majoritairement à enrichissement faible en Cd. L'enrichissement modéré se distingue en lagune Tagba (Ouest) et en lagune Tadio (Est). Et l'enrichissement très fort se localise en lagune Tadio (centre).
- **Le chrome** : Les valeurs de FE indiquent que les sédiments de la lagune de Grand-Lahou ont un enrichissement inexistant en Cr en saison des crues et en saison sèche.
- **Le cuivre** : En saison des crues les valeurs de FE en Cu indiquent un enrichissement inexistant. En saison sèche, les valeurs mettent en évidence des zones à enrichissement inexistant pour la grande partie des échantillons, des zones à enrichissement modéré (Centre et Nord de la lagune Tadio, Ouest-Nyouzoumou, centre Mackey et Sud Tagba) et une zone à enrichissement significatif (centre de la lagune Nyouzoumou).
- **Le nickel** : En saison des crues, tous les échantillons présentent un enrichissement inexistant excepté la zone du Nord de la lagune Tagba qui se démarque par un enrichissement modéré. En saison sèche, les valeurs de FE permettent d'identifier trois zones à intensité d'enrichissement différente. La zone à enrichissement inexistant : la Lagune Tagba (Sud-Ouest, centre et Nord), la lagune Mackey (Centre et Ouest), la lagune Tadio (Est et Ouest) et la lagune Nyouzoumou (Est et Extrême-Ouest). Puis, s'observe la zone à enrichissement modéré : la lagune Mackey (Est), la lagune Tadio (Sud, centre et Nord), et la lagune Nyouzoumou (Ouest, Centre-Est). Enfin, la zone à enrichissement significatif : la lagune Tagba (Sud), la lagune Nyouzoumou (Centre) et la lagune Tadio (Centre).
- **Le plomb** : En saison des crues, les valeurs de FE indiquent des enrichissements inexistants et modérés. L'enrichissement inexistant concerne la majorité des sédiments. L'exception est observée au Nord-Est de la lagune Tagba où l'enrichissement en Pb est modéré. En saison sèche, les valeurs de FE en Pb signalent toutes un enrichissement inexistant.
- **L'antimoine** : En saison des crues, les valeurs de FE indiquent un enrichissement important en Sb des sédiments de la lagune de Grand-Lahou. On a même un enrichissement extrême au niveau du centre de la lagune Nyouzoumou. On distingue également des échantillons à enrichissement modéré : lagune Tagba (Sud et centre), lagune Mackey (Est et Ouest), lagune Tadio (Sud, Centre et Nord) et la lagune Nyouzoumou (centre et Ouest). On note aussi un enrichissement significatif : lagune Tagba (Sud-Ouest et Nord-Ouest), Centre de la lagune Mackey, lagune Tadio (centre, est et Ouest) la lagune Nyouzoumou (Est, centre-Ouest). En saison sèche, seule la zone du Nord-Est de la lagune Tagba a un enrichissement inexistant en Sb. L'enrichissement modéré s'observe en lagune Tagba (Sud-Ouest), en lagune Nyouzoumou (extrême-Ouest) et au Sud de la lagune Tadio. L'enrichissement significatif se localise en lagune Tagba (centre et Nord-Ouest), en lagune Nyouzoumou (centre et Est), en lagune Mackey et en lagune Tadio. Enfin, le très fort enrichissement se localise en lagune Tagba (Sud) et en lagune Nyouzoumou (centre et Ouest).
- **Le zinc** : En saison des crues, les valeurs de FE indiquent majoritairement un enrichissement inexistant en Zn exceptées les zones du Nord de la lagune de Tadio et du centre de la lagune de Nyouzoumou qui indiquent un enrichissement modéré en Zn. En saison sèche, les sédiments ont tous un enrichissement inexistant en Zn.

Tableau 3 : Valeurs des FE en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

	As		Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Sb		Zn	
	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS
Min	0,05	1,58	2,68	0,66	0,24	0,35	0,07	0,35	0,23	0,38	0,25	0,03	0,50	2,61	0,69	0,24
Max	7,14	50,64	27,83	25,30	1,22	1,04	1,59	7,18	2,21	8,54	3,43	0,91	52,39	35,37	2,36	1,56
Moy	1,40	10,10	6,92	5,09	0,65	0,61	0,30	1,94	0,63	2,84	1,00	0,37	8,46	13,61	1,36	0,90

Légende : Min : Minimum ; Max : Maximum ; Moy : Moyenne ; SC : Saison des crues ; SS : saison sèche.

**Figure 3 : Évolution spatio-temporelle de l'enrichissement en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou**

L'examen de l'intensité de l'enrichissement en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou indique des apports naturels et anthropiques. L'As, le Cd et le Sb principalement, et dans une moindre mesure le Ni ont un enrichissement anthropique. Ces ETM sont très probablement le résultat des apports continentaux. Les cours d'eau auraient drainé depuis l'arrière-pays les rejets miniers, agricoles et autres déchets ménagers responsables de l'enrichissement en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou. En lagune Aghien, nous avons un enrichissement semblable [22]. En effet, le Cd, Cu, le Pb et le Zn ont un enrichissement anthropique majoritaire. L'enrichissement anthropique majoritaire de ces deux zones (lagunes de Grand-Lahou et Aghien) est imputable aux apports fluviaux et aux ruissellements qui convoient les rejets des activités agricoles (produits phytosanitaires et fertilisants) et carburants de véhicules à moteur qui circulent sur le plan d'eau. À l'instar de la lagune de Grand-Lahou, la lagune Mondoukou, située en zone rurale très peu influencée par les activités industrielles indique également les résultats similaires [23]. En effet, cette lagune de Mondoukou présente un enrichissement métallique anthropique notable.

3-4. Évolution de la contamination en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

Les résultats des calculs des FC des ETM sont consignés dans le **Tableau 4**. L'évolution de ces valeurs est donnée par la **Figure 4**.

- **L'arsenic**: La contamination en As pour la grande part des échantillons est faible. Toutefois, des zones à contamination modérée sont observées. En saison des crues en l'occurrence, les zones Est, centre et Ouest de la lagune Nyouzoumou sont modérément contaminées en As. En saison sèche la contamination est également modérée, mais elle couvre une plus grande zone : lagune Nyouzoumou (Centre), lagune Tagba (Nord-Ouest) et lagune Tadio (Sud, centre et Est).
- **Le cadmium**: Les valeurs de FC obtenues indiquent des zones de contamination considérable (Est Nyouzoumou, centre Tadio et Nord-Ouest Tagba) en saison des crues. On recense aussi, de la contamination modérée en Cd (Sud et centre de la lagune Tagba, centre et Ouest de la lagune Nyouzoumou, Sud, Est et Ouest de la lagune Tadio et toute la lagune Mackey). Enfin, les faibles contaminations sont observées au Nord-Est de lagune Tagba et au Sud de la lagune Tadio. En saison sèche, nous observons une tendance à la baisse du niveau de contamination. Les échantillons sont majoritairement à faible contamination. Seules la lagune Tagba (Nord-Ouest) et la lagune Tadio (centre) enregistrent une contamination modérée.

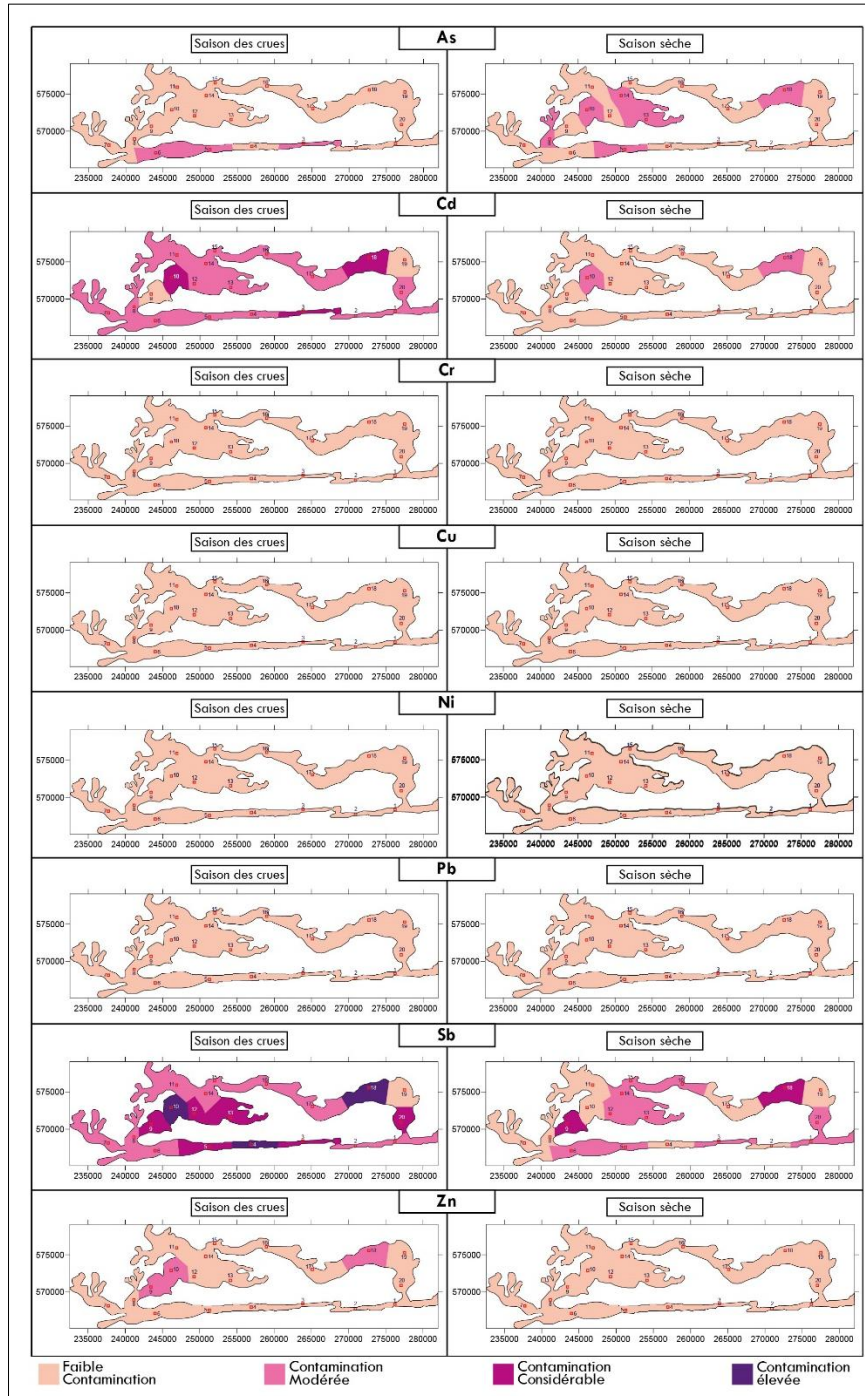
Les valeurs de FC du Cr, du Cu, du Ni et du Pb indiquent une faible contamination. En effet, elles sont toutes inférieures à 1 aussi bien en saison des crues qu'en saison sèche.

- **L'antimoine**: En saison des crues, les valeurs de FC indiquent pour la moitié des échantillons une contamination modérée. Il existe, néanmoins, des zones à contamination considérable (centre et Est de la lagune Nyouzoumou, Sud et Est de la lagune Tadio et centre de la lagune Tagba), des zones à contamination élevée (centre de la lagune Nyouzoumou, centre de la lagune Tadio et Nord-Ouest de la lagune Tagba) et des zones de faible contamination (Nord-Est de la lagune Tagba). En saison sèche, la contamination en Sb demeure toujours. On distingue des zones à contamination considérable (Centre et Sud de lagune Tagba, Est de la lagune Mackey, Est de la lagune Tadio et Est, centre et Ouest de la lagune Nyouzoumou), contamination modérée (Est, centre et Ouest de la lagune Nyouzoumou, centre et Sud de la lagune Tagba, Ouest de la lagune Mackey et l'Est de la lagune Tadio) et faible contamination (Sud-Est et Nord-, Ouest de la lagune Tagba, Est de la lagune Mackey, Sud, centre et Ouest de la lagune Tadio, centre et Ouest de la lagune Nyouzoumou).
- **Le zinc**: En saison des crues, la contamination au Zn n'est considérable qu'au Nord-Ouest de la lagune Tagba, au Sud et centre de la lagune Tadio. Les autres zones indiquent une contamination faible. En Saison sèche, les valeurs de FC indiquent une faible contamination en Zn.

Tableau 4 : Évolution de la contamination en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

	As		Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Sb		Zn		DC	
	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS	SC	SS
Min	0,06	0,27	0,95	0,16	0,03	0,02	0,03	0,07	0,07	0,06	0,12	0,00	1,05	0,48	0,06	0,02	1,62	0,85
Max	2,64	2,59	5,32	1,39	0,49	0,20	0,78	0,42	0,91	0,67	0,76	0,21	8,77	3,74	1,98	0,38	17,77	7,98
Moy	0,52	0,94	2,40	0,59	0,27	0,08	0,26	0,19	0,29	0,26	0,38	0,04	3,63	1,51	0,65	0,11	8,08	3,27

Légende : Min : Minimum ; Max : Maximum ; Moy : Moyenne ; SC : Saison des crues ; SS : Saison sèche.

**Figure 4 : Évolution spatio-temporelle de la contamination en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou**

La contamination en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou est surtout caractéristique de l'As, du Cd et du Sb. Toutefois, il faut signaler que cette contamination demeure modérée pour la grande partie des échantillons. À l'échelle du sédiment, l'évolution des DC (*Figure 5*) a révélé à certains endroits, des sédiments considérablement contaminés notamment en saison des crues au centre de la lagune Tadio. Cependant, la large part des échantillons présente une contamination modérée en saison des crues et une contamination faible en saison sèche pour tous les échantillons. Ainsi, la contamination des sédiments de la lagune de Grand-Lahou serait tributaire des apports continentaux. Les valeurs élevées de contamination, particulièrement en saison des crues, semble confirmer des apports fluviaux et continentaux. Au Bénin, dans les rivières et les plans d'eau du Bas-Ouémé, une baisse similaire des niveaux de FC des sédiments de la saison des pluies à la saison sèche est constatée [24]. Par contre, les sédiments du lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto au Togo ont des valeurs de FC majoritairement faibles et indiquant une faible contamination métallique [25]. De plus, on n'observe pas de variation notable d'une saison à l'autre. Dans le bassin de Boumerzoug en Algérie des DC du niveau faible au niveau considérable ont été relevés [19]. Ces observations corroborent bien les résultats de la présente étude en saison des crues.

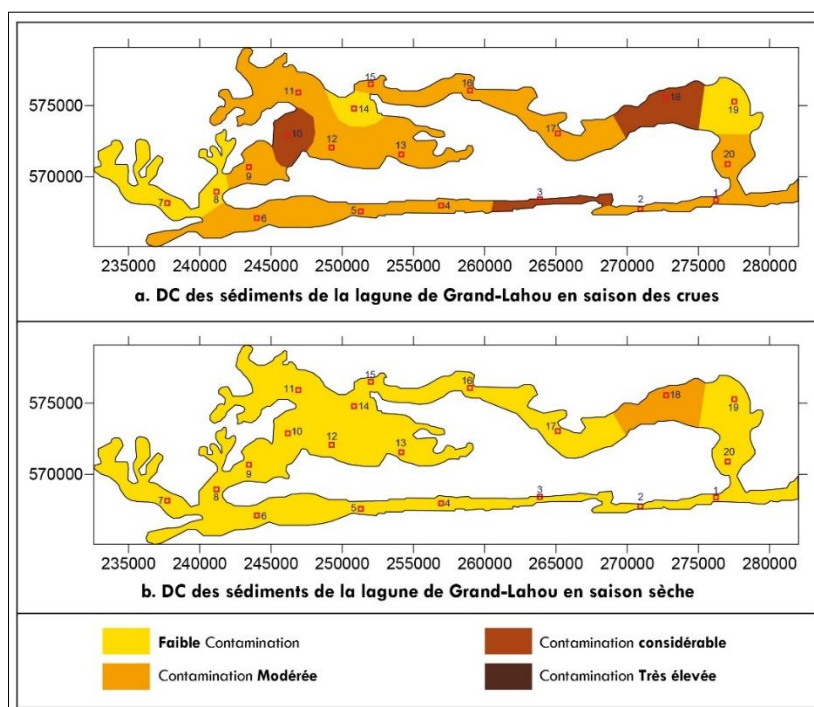


Figure 5 : Évolution de la contamination en ETM des sédiments de la lagune de Grand-Lahou

4. Conclusion

Les investigations sur les sédiments de la lagune de Grand-Lahou ont montré l'abondance du Zn, du Cr, du Pb et du Ni en terme de concentration. Aussi, le calcul de l'Igeo, du FE, FC et DC des ETM permet-il d'identifier les niveaux de contamination de ces sédiments. L'Igeo pour sa part, indique que les sédiments de la lagune de Grand-Lahou sont modérément pollués en As, Cd et Sb. Le FE révèle que l'enrichissement de ces sédiments est du fait des activités humaines. Les ETM particulièrement responsables de cet enrichissement sont l'As, le Cd et le Sb. Le FC indique une contamination faible (Cr, Cu, Ni, Pb et Zn), une contamination modérée (As), une contamination considérable (Cd et Sb) et une élevée pour le Sb. Le DC montre une contamination modérée des sédiments de la lagune de Grand-Lahou. Toutefois, des exceptions sont observées en saison des crues avec

une contamination considérable (Centre et Sud de la lagune Tagba, Toute la lagune Mackey, Sud, Est et Ouest de la lagune Tadio, centre et Ouest de la lagune Nyouzoumou) et une contamination très élevées (Nord-Ouest de la Lagune Tagba, Est de la lagune Nyouzoumou et au centre de la lagune Tadio). Aussi, ces endroits requièrent une attention particulière. Ces différents enrichissements et contaminations sont majoritairement le fait d'intrusions fluviales et continentales. En définitive les résultats de cette étude montrent que les sédiments de la lagune de Grand-Lahou sont moyennement contaminés en ETM, à l'exception de quelques zones. Aussi, conviendrait-il d'étudier des carottes du plancher de la lagune afin de découvrir l'histoire de la contamination métallique de ces sédiments. Il serait aussi important de réaliser des dragages des zones à risque afin de maintenir la meilleure qualité de cet environnement. Enfin, les responsables politiques et administratives en charge de régions qui couvrent la lagune de Grand-Lahou devrait prendre la mesure de l'importance de cet écosystème. Des travaux de monitoring de la contamination en ETM devrait se tenir régulièrement. Ainsi, nous pourrions mettre en œuvre des projets de gestion durable et de préservation de la lagune de Grand-Lahou.

Références

- [1] - R. R. LANKFORD, « Coastal lagoons of Mexico : their origin and classification. », M. Wiley (Ed.), Estuarine Processes. *Academic Press*, Vol. 2, (1977) 182 - 215
- [2] - K. P. ANOH, « Stratégies comparées de l'exploitation des plans d'eau lagunaire de Côte-d'Ivoire. » *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 251 (2010) 347 - 363
- [3] - O. DEMBELE, « Panorama des villes du littoral ivoirien *in* Géographie littoral de Côte d'Ivoire : Éléments de réflexion pour une politique de gestion intégrée. », (2008) 65 - 82 p.
- [4] - CENTRE ECOTOX, « Toxicité des sédiments. Fiche d'information. Centre d'écotoxicologie appliquée de la Suisse. », (2012), www.centreecotox.ch
- [5] - T. E. WANGO, K. AFFIAN, E. V. N. DJAGOUA, KABA et J. ABE, Hydrodynamique du complexe lagunaire Grand-Lahou, Ébrié, Aby (Côte d'Ivoire) par modélisation numérique. *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat*, Section Sciences de la Terre, N°36 (2014) 45 - 58 p.
- [6] - M. W. EGNANKOU, A. GNAGBO, J. P. F. PAGNY et M.-S. TIEBRE, Gestion durable des mangroves du complexe lagunaire de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire) dans un contexte de pressions anthropiques. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 17, N°2 (2023) 512 - 526 p.
- [7] - J. R. DURAND et M. SKUBICK, « Les lagunes ivoiriennes. » *Aquaculture*, 27 (3) (1979) 211 - 250 p.
- [8] - H. BEN BOUIH, H. N. ASSALI, M. LEBLANS et A. SRHIRI, « Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). » *Afrique SCIENCE*, 01 (1) (2005) 109 - 125
- [9] - G. MÜLLER, « Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River ». *Geojournal.*, Vol. 2, (1969) 109 - 118 p.
- [10] - K. H. WEDEPOHL, « The composition of continent crust. » *Goechimica and cosmochimica Acta*, 59 (7) (1995) 1217 - 1232 p.
- [11] - S. LUOMA et P. S. RAINBOW, « Metal contamination in aquatic environment. » *Science and lateral management*, Cambridge, (2008) 573 p.
- [12] - A. LARROSE, A. COYNEL, J. SCHÄFER, G. BLANC, L. MASSE et E. MANEUX, « Assessing the current state of the Gironde Estuary by mapping priority contaminant distribution and risk potential in surface sediment. » *Applied Geochemistry*, 25 (2010) 1912 - 1923
- [13] - N. CUKROV, S. FRANCISKOVIC-BILINSKI, B. HLACA et D. BARISIC, « A recent history of metal accumulation in the sediments of Rijeka harbor, Adriatic Sea, Croatia. » *Marine Pollution Bulletin*, 62 (2011) 154 - 167

- [14] - R. A. SUTHERLAND, « Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. » *Environmental Geology*, Vol. 39, (2000) 611 - 637 p.
- [15] - H-N. ZHU, X-Z. YUAN, G-M. ZENG, M. JIANG, J. LIANG, C. ZHANG, J. YIN, H-J. HUANG, Z-F. LIU et H-W. JIANG, « Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Xiawan Port based on modified potential ecological risk index. » *Trans. Nonferrous Met. Soc., Chine*, Vol. N°22 (2012) 1470 - 1477 p.
- [16] - M. H. REZAIE-BOROON, V. TORESS, S. DIAZ, T. LAZZARETTO, M. TSANG et D. D. DEHEYN, The Geochemistry of Heavy Metals in the Mudflat of Salinas de San Pedro Lagoon, California, USA. *Journal of Environmental Protection*, Vol. 4, (2013) 12 - 25 p.
- [17] - L. L. HAKANSON, « An ecological risk index aquatic pollution control, a sedimentological approach, » *Water Research*, 14 (8) (1980) 975 - 1001
- [18] - D. HAMSSA, K. N. SALIHA, K. DOUNIA et A.-M. FATIMA-ZOHRA, « Teneurs Des Éléments Traces Métalliques Cu, Zn Et Pb Des Sédiments Du Barrage Béni Haroun (Nord-Est De l'Algérie). » *European Scientific Journal*, Edition, Vol. 14, N°15 (2018)
- [19] - L. SAHLI, E. H. M. EL OKKI, F. Z. AFRI-MEHENNAOUI et S. MEHENNAOUI, Utilisation d'indices pour l'évaluation de la qualité des sédiments : cas du bassin Boumerzoug (Algérie). *European Scientific Journal*, édition Vol. 10, N°35 (2014)
- [20] - E. DIANGONE, Y. N'GUESSAN, L. TOALO, S. MONDE et A. COULIBALY, Évaluation de la Pollution Métallique des Sédiments Superficiels de la Lagune Potou en Période d'étiage (Littoral de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, ESJ, 16 (33) (2020) 70
- [21] - A. S. COULIBALY, E. M. AMANI, A. C. AKOBE, S. MONDE, K. AKA et G. BLANC, « Caractérisation des indices de pollution (Igeo, PLI, TEC et PEC) d'un environnement estuarien à forte pression anthropique : la Baie de Biétry (Côte d'Ivoire, Golf de Guinée). » *International Journal of Advanced Information Science and Technology*, Vol. 3, N°12 (2014)
- [22] - A. TRAORE, G. SORO, K. E. AHOUSSE, B. S. BAMBA, N. SORO et J. BIEMI, « Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). » *Afrique Science*, 10 (3) (2014) 73 - 88
- [23] - C. A. GOUIN, N. AKA, 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). » *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (2) (2016) 835 - 845
- [24] - S. OROU GOURA, F. M. GOUISSI, A. S. Y. HOUNKPATIN, W. B. YESSOUFOU, T. S. BIAOU et N. M. FASSINO, « Evaluation of Agricultural Contamination Level by Heavy Metals and Pesticides in Sediments of Rivers and Water Bodies for Shrimp Fishing in the Lower Oueme : Case of the Aguigadji, Ahlan and Sele Stations in Benin. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 14 (2024) 25 - 46
- [25] - A. KOUDJO, O. S. KAMILLOU et S. H. DHEOULABA, « État de la contamination en éléments traces des sédiments du Lac du Barrage Hydroélectrique de Nangbéto (Togo). » *Environnement, Ingénierie & Développement*, 85 (2021) 12 - 25