

QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE DES SÉDIMENTS SUPERFICIELS DU SYSTÈME LAGUNAIRE DE GRAND-LAHOUE, SUD-OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE

Guy Richard N'dri KOUADIO^{1*}, Loukou Nicolas KOUAME²,
Natchia AKA³ et Sylvain MONDE²

¹ Université Alassane Ouattara, UFR des Sciences et Technologies,
Laboratoire de SV-T, BP V18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

² Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, UFR des Sciences de la terre
et des Ressources Minières, Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales
et énergétiques, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

³ Center de Recherches Océanologiques d'Abidjan, Laboratoire de Physique
et Géologie Marine, BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire

(reçu le 11 Septembre 2025 ; accepté le 17 Novembre 2025)

* Correspondance, e-mail : guyrichardkouadio94@gmail.com

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité environnementale des sédiments superficiels du système lagunaire de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). A cet effet, une campagne d'échantillonnage des sédiments a été menée. Les sédiments prélevés ont été analysés par spectroscopie de fluorescence X (XRF) dans le but de déterminer leurs concentrations en éléments traces métalliques (ETM). Ensuite, l'estimation du niveau de la contamination des sédiments a été faite en comparant les concentrations des métaux à des valeurs guides. Au total, quarante-huit éléments chimiques ont été identifiés dans les sédiments. Deux groupes d'éléments traces métalliques apparaissent : 1) le cadmium (2,62 à 5,05 ppm), le chrome (58,8 et 264,1 ppm), le nickel (26,4 à 75,5 ppm) et l'Arsenic (entre < 0,7 à 34,5 ppm) ont les plus fortes concentrations, dépassant le seuil des concentrations produisant un effet. 2) le tantale et le bismuth ne subissent pas de variation significative, et les teneurs sont très faibles (inférieures à 1,2 ppm). A la lumière des résultats obtenus, le système lagunaire de Grand-Lahou apparaît comme un secteur problématique pour la contamination des sédiments par le cadmium, le chrome, le nickel et l'arsenic. Cependant, cette étude ne permet pas de définir l'ampleur de cette contamination. En tant que perspective, une stratégie de surveillance est une nécessité pour améliorer l'état environnemental de ce milieu aquatique.

Mots-clés : contamination, sédiments, système lagunaire, Grand-Lahou, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Environmental Quality of Surface Sediments in the Grand-Lahou Lagoon System, South-Western Côte d'Ivoire

The objective of this study is to assess the environmental quality of surface sediments in the Grand-Lahou lagoon system (South-Western Côte d'Ivoire). To this end, a sediment sampling campaign was conducted. The collected sediments were analyzed using X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) to determine their concentrations of trace metal elements (TMEs). Subsequently, the level of sediment contamination was estimated by comparing metal concentrations with guideline values. In total, forty-eight chemical elements were identified in the sediments. Two groups of trace metal elements were identified: (1) cadmium (2.62 to 5.05 ppm), chromium (58.8 to 264.1 ppm), nickel (26.4 to 75.5 ppm), and arsenic (from <0.7 to 34.5 ppm) show the highest concentrations, exceeding the threshold levels associated with biological effects; (2) tantalum and bismuth do not show significant variation, and their concentrations are very low (less than 1.2 ppm). In light of the results obtained, the Grand-Lahou lagoon system appears to be a problematic area with regard to sediment contamination by cadmium, chromium, nickel, and arsenic. However, this study does not allow the extent of this contamination to be clearly defined. As a perspective, the implementation of a monitoring strategy is necessary to improve the environmental status of this aquatic environment.

Keywords : *contamination, sediments, lagoon system, Grand-Lahou, Côte d'Ivoire.*

I - INTRODUCTION

La caractérisation de la qualité des sédiments de fond des milieux aquatiques constitue un enjeu majeur en terme de connaissance des zones où les risques de pollution sont plus importants, mais également de gestion de ces milieux et leurs ressources naturelles. Les conséquences des contaminants métalliques associés aux sédiments peuvent être catastrophiques pour les écosystèmes aquatiques et les populations locales dont le développement dépend des réserves d'eau dont elles disposent [1]. En effet, les sédiments piègent les polluants métalliques potentiellement toxiques [2]. Lorsque les phénomènes de remobilisation et de remise en suspension des sédiments surviennent dans la colonne d'eau, ces polluants métalliques piégés dans les sédiments sont susceptibles d'être relargués [3] contaminant ainsi les eaux et les organismes vivants [4]. Ce genre de dommage a déclenché une prise de conscience à l'échelle internationale et locale, et a mené de nombreux chercheurs à étudier l'état de contamination des eaux et des sédiments [5 - 8]. En Côte d'Ivoire, les eaux et les sédiments sont confrontés à un phénomène alarmant de pollution et

de contamination qui menace gravement l'environnement [9]. La charge en éléments traces métalliques dans ces milieux saumâtres nécessite, dans ces dernières années, une attention particulière. Elle est à l'origine de la dégradation des ressources naturelles [10]. En vue de sensibiliser la population et les autorités sur l'ampleur de cette pollution, de nombreuses investigations ont été menées sur les sédiments des rivières [11], des lagunes [9, 10] et des estuaires [12, 13]. A grand-Lahou, la pêche artisanale est la principale activité économique. Le système lagunaire, constitue donc une importante source de subsistance et une source de revenu pour les populations riveraines. Malheureusement, il est de plus en plus menacé par des phénomènes sédimentaires et de pollution des eaux [14]. Les études réalisées par [15] ont montré l'impact de la mise en œuvre du projet de construction du chenal sur l'hydrologie et l'hydrochimie des eaux de l'estuaire. De ce fait, une surveillance des réservoirs de polluants (ou des teneurs en métaux lourds présents dans les sédiments) permettra de suivre l'évolution des paramètres de qualité des eaux lagunaires de Grand-Lahou. Il semblait donc nécessaire de déterminer les éléments métalliques dans les sédiments pour une meilleure gestion des ressources naturelles. L'objectif de cette présente étude est d'évaluer la qualité environnementale des sédiments superficiels.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Site de l'étude

La présente étude a été réalisée dans la zone estuarienne de Grand-Lahou. Ce milieu transitoire se situe à l'extrême Sud du littoral Ivoirien, entre 5°9 et 5°12 de l'altitude Nord d'une part et d'autre part, entre 4°56 et 5°70 de longitude Ouest (**Figure 1**). L'embouchure est l'unique débouché en mer du système lagunaire (les lagunes Nyouzoumou, Tagba, les canaux de Groguida et d'Azagny), du fleuve Bandama et de la rivière Boubo. Ce système lagunaire possède les profondeurs allant de 0,4 à 15 mètres avec une profondeur moyenne de 3,8 mètres [16,17]. Le fleuve Bandama prend sa source au Nord de la Côte d'Ivoire et s'écoule sur une longueur d'environ 1050 km avec un bassin versant d'environ 97500 km².

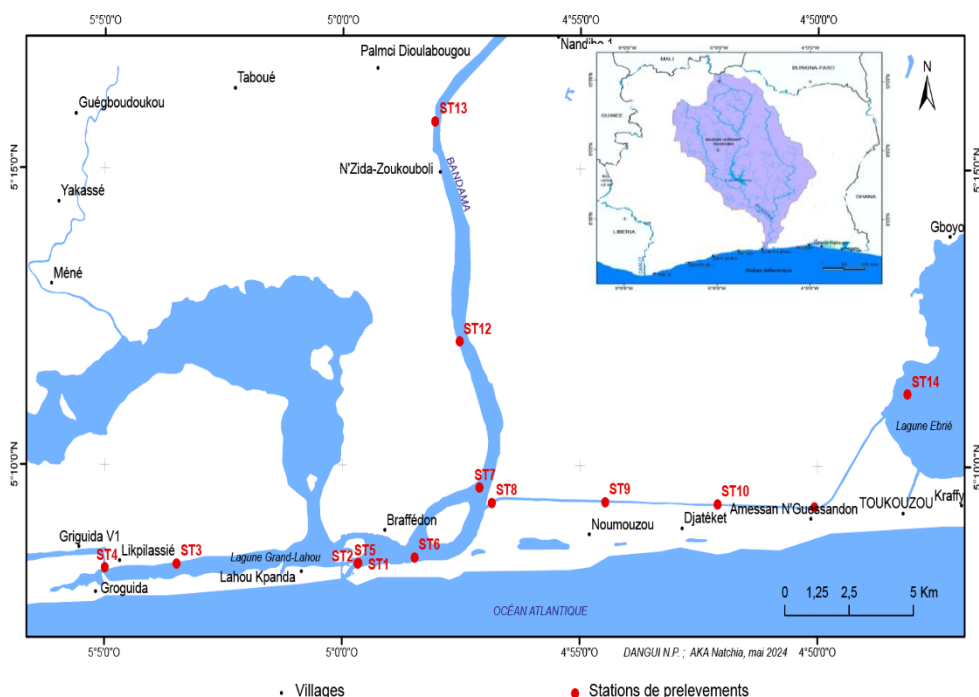


Figure 1 : Localisation du système lagunaire de Grand-Lahou et les stations d'échantillonnage

II-2. Matériel

Le matériel utilisé dans cette étude est constitué de :

- ❖ Matériel de terrain : il s'agit d'un GPS pour déterminer les coordonnées géographiques des différents points de prélèvement, les outils de prélèvement et de conservation des échantillons de sédiments (benne de type Van Veen, une glacière, des sachets, etc.), une pirogue à moteur pour le déplacement sur le plan d'eau (**Figure 2 A**).
- ❖ Matériel de laboratoire : il s'agit d'un vibro-broyeur pour broyer les échantillons, des appareils (un spectromètre de fluorescence X (**Figure 2 B**), relié à un ordinateur avec les logiciels) pour la détermination des éléments chimiques entrant dans la composition de l'échantillon.



A. pirogue à moteur

B. spectromètre à fluorescence X

Figure 2 : Photos montrant le matériel utilisé

II-3. Méthodes

II-3-1. Echantillonnage

La présente partie décrit les protocoles d'échantillonnage. Les prélèvements de sédiments sont faits dans quatorze (14) stations accessibles, à l'aide d'une benne de van veen. A chaque station, la benne est descendue avec ses deux mâchoires ouvertes, à l'interface eau-sédiment. Les deux mâchoires se referment, emprisonnant ainsi une certaine quantité de sédiments. Les échantillons recueillis au cœur de la benne (**Figure 3**), sont placés dans des sachets plastiques, puis conservés dans une glacière à une température de 4°C environ avant leur transmission au laboratoire du centre d'analyses et de recherche de la Société Nationale d'Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire (PETROCI).



Figure 3 : *Photos montrant la technique d'échantillonnage*

II-3-2. Traitement des échantillons

Au laboratoire, les échantillons sont séchés à l'étuve (40°C) pendant 24 heures. Le broyage de chaque échantillon (5 grammes environ) est ensuite réalisé avec un vibro-broyeur pour obtenir une granulométrie très fine (une poudre fine).

II-3-3. Préparation des pastilles

Après l'étape de traitement des échantillons, nous avons préparé les pastilles. Cette préparation consiste à mélanger une petite quantité d'échantillon (1 gramme de poudre fine) dans le bromure de potassium. Ce mélange est ensuite compressé sous haute presse pour former un disque solide et transparent. Cette procédure permet d'obtenir des échantillons sous forme de pastilles. Ces pastilles sont par la suite analysées par un spectromètre à fluorescence X avec une limite de quantification de 0,1 ppm.

II-3-4. Analyse XRF

Les éléments chimiques présents dans les échantillons sont déterminés par spectrométrie de fluorescence X (XRF). La spectrométrie est une technique d'analyse élémentaire qui utilise des rayons X. Elle permet à partir d'un rayonnement secondaire de récolter un spectre élémentaire caractéristique de l'échantillon analysé [18]. L'échantillon est placé sous un faisceau X qui par interaction avec la matière engendre le passage d'un état fondamental à un état excité.

II-3-5. Évaluation de la qualité environnementale des sédiments

Les valeurs de référence choisies dans cette étude pour évaluer la qualité des sédiments sont celles définies par la législation française le 14 juin 2000, les valeurs du fond géochimique de la croûte continentale (**Tableau 1**), celles établies par le conseil Canadien des ministres de l'environnement (**Tableau 2**) et les valeurs TEC et PEC de [19] (**Tableau 3**).

Tableau 1 : *Seuils N1, N2 (en µg/g) fixés par la législation française (14 juin 2000) et fond géochimique de la croûte continentale [20]*

	AS	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
N1	25	1,2	90	45	0,4	37	100	276
N2	50	2,4	180	90	0,8	74	200	552
UCC	2	0,1	35	14,3	0,06	18,6	17	52

Deux seuils N1 et N2 ont été définis. Le seuil N1 est un niveau en dessous duquel l'impact potentiel est jugé négligeable. Le seuil N2 est une valeur seuil au-dessus de laquelle il est probable d'observer un impact négatif sur l'environnement.

Tableau 2 : *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments d'eau douce [21]*

Substances	Concentrations (mg /kg)				
	CER	CSE	CEO	CEP	CEF
Arsenic	4,1	5,9	7,6	17	23
Cadmium	0,33	0,6	1,7	3,5	12
Chrome	25	37	57	90	120
Cuivre	22	36	63	200	700
Mercure	0,094	0,17	0,25	0,49	0,87
Nickel	ND	ND	47	ND	ND
Plomb	25	35	52	91	150
Zinc	80	120	170	310	170

Cinq seuils ont été définis pour l'évaluation de la qualité des sédiments d'eau douce. La CER (concentration d'effets rares) désigne la limite de concentration en dessous de laquelle les contaminants ont des effets sur les sédiments. Les CSE (concentration seuil produisant un effet), CEO (concentration d'effets occasionnels), CEP (concentration produisant un effet probable), CEF (concentration d'effets fréquents) représentent les concentrations au-dessus desquelles les contaminants ont des effets sur les sédiments.

Tableau 3 : Valeurs de TEC et de PEC de [19]

ETM	Cu	Cr	Zn	As	Cd	Pb
TEC (mg/kg)	31	43,3	121	9,79	0,99	35,6
PEC (mg/kg)	149	111	459	33	4,98	128

La TEC (Threshold Effect Concentration) est la limite de concentration en dessous de laquelle les contaminants n'ont pas d'effets. La PEC (Probable Effect Concentration) est la concentration au-dessus de laquelle les contaminants ont des effets.

III - RÉSULTATS

III-1. Éléments non métalliques

Les concentrations des éléments non métalliques obtenues après analyse XRF, dans les sédiments superficiels de chacune des quatorze (14) stations de prélèvement sont présentées dans le **Tableau 4**. Les concentrations de ces éléments non métalliques (phosphore, soufre, chlore, sélénium, brome, iode) varient respectivement entre 435 et 2622 ppm ; 830,8 et 56440 ppm ; 105,2 et 200000 ppm ; 0,1 et 2,1 ppm ; 1,3 et 176,9 ppm et entre 44,7 et 127,1ppm. Les répartitions du phosphore et du soufre, montrent des concentrations les plus élevées dans les canaux d'Azagny et du fleuve Bandama, et des concentrations les moins importantes au niveau de l'estuaire et dans le canal de Groguida. Les sédiments de l'estuaire et du canal d'Azagny contiennent les fortes concentrations en chlore et brome. En ce qui concerne les concentrations en iode, elles se situent en dessous de 95 ppm sauf au débouché du fleuve Bandama (ST7) où est enregistrée la valeur la plus élevée. Contrairement aux autres éléments non métalliques, le sélénium est très faiblement concentré dans les sédiments. Les concentrations se situent entre 0,1 et 0,3 ppm et restent inférieures à 0,5 ppm sauf au voisinage de N'zida (ST13) qui est 2,1 ppm.

Tableau 4 : *Variation des concentrations (en ppm) en éléments non métalliques (P, S, Cl, Se, Br, I) dans les sédiments superficiels*

Secteur	Ech	P	S	Cl	Se	Br	I
Canal de Goguida	ST4	501,4	9376	12150	< 0,5	22,6	58,2
estuaire	ST1	1720	3561	6586	< 0,5	20,6	44,7
	ST2	1716	2290	5219	< 0,5	7,2	71,1
	ST3	435	4203	200000	0,3	176,9	73,1
	ST5	1125	5053	9010	< 0,5	27	57,7
	ST6	717	5637	69110	< 0,5	140,9	69,4
Canal d'Azagny	ST8	452	10460	130100	0,2	111,1	65,4
	ST9	975	4934	1473	< 0,5	3,9	56,3
	ST10	948,8	20930	796	< 0,5	6,1	55,1
	ST11	1015	1911	810,2	< 0,5	2,8	94,4
	ST14	2051	56440	3998	0,3	54,9	54,7
Canal du fleuve Bandama	ST7	1254	9260	1125	0,1	13,3	127,1
	ST12	720,1	830,8	119,1	< 0,5	1,3	48,4
	ST13	2622	1776	105,2	2,1	3,8	50,3

III-2. Éléments majeurs

Les variations spatiales des éléments majeurs et leurs concentrations dans les sédiments superficiels, en fonction des stations d'échantillonnage sont indiquées dans le **Tableau 5**. Les concentrations de silicium, aluminium et du fer sont plus élevées. La plus faible concentration de silicium est observée dans le secteur estuarien (ST3) avec 27520 ppm. Celles d'aluminium sont comprises entre 8509 et 21900 ppm. Quant au fer, les concentrations se trouvent dans l'intervalle de 8432 à 105000 ppm. De manière décroissante, l'abondance des autres éléments majeurs s'établit comme suit : CaO (2204 à 24810 ppm) > TiO₂ (2166 à 11000 ppm) > K₂O (1117 à 9819 ppm) > Na₂O (1018 à 9300 ppm) > MgO (< 34 à 6402 ppm).

Tableau 5 : *Variation des concentrations (en ppm) en éléments majeurs dans les sédiments superficiels*

Secteur	Ech	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂
Canal de Groguida	ST4	153000	15830	11760	2241	495	14880	3608	11000
estuaire	ST1	531300	59800	43600	8950	5296	6229	8710	5733
	ST2	309200	8509	8432	1279	< 34	4356	2738	2166
	ST3	27520	18480	63210	2273	1670	3969	1117	4779
	ST5	453300	61860	50450	9300	6402	24810	9315	4801
	ST6	150700	52480	61650	8559	4331	7705	5604	7211
Canal d'Azagny	ST8	70080	24610	48040	1818	2570	3129	3496	5909
	ST9	504400	53990	14330	2876	1151	4352	9819	6591
	ST10	390800	73610	23130	3148	2104	4741	8578	6888
	ST11	460300	20860	14940	1018	< 61	2204	4381	3170
	ST14	358600	121900	56670	5680	5795	6570	7106	6904
Canal du fleuve Bandama	ST7	437300	120600	57930	3512	4402	3929	8213	8451
	ST12	553600	47780	10740	3638	209,3	4427	8363	6727
	ST13	416800	90070	105000	4079	746	3454	6002	8150

III-3. Éléments traces métalliques (ETM)

Les teneurs (minimum, maximum et moyennes) des ETM déterminées dans les sédiments sont présentées dans le **Tableau 6**. Ces teneurs montrent des différences de composition chimique des sédiments. Certains éléments (en occurrence le Baryum ; le Zirconium ; le Manganèse ; le Vanadium ; le Chrome ; le Strontium et le Césium) sont présents dans les sédiments à des teneurs trop élevées. Sur le plan spatial, les plus fortes concentrations sont observées dans les canaux d'Azagny et du fleuve Bandama. En revanche, d'autres telles que les teneurs en tantale et en bismuth sont beaucoup plus faibles et restent inférieures à 1 et 1,2 ppm, respectivement.

Tableau 6 : *Variation des concentrations minimum, maximum et moyennes (en ppm) en éléments traces dans les sédiments superficiels*

	Estuaire			Canal d'Azagny			Canal du fleuve Bandama		
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
V	<1,8	126	69,9	<1,8	89	60,7	<1,8	403	222,5
Cr	58,8	264,1	151	106,4	221,7	164,36	81,8	268,7	184,06
Mn	121,4	568,3	356,65	158,1	292,2	213,1	153	417,5	315,13
Co	< 3,9	27,8	20,85	< 7,8	23,4	18,7	< 3,9	26,6	20,9
Ni	26,4	75,5	49,1	29,5	69,8	48,3	31,1	66,7	49,43
Cu	5,9	32,7	16,15	6,8	41,1	21,08	9,5	29,3	18,06
Zn	8,7	97,1	47,5	11,9	172,1	59,08	21,1	102,3	63
Ga	2,5	21,5	11,45	3,7	17,9	10,62	6,4	16,8	12,56
Ge	0,3	0,9	0,63	< 0,5	0,9	0,8	< 0,5	0,9	-
As	< 0,7	25	14,62	< 0,7	4,5	3,13	< 0,7	34,5	18,8
Rb	12,4	58,5	34,1	17,9	52,6	39,78	32,7	57	47,6
Sr	55,9	210,2	107,1	68,6	142,3	112,52	109,8	120,9	115,33
Zr	110,6	831,9	352,41	262,9	759,1	437,54	423,9	1203	794,86
Nb	0,8	12,8	8,08	5,3	11,1	8,08	6,1	13,2	10,53
Mo	1,5	3,7	2,71	< 1	5,6	4,85	< 1	7,1	4,85
Ag	30,6	57,5	42,1	33,8	71,4	49,94	19,9	83,1	47,6
Cd	2,62	5,05	3,61	3,01	6,25	4,276	1,98	7,48	4,3
Sn	30,5	81,3	49,71	40,9	100,2	62,44	16,6	118,6	59,3
Sb	65,8	126,4	88,91	78,1	119,3	98,5	51,5	190,5	107,26
Te	53,9	115,8	79,15	67,1	148,6	96,06	48,8	179,5	99,66
Cs	140,2	249	182,9	168	325,1	215,26	122	445	245,7
Ba	294	621	439,33	474	596	538,26	418	879,5	591,93
Hf	3,1	10,8	4,78	4,9	10,9	6,6	7,9	16,8	12,16
Ta	-	< 1,2	-	-	< 1,2	-	-	< 1,2	-
W	2,2	5	3,28	2,7	4,1	3,26	3,2	3,8	3,56
Hg	< 1	0,9	-	< 1	0,9	-	< 1	0,4	-
Tl	0,3	0,9	0,55	0,2	0,8	0,5	0,4	0,5	0,46
Pb	6,4	25,1	13,41	5,2	26,2	12,78	7,4	27,2	17,1
Bi	-	< 1	-	-	< 1	-	-	< 1	-
Th	2	12,6	7,5	2,8	9,1	6,04	3,6	15,6	9,23
U	0,4	1,7	0,96	0,6	2	1,1	< 1	3,1	2,2

III-4. Terres rares

Dans les sédiments superficiels du système lagunaire de Grand-Lahou, trois éléments de la famille des terres rares ont été identifiés. Il s'agit : du lanthane (La) ; du Cérium (Ce) et de l'Yttrium. L'élément le plus abondant est le lanthane (La), avec une concentration moyenne de 261,64 ppm. Les

concentrations de cet élément sont beaucoup plus élevées dans les canaux d’Azagny et du fleuve Bandama sauf aux stations ST10 et ST14 où il apparaît moins concentré (**Tableau 7**). Dans ces secteurs aquatiques, les sédiments renferment également de fortes teneurs en Ce par rapport à ceux du secteur estuarien. Pour le troisième élément (Y), les concentrations varient entre 2,4 et 16,9 ppm. L’ordre d’abondance des terres rares dans les sédiments s’établit alors : La > Ce > Y.

Tableau 7 : *Variation des concentrations (en ppm) en terres rares (TR) dans les sédiments superficiels*

Secteur	Ech	La	Y	Ce
Canal de Groguida	ST4	191	4,5	171
estuaire	ST1	219	7,2	127
	ST2	430	2,4	244
	ST3	223	15,5	140
	ST5	281	7,5	189
	ST6	315	15,3	139
Canal d’Azagny	ST8	324	13	215
	ST9	200	7,1	167
	ST10	< 2	8,7	112
	ST11	425	4,3	287
	ST14	< 2	16,9	167
Canal du fleuve Bandama	ST7	610	14,8	676
	ST12	249	7,7	121
	ST13	193	13,7	137
Moyenne		261,64	9,9	206,57

III-5. Diagnostic environnemental de la qualité des sédiments

Le diagnostic environnemental de la qualité des sédiments consiste en l’analyse des métaux lourds et métalloïdes (en occurrence le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb, le zinc, le mercure et l’arsenic). Leurs concentrations moyennes, et mêmes maximales, donnent une idée de la qualité des sédiments du système lagunaire de Grand-Lahou. Les concentrations de cadmium, mesurées dans le secteur estuarien ; les canaux d’Azagny et du fleuve Bandama s’échelonnent entre 2,62 et 5,05 ppm avec une moyenne de 3,61 ppm ; 3,01 et 6,25 ppm avec une moyenne de 4,276 ppm ; et 1,98 et 7,48 ppm avec une moyenne de 4,3 ppm respectivement. Dans ces trois zones étudiées, les concentrations moyennes et mêmes maximales sont toutes supérieures à la concentration canadienne produisant un effet probable (fixée à 3,5 mg / kg) et se situent au-delà du seuil N2 (50 µg/g fixé par la législation française). Les concentrations obtenues pour le cadmium indiquent donc que les sédiments sont de très mauvaise qualité. Concernant le chrome, dans la zone estuarienne, les concentrations sont comprises entre 58,8 et 264,1 ppm

avec une moyenne de 151 ppm ; et entre 106,4 à 221,7 ppm avec une moyenne de 164,36 ppm dans le canal d'Azagny. Ces concentrations dépassent le seuil CEP (concentration canadienne produisant un effet probable, fixée à 90 mg / kg) et sont comprises entre les seuils N1 (90 µg/g) et N2 (180 µg/g) de contamination des sédiments, définis par la législation française. Dans le tronçon fluvial, cet élément présente des concentrations moyennes (184,06 ppm) et maximales (268,7 ppm) excédant le seuil CEP et le seuil N2 de contamination des sédiments. Les concentrations en cuivre sont comparables d'un secteur à un autre. Elles oscillent entre 5,9 et 32,7 ppm dans l'estuaire avec une moyenne de 16,15 ppm ; entre 6,8 et 41,1 ppm avec une moyenne de 21,08 ppm dans le canal d'Azagny et entre 9,5 et 29,3 ppm dans le tronçon fluvial. Elles sont inférieures aux concentrations canadiennes à effets rares (CER : 22 mg / kg) et au seuil N1 (90 µg/g) de contamination des sédiments d'eau douce. Ce métal présente aussi % de ces teneurs comprises entre le TEC et le PEC. Il ne constitue pas un danger pour le milieu (en occurrence les organismes benthiques. Les teneurs en mercure et en nickel dans les sédiments présentent des fluctuations similaires dans l'ensemble des stations. Pour le mercure, les concentrations relevées sont inférieures à 1 ppm.

Elles vont de 0,4 à 0,6 ppm. Nous notons, toutefois, que dans le secteur estuarien, par endroits (ST1 et ST6) et dans le canal d'Azagny, notamment à la station ST10, les teneurs en mercure dépassent le seuil N2 (180 µg/g) de contamination des sédiments. Les concentrations moyennes en nickel restent assez proches d'une zone à une autre. Au niveau de l'estuaire, du canal d'Azagny et du tronçon fluvial, nous observons respectivement des concentrations moyennes de 49,1 ppm ; 48,3 ppm et 49,43 ppm. Ces teneurs moyennes en nickel sont légèrement au-dessus de la concentration à effets occasionnel (CEO), fixée à 47 mg / kg par le conseil canadien et du seuil N1 (90 µg/g) fixé par la législation française. La répartition spatiale des concentrations en zinc a révélé un gradient décroissant du tronçon fluvial (21,1 à 102,3 ppm avec une moyenne de 63 ppm) et du canal d'Azagny (11,9 à 172,1 ppm avec une moyenne de 59,08 ppm) vers l'estuaire (8,7 à 97,1 avec une concentration moyenne de 47,5 ppm). Comme le cuivre, le zinc ne constitue pas une menace pour les organismes benthiques. Ses concentrations sont en dessous du seuil N1 fixé à 276 µg/g par la législation française et du PEC. Les teneurs en plomb montrent des variations en fonction des sites d'échantillonnage. Les teneurs les plus faibles se retrouvent dans les sédiments de l'estuaire (6,4 à 25,1 ppm avec une moyenne de 13,41) et du canal d'Azagny (5,2 à 26,2 ppm avec une teneur moyenne de 12,78 ppm). Au contraire, les concentrations les plus élevées s'observent dans les sédiments du tronçon fluvial. Elles vont de 7,4 à 27,2 ppm avec une moyenne de 17,1 ppm. Dans l'ensemble, les concentrations sont très éloignées du seuil N1 (100 µg/g) et de

la concentration canadienne à effets rares (CER), fixé à 25 mg / kg. Elles sont également inférieures au TEC. Les sédiments sont donc jugés non affectés par le plomb. Les concentrations en arsenic sont comprises entre < 0,7 à 34,5 ppm. Les plus fortes teneurs sont de l'ordre de 34,8 ppm, 25 ppm et 21 ppm et se trouvent respectivement dans les sédiments du tronçon fluvial (précisément à la station ST13) et de l'estuaire (aux stations ST1 et ST5). Ces valeurs sont supérieures à la concentration canadienne (17 mg / kg) produisant un effet probable.

IV - DISCUSSION

Le but de ce travail est la détermination des concentrations totales des éléments chimiques et l'évaluation de la qualité des sédiments.

IV-1. Variabilité spatiale de la composition chimique des sédiments

Les sédiments de surface du système lagunaire de Grand-Lahou sont caractérisés par une grande variabilité géochimique. Quarante-huit (48) éléments ont été identifiés et regroupés en 4 groupes (éléments non métalliques, éléments majeurs, éléments traces métalliques et terres rares). La présence massive des éléments chimiques dans les sédiments pourrait s'expliquer du fait que le système lagunaire reçoit, sous influence du drainage, des produits chimiques utilisés dans les plantations environnantes [22]. D'importantes quantités de phosphore, chlore et soufre sont observées, avec toutefois des variations dans les niveaux de concentration, d'un secteur à un autre. Les sédiments du canal d'Azagny contiennent plus de phosphore, chlore et soufre. Ce qui semble se justifier car dans ce même secteur, [23] ont déjà montré que les sédiments reçoivent de fortes teneurs en phosphore total. La présence en excès de ces trois éléments dans les sédiments peut s'expliquer de plusieurs manières, soit par l'arrivée d'effluents urbains (rejets d'eau résiduaire urbaine, vidange, apports diffus de composés organo-halogénés provenant du ruissellement), soit par des pratiques agricoles (épandage d'engrais phosphatés sur les terres agricoles). Lors du lessivage de ces terres agricoles, des produits phytosanitaires seraient transportés vers le système lagunaire de Grand-Lahou, qui s'accumulent dans les sédiments. En effet, dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, l'agriculture est essentiellement extensive et le lessivage des sols est important [24]. En plus, nous avons les composés chimiques issus de la pêche pratiquée dans le système lagunaire et de l'industrie agroalimentaire, située à proximité du parc national d'Azagny. Selon [22, 25], ces rejets industriels fournissent des bases azotées et phosphatées sous forme de matière organique. Sous l'effet du drainage, ces matières organiques se retrouvent dans le milieu aquatique [22].

IV-2. État de contamination des sédiments

Afin d'obtenir une vision claire de l'état de la contamination des sédiments, nous avons comparé les gammes de concentration retrouvées pour le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le zinc, le plomb et l'arsenic aux valeurs guides canadiennes et Françaises, au TEC et de PEC. Il ressort de cette comparaison une forte contamination en cadmium, chrome et Arsenic, une faible contamination en nickel et une contamination irrégulière en mercure. Ce constat a une importance notable sur les origines de ces contaminants retrouvés dans les sédiments du système lagunaire de Grand-Lahou. Ils proviennent certainement des résidus du carburant, rejets agricole et industriel. En effet, les populations riveraines en menant ses activités (pêche, tourisme) sur le plan d'eau, à l'aide des embarcations motorisées utilisent du carburant dont les résidus s'y déversent. A cette pratique, s'ajoute le lessivage des sols agricoles environnants qui est l'un des facteurs d'enrichissement des sédiments en métaux lourds [26]. L'ensemble de ces apports en éléments chimiques seraient à la base de la mauvaise qualité des sédiments au sein du système lagunaire de Grand-Lahou. Cette analyse comparative est une contribution pour la gestion des environnements aquatiques. Cependant, elle ne nous renseigne pas beaucoup sur l'état environnemental des cours d'eau [27], car la toxicité d'un élément dépend également de la nature de son association dans le sédiment.

V - CONCLUSION

Cette présente étude s'est inscrite dans le cadre d'évaluation de la qualité environnementale des sédiments superficiels du système lagunaire de Grand-Lahou. A cet effet, les échantillons prélevés ont été analysés par spectroscopie de fluorescence X (XRF). Les résultats obtenus ont révélé de très faibles concentrations de sélénium, tantale et de bismuth dans les sédiments. Quarante-huit (48) éléments ont été détectés et classés en 4 groupes (éléments non métalliques, éléments majeurs, éléments traces métalliques et terres rares). Ces résultats montrent aussi une forte contamination des sédiments superficiels en cadmium, chrome et Arsenic et une faible contamination en nickel. Les activités anthropiques (telles que les rejets d'eaux usées et des activités agricoles) contribuent probablement à la contamination des sédiments du système lagunaire de Grand-Lahou. Toutefois, cette étude ne permet pas de définir l'ampleur de cette contamination. En tant que perspective, une stratégie de surveillance est une nécessité pour améliorer l'état environnemental de ce milieu aquatique.

RÉFÉRENCES

- [1] - S. S. ANNE, Caractérisation hydro-sédimentaire des retenues de Cointzio et d'Umécuaro (Michoacan –Mexique) comme indicateur du fonctionnement érosif du bassin versant, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, (2009) 291 p.
- [2] - X. Z. WANG, Y. SHI, S. N. SHI et R. WANG, Distribution of potentially toxic elements in sediment of the Anning River near the REE and V-Ti magnetite mines in the Panxi Rift, SW China. *Journal of Geochemical Exploration*, 184 (2018) 110 - 118 p.
- [3] - C. YU. Z. G. ZHANG, G. M. ZENG, M. YANG, Z. Z. YANG, F. CUI, M. Y. ZHU, L. SHEN et L. HU, Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability, *Environment International*, 73 (2014) 270 - 281 p.
- [4] - A. A. ADUAYI-AKUE et K. GNANDI, Evaluation de la pollution par les métaux lourds des sols et de la variété locale du maïs *zea mays* dans la zone de traitement des phosphates de Kpémé (Sud du Togo), *Int.J.Biol. Chem.Sci*, 8 (5) (2014) 2347 - 2355 p.
- [5] - B. BENKADDOUR, Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie), Thèse de Doctorat, Université de Perpignan via Domitia, (2018) 192 p.
- [6] - A. EL. HOUSSAINY, Apports et géochimie sédimentaire des éléments traces métalliques dans deux zones côtières méditerranéennes urbanisées : Beyrouth (Liban) et Toulon (France, Thèse de Doctorat, Université de Toulon, (2020) 316 p.
- [7] - T. BADASSAN, Evaluation de la contamination des éléments traces dans les eaux et sédiments de la lagune de Lomé et bioaccumulation chez deux espèces de poisson, Thèse de doctorat, université de Toulouse, (2021) 196 p.
- [8] - H. KONE, F. K. YARO, L.Y. OUMOU, M.M. TRAORE, D. DJIGUIBA et M. L. DOUMBIA, Contamination des sédiments par les pesticides et les métaux lourds dans le bassin du fleuve Sénégal et ses affluents, République du Mali, *Afrique Science*, 26 (4) (2025) 12 - 27 p.
- [9] - E. DIANGONE, A. N. YAO, K. M. C. T. LOU, S. MONDE et A. COULIBALY, Evaluation de la pollution métallique des sédiments superficiels de la lagune Potou en période d'étiage (Littoral de la Côte d'Ivoire), *European Scientific Journal*, Vol. 16, N° 33 (2020) 70 - 87 p.
- [10] - B. T. J. G. IRIE, Caractérisation de l'interface eau-sédiment dans un environnement lagunaire à forçage ; hydrologie et évaluation environnementale du chenal EST de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), Thèse unique, Université Félix Houphouët Boigny, (2017) 215 p.

- [11] - A. O. AHBEAURIET, S. NAMINATA, P. KOFFI dit N. ADAMA, M. Y. KOFFI, T. ALBERT et D. THOMAS, Evaluation de la contamination des éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière N'zi, Côte d'Ivoire, *Int. J. Biol. Chem.Sci.*, 15 (5) (2021) 2199 - 2208 p.
- [12] - K. N. KEUMAN, S. B. BAMBA, G. SORO, N. SORO, B. S. METONGO et J. BIEMI, Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), *J. Appl. Biosci*, Vol. 61, (2013) 4530 - 4539 p.
- [13] - G. R. N. KOUADIO, Hydrologie, sédimentologie et qualité environnementale de l'estuaire du fleuve Sassandra (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat unique, Université Felix Houphouët Boigny, (2018) 203 p.
- [14] - K. S. KONAN, A. M. KOUASSI, A. A. ADINGRA et D. GNAKRI, Spatial and temporal variation of fecal contamination indicators in Grand-Lahou lagoon, Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences*, 23 (2009) 1422 - 1435 p.
- [15] - K. S. KONAN, K. L. KOUASSI, L. I. KOUAME, A. M. KOUASSI et D. GNAKRI, Hydrologie et hydrochimie des eaux dans la zone de construction du chenal du port de pêche de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire, *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 7 (2) (2013) 819 - 831 p.
- [16] - A. V. WOGNIN, F. Y. P. ASSALE, Y. M. N'GUESSAN, E. DIANGONE et S. MONDE, Hydro-sedimentary characterization and mouth migration process of Bandama's river (Côte d'Ivoire), *Int. J. Adv. Res*, 4 (11) (2016) 632 - 640 p.
- [17] - J. K. MAFFOUE, E. K. KONAN et F. Y. KONAN, Etude morphologique et sédimentologique de l'estuaire de Grand-Lahou de 2011 à 2017 : approche e la télédétection, *Rev. Ivoir.Sci. Technol*, 40 (2022) 159 - 176 p.
- [18] - M. BARBARA, Nouvelle approche de mesures et analyses combinées XRF-XRD sur site pour la caractérisation géochimique, minéralogique et texturale: application à la verse de Nartau enrichie arsenic, district aurifère de Salsigne, Aude (France), Thèse de doctorat, université de Caen Normandie, (2023) 277 p.
- [19] - D. D. MACDONALD, C. G. INGERSOLL & T. A. BERGE, Development Freshwater and Ecosystems Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for freshwater and Ecosystems. *Arch. Env. Cont. Toxicol*, 39 (2000) 20 - 31 p.
- [20] - T. ERWAN, Diagnostic de la contamination sédimentaire par les métaux / métalloïdes dans la rade de Toulon et mécanismes contrôlant leur mobilité, Thèse de doctorat, Université du Sud de Toulon Var, (2012) 292 p.

- [21] - Environnement Canada et ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec : Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration, (2007) 39 p.
- [22] - T. S. KONE, T. A. SORO, M. CISSE, T. M. KAMELAN et E. P. KOUAMELAN, Caractérisation physico-chimique de l'hydrosystème du canal d'Azagny dans le Par National d'Azagny (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest), *REB-PASRES*, 9 (1) (2024) 51 - 64 p.
- [23] - G. R. N. KOUADIO, N. AKA, K. E. KONAN et N. P. DANGUI, Assessment of the phosphorus and nitrogen content in the surface sediments of a coastal wetland and their eutrophication impact : the case of the Bandama River estuary in Côte d'Ivoire, *EWASH & TI journal*, Vol. 8, issue 3 (2024) 1118 - 1126 p.
- [24] - Y. A. N'GO, Hydrologie et dynamique de l'état de surface des terres dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat d'Etat de l'Université Nangui Abrogoua, (2015) 220 p.
- [25] - T. S. KONE, T. M KAMELAN, R. N ETILE, Y. A KONAN et E. P. KOUAMELAN, Characterization of the Ichthyological population of Hydrosystems in the Lagoon Area of the Azagny National Park (Ivory Coast), *European Scientific Journal*, 17 (40) (2021) 138 - 156 p.
- [26] - S. GBOMBELE, S. M. BERNARD, S. NAGNIN, K. A. ERNEST, K. K. FERNAND, G. P. Z. SOMPOHI et S. TANINA, Métaux lourds (Cu, Cr, Mn et Zn) dans les sédiments de surface d'une lagune tropicale africaine : cas de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, (3) 6 (2009) 1408 - 1427 p.
- [27] - Y. M. N'GUESSAN, Dynamique des éléments traces dans les eaux de surface des bassins versants agricoles de Gascogne, Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse, (2008) 253 p.