

Évaluation de la contamination en éléments traces métalliques dans les sédiments de quatre rivières de la zone périphérique du Parc National de Taï, Côte d'Ivoire

**Siaka BERTÉ¹, Alain Serge N'Dri N'GUESSAN^{2*}, Benié Rose Danielle ABOUA¹
et Essetchi Paul KOUAMÉLAN¹**

¹ *Université Félix Houphouët-Boigny, Unité de Formation et de Recherche en Biosciences, Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

² *Université Alassane Ouattara, Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Technologies, Laboratoire de Biologie et Physiologie Animale, BP V 18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 08 Mai 2025 ; Accepté le 14 Juillet 2025)

* Correspondance, courriel : nalainserge83@yahoo.fr

Résumé

La contamination des sédiments des rivières par les éléments traces métalliques reste un problème majeur pour la préservation de la biodiversité et pour l'homme. Cette étude vise à quantifier les teneurs de six éléments traces métalliques (Hg, As, Pb, Cu, Cd, Zn) dans les sédiments de quatre rivières, en vue d'évaluer les risques écologiques qui pèsent sur ces écosystèmes aquatiques. Douze échantillons de sédiments (soit trois par rivière) ont été collectés dans la zone périphérique du Parc National de Taï. Ces sédiments ont été lyophilisés, puis minéralisés et les concentrations en éléments traces métalliques, analysées par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les résultats montrent une pollution au mercure et à l'arsenic des sédiments. Le mercure qui enregistre les indices de géoaccumulation les plus élevés (2,067 à 4,307) est le métal qui présente la plus forte contamination, suivis de l'arsenic et du cadmium. Le calcul des facteurs d'enrichissement a révélé que les concentrations d'arsenic enregistrées sont d'origine anthropique. Les concentrations de mercure et de cadmium proviennent quant à elles de sources anthropique et naturelle. Cependant, celles du Pb, du Cu et du Zn ont des sources naturelles. L'évaluation de la qualité toxicologique des sédiments grâce aux valeurs guides TEC et PEC a montré que certaines concentrations du mercure enregistrées, sont néfastes pour les organismes benthiques, contrairement aux autres éléments traces étudiés.

Mots-clés : *sédiment, éléments traces métalliques, risques écologiques, Parc National de Taï.*

Abstract

Assessment of trace metals contamination in sediments from four rivers in the peripheral zone of the Taï National Park, Côte d'Ivoire

Sediment contamination by trace metals remains a major challenge for the preservation of both biodiversity and human health. This study aims to quantify the concentrations of six trace metals (Hg, As, Pb, Cu, Cd, Zn) in the sediments of four rivers to assess the ecological risks to these aquatic ecosystems. Twelve sediment samples (three from each river) were collected from the peripheral zone of the Taï National Park. The samples

were freeze-dried, mineralized, and the trace metals concentrations were analyzed using atomic absorption spectrophotometry. The results reveal significant mercury and arsenic contamination of the sediments. Mercury has the highest geoaccumulation indices (2,067 to 4,307), indicating the most severe contamination. It is followed by arsenic and cadmium. Enrichment factor calculations revealed that the detected arsenic concentrations are of anthropogenic origin. The concentrations of mercury and cadmium stem from both anthropogenic and natural sources, while the concentrations of lead, copper, and zinc are primarily from natural sources. The toxicological quality of the sediments was evaluated using TEC (Threshold Effect Concentration) and PEC (Probable Effect Concentration) guidelines. This assessment showed that some mercury concentrations are harmful for benthic organisms, unlike the other trace metals studied.

Keywords : *sediment, trace metals, ecological risks, Taï National Park.*

1. Introduction

L'altération de la qualité des eaux par les éléments traces métalliques (ETM) reste un problème majeur, en particulier dans les pays en développement malgré la connaissance des menaces qu'elle représente pour la santé humaine et l'environnement [1]. Dans les sédiments des rivières d'Afrique de l'Ouest, peu d'attention a été accordée aux problèmes environnementaux causés par la contamination par les éléments traces, en particulier dans les pays à économie agricole comme la Côte d'Ivoire qui fait face aujourd'hui au phénomène de plus en plus grandissant qu'est l'orpaillage clandestin [2]. L'agriculture et l'orpaillage font partie des sources majeures de pollution de l'environnement par les éléments traces métalliques [3]. Ces derniers sont pourtant connus pour leur toxicité, leur capacité de bioaccumulation et leur résistance à la biodégradation [4, 5]. Dans l'environnement, ces polluants contaminent les milieux aquatiques par des processus naturels (érosion des sols et altération des roches) [6] ou par l'action de l'homme (engrais et pesticides agricoles, mines, industries, activités urbaines, trafic routier et déchets domestiques) [5, 7]. Les différents compartiments de ces milieux que sont l'eau, les sédiments et les organismes aquatiques, ainsi que la santé de l'homme par le biais de la chaîne trophique, s'en trouvent impactés [8]. Pour apprécier le niveau de contamination/pollution métallique de l'environnement, les sédiments s'avèrent être de bons indicateurs car ceux-ci en sont de bon réservoir [9, 10]. En effet, une fois dans les milieux aquatiques, les ETM s'accumulent dans les sédiments et peuvent être relargués dans les eaux sus-jacentes par divers mécanismes [11] et contaminent les eaux, les micro-organismes, la flore aquatique, la faune et les poissons. Les sédiments sont donc, particulièrement intéressants lorsqu'il s'avère indispensable de prendre des mesures adéquates pour une gestion durable d'un écosystème aquatique [12]. Du fait de la présence du Parc National de Taï (PNT), la zone de vie qui lui est contiguë et comprise entre les fleuves Sassandra et Cavally à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, jouie d'un microclimat stable propice à la production agricole [13, 14]. Cette zone périphérique au PNT est devenue au fil des années, un important foyer d'occupation humaine avec la mise en place de grandes plantations agro-industrielles (cacao, hévéa, palmier à huile, etc.) et villageoises [3, 4]. A cette pression agricole vient se greffer le phénomène de l'orpaillage (clandestin artisanal, semi-industriel et industriel) grandissant dans cette zone [15 - 17]. Certains cours d'eau qui irriguent le PNT ont une partie de leur bassin versant située dans ces territoires agricoles fortement anthropisés et menacés par les effets néfastes de l'orpaillage [3, 18]. Ces cours d'eau charrient en direction du parc des polluants dont les éléments traces qui constituent une menace non seulement pour l'environnement et la santé des populations de sa zone périphérique qui vivent au dépend de ces eaux, mais aussi une menace pour l'intégrité du Parc National de Taï. Il s'avère donc important d'étudier la contamination métallique des sédiments des eaux des rivières qui sont utilisées à des fins multiples sans traitement préalable par ces populations [19]. En Côte d'Ivoire, peu d'études ont porté sur l'impact des éléments traces métalliques dans les rivières situées en zone anthropisée autour d'un parc. Compte tenu de

Tableau 1 : Localisation géographique des sites d'échantillonnage

Stations	Rivières	Dénominations	Latitudes	Longitudes
St 1	San Pedro	Doba	05°13'068"N	006°49'590"W
St 2	San Pedro	SAPH	05°06'386"N	006°38'186"W
St 3	San Pedro	Djapadji	05°15'026"N	006°50'271"W
St 4	N'Zo	Guiglo ville	06°32'591"N	007°28'153"W
St 5	N'Zo	Zoba	07°17'168"N	007°45'290"W
St 6	N'Zo	Kahen Zarabaon	06°54'406"N	007°37'407"W
St 7	N'Zè	Taïr ville	05°55'426"N	007°27'617"W
St 8	N'Zè	Confluent	05°51'405"N	007°27'285"W
St 9	N'Zè	Zagné	05°57'255"N	007°24'059"W
St 10	Hana	Djouroutou 1	05°22'464"N	007°15'482"W
St 11	Hana	Djouroutou 2	05°22'207"N	007°17'127"W
St 12	Hana	Point O	05°54'632"N	006°53'039"W

St : station

2-2. Échantillonnage

A chacune des stations, un multiparamètre de type *Lovibond Senso Direct 150* a servi à mesurer *in situ* la température de l'eau, le pH, la conductivité, le taux d'oxygène et le taux de solides dissous. Après le calibrage et la mise sous tension, la sonde de l'appareil est plongée dans l'eau. La sélection des paramètres à analyser permet l'affichage automatique de la valeur du paramètre choisi. Les sédiments superficiels ont été prélevés manuellement dans une zone de 25 cm X 25 cm et à une profondeur maximale de 8 cm [20 - 22] entre janvier 2018 et décembre 2018. Cette partie représente la zone la plus habitée, mais aussi la plus susceptible d'être remise en suspension. Afin de recueillir le maximum de particules fines, les lieux privilégiés de prélèvement des sédiments ont été les zones concaves, les zones de végétation aquatique, les zones où la vitesse du courant est faible (< 10 cm/s) [23]. Les sédiments prélevés ont été immédiatement placés dans des sachets neufs en plastiques, étiquetés et hermétiquement fermés, puis placés à l'obscurité dans une glacière à 4°C pour être acheminé au laboratoire [24]. Au laboratoire, après avoir retiré manuellement les débris de feuilles, de racines et de cailloux, les sédiments ont été lyophilisés pendant 72 heures. Ils sont ensuite conservés dans des piluliers hermétiquement fermés afin de les protéger contre l'humidité et placés à l'obscurité dans une armoire (20°C) avant analyse [19].

2-3. Dosage des éléments traces métalliques

Les sédiments lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en agate et d'un pilon afin d'obtenir une poudre fine. Ils sont ensuite tamisés à l'aide d'un tamis de 63 μ m de vide de maille. Le sous-tamis inférieure à 63 μ m est retenue. Dans cette fraction, une masse de sédiment de 0,5 g de chaque échantillon est prélevée en duplicata à l'aide d'une balance de précision 0,001 g. Le prélèvement est introduit dans des réacteurs en Téflon et digéré dans de l'eau régale [23, 25]. L'eau régale est composée de 5 mL d'acide nitrique (HNO₃ à 65 %) et 2 mL d'acide fluorhydrique (HF à 40 %). L'homogénat est laissé au repos une heure sous la hotte, puis 2 mL d'eau oxygénée (33 %) y est ajouté. Les réacteurs sont refermés et ensuite placés à 120°C dans le micro-onde pendant 3 heures. Ce temps de chauffage passé, un volume de 10 mL d'acide borique (4 %) est ajouté au mélange. Les réacteurs en Téflon sont fermés à nouveau et chauffés une heure de temps, puis laissés sous la hotte pour refroidissement. Les échantillons sont par la suite transvasés dans des tubes à centrifuger préalablement étiquetés de 50 mL et passés à la centrifugeuse pendant 2 minutes à 4000 tours/minute afin de laisser précipiter les particules solides non minéralisées. La solution surnageante obtenue est analysée par spectroscopie d'absorption atomique (SAA) de type VARIAN spectRAA 110. La validité des méthodes

analytiques est vérifiée par un contrôle interne via des blancs de procédure et des solutions étalons. Le dosage du mercure, de l'arsenic, du plomb, du cuivre, du cadmium, du zinc et du fer, est effectué respectivement aux longueurs d'onde de 253,7 nm, de 193,7 nm, de 283,3 nm, de 244,2 nm, de 228,8 nm, de 307,6 nm et de 248,3 nm. Les limites de détection des ETM analysés conformément aux protocoles d'analyses étaient de 0,002 µg/kg (pour le mercure), 0,006 µg/kg (pour l'arsenic, le plomb et le cadmium) et de 0,003 µg/kg (pour le cuivre, le zinc et le fer).

2-4. Estimation de l'intensité et l'origine de la contamination

2-4-1. Indice de géoaccumulation

L'indice de géoaccumulation (I_{géo}) [26], compare une concentration d'un sédiment donné à une valeur considérée comme bruit de fond géochimique [27]. Le bruit du fond géochimique dans la présente étude est représenté par les valeurs moyennes de la croûte continentale [28]. L'indice de géoaccumulation a été calculé selon l'équation suivante [26] :

$$I_{géo} = \text{Log}_2 \left(\frac{C_n}{1,5 B_n} \right) \quad (1)$$

Log₂ étant le logarithme de base 2, n étant l'ETM considéré, C étant la concentration mesurée dans l'échantillon, B_n étant la teneur naturelle du fond géochimique pour le métal (n) (Hg = 0,056 ; As = 2 ; Pb = 17 ; Cu = 14 ; Cd = 0,1 ; Zn = 52) et 1,5 étant le facteur d'exagération du fond géochimique, dont la fonction est de prendre en compte les fluctuations naturelles du fond géochimique. Les valeurs d'I_{géo} permettent de définir sept classes de niveau de contamination (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Grille de classification de l'indice de géoaccumulation [26]

Valeur de l'indice (I _{géo})	Classes	Intensité de la contamination
I _{géo} ≤ 0	0	Non contaminé
0 < I _{géo} ≤ 1	1	Contaminé à modérément contaminé
1 < I _{géo} ≤ 2	2	Modérément contaminé
2 < I _{géo} ≤ 3	3	Modérément à sévèrement contaminé
3 < I _{géo} ≤ 4	4	Sévèrement contaminé
4 < I _{géo} ≤ 5	5	Sévèrement contaminé à très sévèrement contaminé
I _{géo} > 5	6	Très sévèrement contaminé

2-4-2. Facteur d'enrichissement

Le facteur d'enrichissement (FE) permet de discriminer les apports anthropiques des sources naturelles [27]. Mais, il ne fournit pas d'informations sur la nature et l'intensité de la pollution. Le FE a été calculé à partir de l'expression suivante [3, 27] :

$$FE = \frac{(M / Fe)_{\text{échantillon}}}{(M / Fe)_{\text{matériel de référence}}} \quad (2)$$

M étant la concentration en métal étudié et Fe, la concentration en fer. Dans cette étude, le fer a été choisi comme élément immobile de référence comme ce fut le cas dans de nombreuses études [9, 10, 19]. Les valeurs de FE comprises entre 0,5 et 1,5 indiquent une origine naturelle des métaux, alors que celles supérieures à 1,5 sont attribuées à des apports anthropiques [9].

2-5. Évaluation de l'état toxicologique des sédiments

Pour évaluer la qualité environnementale des sédiments des rivières étudiées vis-à-vis des organismes aquatiques, les concentrations en ETM des sédiments de la zone d'étude ont été comparées aux valeurs guides TEC (*Threshold Effect Concentration* : concentration à effet seuil) et PEC (*Probable Effect Concentration* : concentration à effet probable) [29]. La TEC représente le seuil de concentration de contaminants en-dessous duquel les organismes vivants dans le sédiment ne sont pas affectés. La PEC est la concentration des contaminants au-dessus de laquelle on observe des effets probables ou certains sur les organismes vivants dans le sédiment (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Valeurs de TEC et PEC en mg/kg des éléments traces métalliques étudiés [29]

Valeurs guides	Éléments Traces Métalliques					
	Hg	As	Pb	Cu	Cd	Zn
TEC	0,18	9,79	35,8	31,9	0,99	121
PEC	1,06	33	128	149	4,98	459

TEC : *Threshold Effect Concentration* (Concentration à effet seuil)

PEC : *Probable Effect Concentration* (Concentration à effet probable)

2-6. Analyse statistique

Une ANOVA a été effectuée sur les données pour comparer leur variation entre les différents sites d'échantillonnage. La différence était considérée comme significative à $p < 0,05$. L'analyse a été faite avec le logiciel XLSAT 2016.

3. Résultats et discussion

3-1. Paramètres physico-chimiques

Les résultats de la variation des mesures *in situ* des paramètres physico-chimiques des eaux des différentes rivières visitées dans la zone périphérique du Parc National de Taï sont consignés dans le **Tableau 4**. L'ANOVA n'a montré aucune différence significative entre les stations pour le pH et le taux d'oxygène dissous ($p < 0,05$). Ce qui n'est pas le cas des autres paramètres.

Tableau 4 : Variations des paramètres physico-chimiques de l'eau des différentes rivières visitées dans la zone périphérique du Parc National de Taï de janvier 2018 à décembre 2018

Cours d'eau		pH	T (°C)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O ₂ (mg/L)	TDS (mg/L)
San Pedro	Min - Max	5,80 - 6,42	26,20 - 27,36	37,21 - 82,70	5,47 - 8,08	18,62 - 41,25
	moy $\pm$ écart	6,07 $\pm$ 0,43	26,78 $\pm$ 01,14	54,10 $\pm$ 3,66	7,02 $\pm$ 0,38	26,54 $\pm$ 1,67
N'Zo	Min - Max	5,78 - 6,29	25,32 - 26,73	33,37 - 42,82	6,06 - 6,32	16,50 - 24,01
	moy $\pm$ écart	6,11 $\pm$ 0,55	25,97 $\pm$ 00,68	36,91 $\pm$ 2,82	6,19 $\pm$ 0,19	19,33 $\pm$ 4,01
N'Zè	Min - Max	5,69 - 6,43	25,27 - 25,94	29,37 - 40,87	5,83 - 5,87	14,75 - 20,50
	moy $\pm$ écart	6,03 $\pm$ 0,14	25,64 $\pm$ 00,57	35,49 $\pm$ 0,93	5,84 $\pm$ 0,30	17,96 $\pm$ 0,53
Hana	Min - Max	5,78 - 6,46	25,26 - 25,46	35,00 - 43,07	5,56 - 6,01	17,25 - 21,37
	moy $\pm$ écart	6,17 $\pm$ 0,43	25,38 $\pm$ 00,43	38,10 $\pm$ 5,62	5,82 $\pm$ 0,18	18,75 $\pm$ 2,70

T : température ; CE : conductivité électrique ; O₂ : oxygène dissous ; TDS : taux de solides dissous ; Min : minimum ; Max : maximum ; Moy : moyenne.

3-2. Distribution des éléments traces métalliques dans les sédiments

Le **Tableau 5** présente les concentrations moyennes des éléments traces métalliques dans les différentes stations de la zone périphérique du Parc National de Taï. Elles sont comprises entre 0,050 et 47,456 mg/kg. Les moyennes sont de $0,934 \pm 0,47$ mg/kg pour le mercure, de $12,804 \pm 3,25$ mg/kg pour l'arsenic, de $4,323 \pm 1,37$ mg/kg pour le plomb, de $15,189 \pm 1,54$ mg/kg pour le cuivre, de $0,210 \pm 0,18$ mg/kg pour le cadmium et de $34,175 \pm 11,14$ mg/kg pour le zinc. L'ANOVA n'a montré aucune différence significative entre les stations pour l'ensemble de ces ETM ($p < 0,05$). Toutes les valeurs moyennes de mercure et d'arsenic sont supérieures à celles de la croûte continentale terrestre (UCC) [28], tandis que toutes celles du plomb et du zinc y sont inférieures. Les taux d'arsenic et de mercure sont respectivement jusqu'à 11 fois et 30 fois supérieur à la norme UCC. Cela suggère une pollution des sédiments pour ces ETM. Ces fortes concentrations de mercure et d'arsenic, ainsi que certaines concentrations de cuivre et de cadmium, peuvent être attribuées à l'érosion des sols et à des apports d'origine anthropique à travers le lessivage des sols agricoles contenant des résidus de pesticides et des engrais [30, 31]. En effet, les stations où les concentrations ont excédé celles de la croûte terrestre sont situées dans des zones agricoles avec la présence d'habitations, de rejets domestiques, de plantations industrielles d'hévéa, de café, de cacao, de palmier à huile et de sociétés agricoles, qui sont des sources d'ETM dans l'environnement [32]. Des activités minières sont également signalées dans ces zones [16]. Les concentrations de mercure observées dans les sédiments de la zone d'étude sont supérieures à celles observées dans la rivière Bagoué au Nord de la Côte d'Ivoire [33]. Certaines concentrations moyennes de mercure sont supérieures à la limite maximale tolérable pour les critères de qualité des sédiments d'eau douce (0,81 mg/kg) suggérée par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique [34]. Les concentrations moyennes de l'arsenic et du plomb observées dans la présente étude sont supérieures à celles observées dans les fleuves Bandama, Comoé et la rivière Bia [35] en Côte d'Ivoire et dans la rivière Korotoa [31] au Bangladesh. Les concentrations du cuivre et du cadmium sont inférieures à celles observées dans les fleuves Bandama, Comoé et la rivière Bia en Côte d'Ivoire [35] et dans la rivière Vaigai en Inde [32].

Tableau 5 : Contamination moyenne des éléments traces métalliques dans les sédiments de la zone périphérique du Parc National de Taï de janvier 2018 à décembre 2018

STATIONS	Hg (mg/kg)	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)
St 1	1,474 ± 0,14	10,300 ± 2,26	3,785 ± 0,61	16,996 ± 1,01	0,068 ± 0,03	37,425 ± 6,04
St 2	0,664 ± 0,07	11,671 ± 0,80	5,775 ± 0,91	16,889 ± 2,36	0,050 ± 0,008	39,293 ± 2,52
St 3	1,403 ± 0,06	11,377 ± 1,72	3,858 ± 0,86	14,564 ± 1,27	0,064 ± 0,008	44,985 ± 3,79
St 4	0,478 ± 0,37	9,734 ± 3,53	4,203 ± 0,30	16,584 ± 0,70	0,403 ± 0,45	20,889 ± 0,29
St 5	0,808 ± 0,12	10,544 ± 1,03	7,066 ± 1,17	16,445 ± 0,33	0,307 ± 0,14	28,638 ± 1,89
St 6	0,699 ± 0,12	12,067 ± 2,17	4,188 ± 0,20	14,722 ± 2,47	0,539 ± 0,005	28,567 ± 0,05
St 7	0,352 ± 0,17	11,652 ± 0,75	2,923 ± 1,11	12,549 ± 1,20	0,052 ± 0,01	15,916 ± 5,94
St 8	0,594 ± 0,11	13,618 ± 0,66	1,654 ± 0,44	14,441 ± 1,07	0,062 ± 0,01	19,054 ± 6,10
St 9	1,472 ± 0,06	12,999 ± 0,64	4,043 ± 1,33	15,620 ± 0,36	0,276 ± 0,31	43,585 ± 4,87
St 10	0,847 ± 0,04	13,704 ± 1,91	4,657 ± 0,66	13,511 ± 1,61	0,349 ± 0,39	47,456 ± 2,91
St 11	1,467 ± 0,16	13,793 ± 1,05	5,470 ± 0,27	13,374 ± 4,94	0,323 ± 0,38	39,000 ± 11,66
St 12	1,663 ± 0,05	22,185 ± 1,15	4,248 ± 1,67	16,572 ± 1,73	0,029 ± 0,001	45,290 ± 10,76
Min	0,352	9,734	1,654	12,449	0,050	15,916
Max	1,663	22,185	7,066	16,996	0,539	47,456
Moy	0,934 ± 0,47	12,804 ± 3,25	4,323 ± 1,37	15,189 ± 1,54	0,210 ± 0,18	34,175 ± 11,14
Normes UCC	0,056	2	17	14	0,1	52

St : station ; Min : minimum ; Max : maximum ; Moy : moyenne ; UCC : Upper Continental Crust ;
Valeur en gras : > UCC ; $p < 0,05$.

3-3. Niveau de contamination métallique

3-3-1. Indice de géoaccumulation

Le **Tableau 6** présente les valeurs de l'indice de géoaccumulation (I_{géo}) déterminé pour l'ensemble des stations de la zone d'étude. Les indices de géoaccumulation sont inférieurs à 0 pour le plomb, le cuivre et le zinc. Pour le cadmium, l'I_{géo} varie de -2,371 à 1,845. L'arsenic présente des valeurs d'I_{géo} allant de 1,698 à 2,887. Le mercure enregistre les valeurs les plus élevées de l'indice de géoaccumulation, qui se situent entre 2,067 et 4,307. Les indices de géoaccumulation calculés indiquent qu'il n'y a pas de contamination des sédiments en Pb, Cu et Zn dans la zone périphérique du PNT. Pour le Cd, on note une absence de contamination à une contamination modérée (I_{géo} < 2). Les sédiments sont contaminés à sévèrement contaminés pour l'arsenic (I_{géo} < 3). Pour le mercure, les indices témoignent d'une contamination modérée à une contamination sévère. Les sédiments des quatre rivières étudiées sont donc plus contaminés en mercure, qu'en arsenic et en cadmium.

Tableau 6 : Indices de géoaccumulation des sédiments de la zone périphérique du Parc National de Taï de janvier 2018 à décembre 2018

Rivières	Stations	I _{géo} Hg	I _{géo} As	I _{géo} Pb	I _{géo} Cu	I _{géo} Cd	I _{géo} Zn
San Pedro	St 1	4,133	1,780	-2,752	-0,305	-1,141	-1,929
	St 2	2,983	1,960	-2,143	-0,314	-1,585	-1,859
	St 3	4,062	1,923	-2,725	-0,528	-1,229	-1,663
N'Zo	St 4	2,509	1,698	-2,601	-0,341	1,426	-2,770
	St 5	3,266	1,813	-1,852	-0,353	1,033	-2,315
	St 6	3,057	2,008	-2,606	-0,512	1,845	-2,319
N'Zè	St 7	2,067	1,958	-3,125	-0,743	-1,528	-3,162
	St 8	2,822	2,182	-3,946	-0,540	-1,275	-2,903
	St 9	4,131	2,115	-2,657	-0,427	0,880	-1,709
Hana	St 10	3,334	2,192	-2,453	-0,636	1,218	-1,586
	St 11	4,126	2,201	-2,221	-0,651	1,107	-1,869
	St 12	4,307	2,887	-2,586	-0,342	-2,371	-1,654

I_{géo} : indice de géoaccumulation ; St : station ; Hg : mercure ; As : arsenic ; Pb : plomb ; Cu : cuivre ; Cd : cadmium ; Zn : zinc.

3-3-2. Facteur d'enrichissement métallique

Les valeurs du facteur d'enrichissement (FE) calculées sont consignées dans le **Tableau 7**. Les FE calculés pour le plomb, le cuivre et le zinc sont tous inférieurs à 1,5. Les valeurs de FE oscillent entre 0,273 et 2,345 pour le mercure et entre 1,862 et 6,385 pour l'arsenic. Pour le cadmium, les valeurs de FE vont de 0,167 à 5,534. Tous les FE calculés pour l'arsenic, certaines valeurs du FE pour le mercure et le cadmium, sont supérieures à 1,5. Les FE calculés dans la présente étude montrent que les concentrations de plomb, de cuivre et de zinc enregistrées dans les sédiments des rivières étudiées sont d'origine naturelle, tandis que toutes les concentrations d'arsenic enregistrées sont d'origine anthropique [9]. Les stations de Guiglo ville (St 4) et Kahen Zarabaon (St 6) sur la rivière N'Zo, de Djouroutou 1 et 2 (St 10 et St 11) sur la rivière Hana, présentent un enrichissement en cadmium d'origine anthropique. Ce qui n'est pas le cas des autres stations. Pour le mercure, seules les stations de Doba (St 1) sur la rivière San Pedro, Djouroutou 2 (St 11) et Point O (St 12) sur la rivière Hana, présentent un enrichissement anthropique. En effet, les différentes stations impactées sont situées dans des zones fortement anthropisées, où des activités minières illicites sont signalées [3, 16, 18].

Tableau 7 : Facteurs d'Enrichissement des éléments traces métalliques de la zone périphérique du Parc National de Tai

Rivières	Stations	FE _{Hg}	FE _{As}	FE _{Pb}	FE _{Cu}	FE _{Cd}	FE _{Zn}
San Pedro	St 1	2,345	4,588	0,198	1,082	0,606	0,641
	St 2	0,853	4,200	0,245	0,868	0,360	0,544
	St 3	1,270	2,884	0,115	0,527	0,324	0,439
N'Zo	St 4	0,327	1,862	0,095	0,453	1,542	0,154
	St 5	0,543	1,984	0,156	0,442	1,155	0,207
	St 6	1,282	6,195	0,253	1,080	5,534	0,564
N'Zè	St 7	0,273	2,535	0,075	0,390	0,226	0,133
	St 8	0,405	2,597	0,037	0,393	0,236	0,140
	St 9	1,310	3,238	0,118	0,556	1,375	0,418
Hana	St 10	0,919	4,162	0,166	0,586	2,120	0,554
	St 11	1,568	4,127	0,193	0,572	1,933	0,449
	St 12	1,709	6,385	0,144	0,681	0,167	0,501

FE : facteur d'enrichissement ; St : station ; Hg : mercure ; As : arsenic ; Pb : plomb ; Cu : cuivre ; Cd : cadmium ; Zn : zinc ; valeurs en gras : FE > 1,5.

3-4. Qualité toxicologique des sédiments

Les résultats relatifs à la qualité des sédiments révèlent, en ce qui concerne les valeurs guides TEC (*Threshold Effect Concentration*), que toutes des teneurs moyennes du plomb, du cuivre, du cadmium et du zinc, sont inférieures à cette référence. Cela suggère que pour ces quatre ETM, les sédiments sont de bonne qualité pour la vie des organismes qui y vivent et que les risques de toxicité sont peu probables [29]. Cependant, toutes les concentrations de mercure et les concentrations de l'arsenic (excepté celle de la station 4), sont supérieures à la valeur guide TEC (**Figure 2**). Pour le mercure, sur les douze stations étudiées, cinq stations (St 1 et St 3 sur la rivière San Pedro ; St 9 sur la rivière N'Zè ; St 11 et St 12 sur la rivière Hana) présentent des concentrations supérieures à la valeur guide PEC (*Probable Effect Concentration*). Les autres stations présentent des concentrations comprises entre les références TEC et PEC. Pour l'arsenic, onze stations enregistrent des concentrations inférieures à la valeur guide PEC. Les concentrations de mercure et d'arsenic comprises entre les valeurs guides TEC et PEC, montrent que les sédiments de ces stations ont une qualité moyenne, donc susceptible d'affecter la vie des organismes benthiques. Dans les stations présentant les concentrations de mercure supérieure au seuil PEC, les sédiments sont de mauvaise qualité pour cet ETM. Les concentrations chimiques qui y sont enregistrées sont suffisamment élevées pour produire des effets néfastes sur les organismes [29]. Les rivières abritant ces stations doivent faire l'objet d'une surveillance plus accrues.

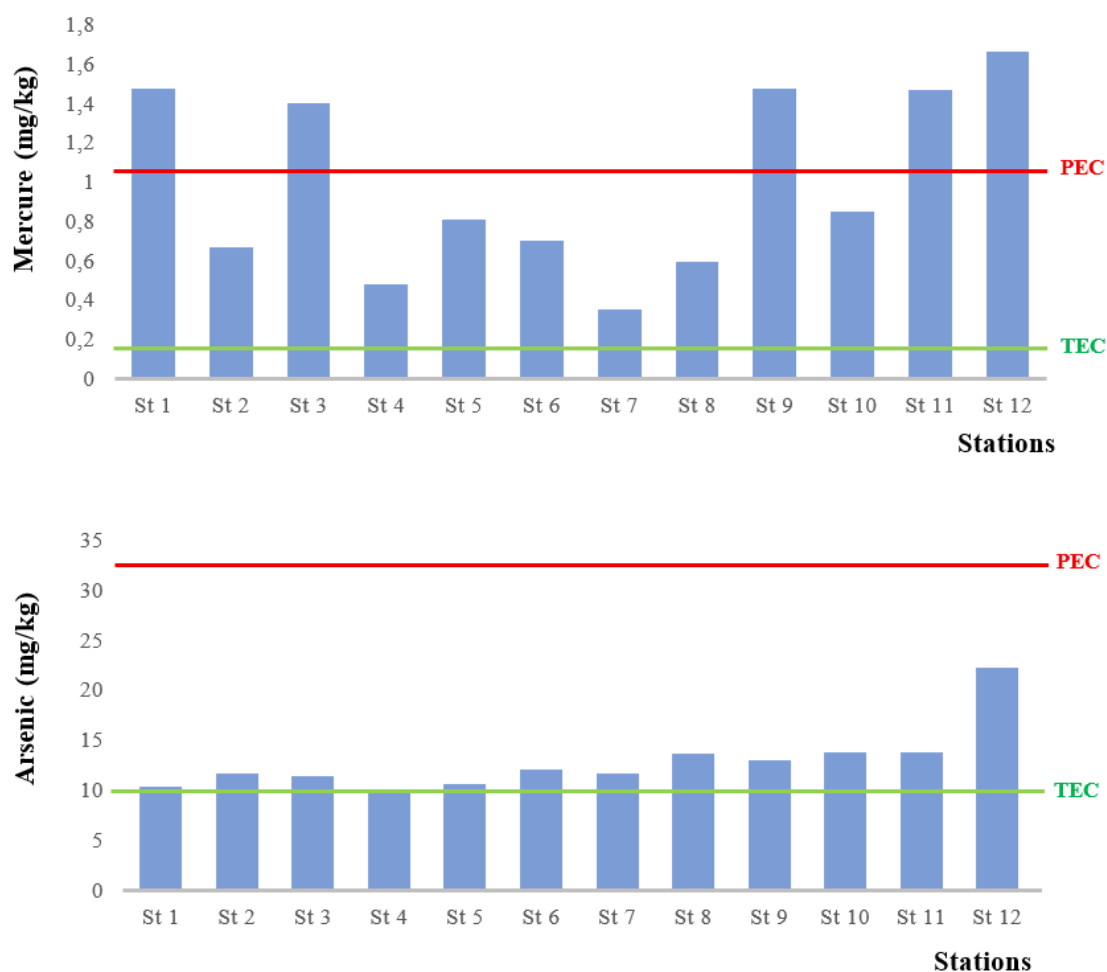


Figure 2 : Concentrations en mercure et arsenic des sédiments par rapport aux valeurs guides TEC et PEC
 PEC : Probable Effect Concentration ; TEC : Threshold Effect Concentration ; St : station

4. Conclusion

L'évaluation du niveau de contamination en éléments traces métalliques des sédiments des quatre rivières de la zone périphérique du Parc National de Taï, a révélé une pollution de ceux-ci en mercure et en arsenic. Les indices de géoaccumulation calculés montrent que le mercure est l'ETM qui présente la plus forte contamination, suivis de l'arsenic et du cadmium. Il y a absence de contamination en Pb, en Cu et en Zn. L'analyse des facteurs d'enrichissement révèle que toutes les concentrations de l'arsenic enregistrées sont d'origine anthropique, alors que les concentrations de mercure et de cadmium sont d'origine mixte (anthropique et naturelle). Le Pb, le Cu et le Zn proviennent de sources naturelles. L'étude de la qualité toxicologique des sédiments a montré que certaines concentrations du mercure, plus que celles de l'arsenic, menacent la vie des organismes benthiques. Une surveillance plus accrue de ces polluants qui menacent la qualité des rivières de la zone périphérique s'avère indispensable pour leur gestion durable et le maintien de la qualité des services écosystémiques qu'offrent le Parc National de Taï.

Références

- [1] - R. EL MORABET, L. BARHAZI, S. BOUHAFI, M. A. DAHIM, R. A. KHAN & A. M. DAHIM, « Qualité de l'eau, contamination par les métaux lourds et évaluation des risques sanitaires des masses d'eau de surface de la préfecture de Mohammedia, Maroc ». *Chim. Environ. écotox.*, 6 (2024) 33 - 41. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2023.12.002>
- [2] - K. S. KONAN, K. L. KOUASSI, K. F. KONAN, A. S. YAPO & L. A. BROU, « Impacts de l'orpaillage sur la morphologie et la qualité des eaux du fleuve Cavally (Zouan-hounien, Côte d'Ivoire) ». *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 28 (2) (2020) 515 - 524. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- [3] - A. S. N. N'GUESSAN, « Évaluation de l'impact de l'occupation du sol sur la qualité écologique de quelques rivières de l'espace Taï : cas du niveau de contamination des éléments traces métalliques et des pesticides ». Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan Côte d'Ivoire, (2024) 200 p.
- [4] - A. A. OUATTARA, K. M. YAO, M. P. SORO, T. DIACO and A. TROKOUREY, « Arsenic and Trace Metals in Three West African rivers: Concentrations, Partitioning, and Distribution in Particle-Size Fractions ». *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 75 (3) (2018) 449 - 463. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0543-9>
- [5] - K. C. KINIMO, K. M. YAO, S. MARCOTTE, N. L. B. KOUASSI & A. TROKOUREY, « Données préliminaires sur les concentrations d'arsenic et de métaux traces dans les zones humides autour des zones d'exploitation minière artisanale et industrielle (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest) ». *Données en bref*, 18 (2018) 1987 - 1994. Doi: 10.1016/j.dib.2018.04.105
- [6] - N. DAHRI, A. ATOUI, M. ELLOUZE and H. ABIDA, « Assessment of streambed sediment contamination by heavy metals: The case of the Gabes Catchment, Southeastern Tunisia ». *Jour. Afr. Ear. Sci.*, 140 (2018) 29 - 41. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.033>
- [7] - N. L. B. KOUASSI, K. M. YAO, N. SANGARÉ, A. TROKOUREY & B. S. MÉTONGO, « La mobilité des métaux traces cuivre, zinc, plomb, cobalt et nickel dans les sédiments estuariens tropicaux, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire ». *Journal des sols et sédiments*, 19 (2018) 929 - 944. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2062-8>
- [8] - A. ADJAGODO, D. T. AGASSOUNOU, N. AHOANGNIVO & R. LAWANI, « Flux des polluants liés aux activités anthropiques et risque sur les ressources en eau de surface à travers le monde ». *Larhyss Journal*, 10 (3) (2016) 7 - 23. <http://www.ifg-dg.org>
- [9] - C. ZHANG, Z. G. YU, G. M. ZENG, M. JIANG, Z. Z. YANG, F. CUI, M. Y. ZHU, L. SHEN and L. HU, « Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability ». *Environment International*, 73 (2014) 270 - 281. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.010>
- [10] - K. ADJÉ, K. OURO-SAMA, H. D. SOLITOKÉ, G. TANOUAYI, S. AGBÉRE, T. EE. BADASSAN, H. AHOUDI & K. GNANDI, « État de la contamination en éléments traces des sédiments du lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto (Togo) ». *Environnement, Ingénierie & Développement*, 85 (2021) 12 - 25. <https://doi.org/10.46298/eid.2021.7304>
- [11] - M. PERAZA-CASTRO, S. SAUVAGE, J. M. SÁNCHEZ-PÉREZ and E. RUIZ-ROMERA, « Effect of flood events on transport of suspended sediments, organic matter and particulate metals in a forest watershed in the Basque Country (Northern Spain) ». *Science of the Total Environment*, 569 (2016) 784 - 797. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.203>
- [12] - H. DJEDDI, S. K. NACEREDDINE, D. KEDDARI & F. Z. AFRI-MEHENNAOUI, « Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn et Pb des sédiments du barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie) ». *Eur. Sci. Jour.*, 14 (15) (2018) 269 - 286. Doi: 10.19044/esj.2018.v14n15p269
- [13] - L. BONNEHIN, « Orientations stratégiques des mesures riveraines autour des parcs nationaux de Côte d'Ivoire ». Rapport OIPR, (2006)

- [14] - N. BROU, « Études sur l'implantation des associations villageoises de conservation et de développement (AVCD) dans le cadre stratégique des mesures riveraines du parc national de Taï ». Rapport GIZ, PRODEMIR, (2013)
- [15] - OIPR, « Plan d'Aménagement et de Gestion du Parc National de Taï ». Abidjan, OIPR, (2014)
- [16] - DGMG, « Portail cartographique du cadastre minier de Côte d'Ivoire ». Direction Générale des Mines et de la Géologie, (2022). <http://www.portals.landfolio.com/CoteDIvoire/FR/>. Consulté le 23/07/2022
- [17] - R. J. O. DOFFOU, C. K. BOUSSOU, F. K. KONAN, G. N. ALIKO and G. GOURÈNE, « Diversity and conservation status of fish fauna from Cavally River in its catchment area under the influence of gold mining activities (Côte d'Ivoire) ». *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7 (3) (2019) 1070 - 1076. <https://www.entomoljournal.com>
- [18] - OIPR, « Plan d'Aménagement et de Gestion du Parc National de Taï ». Rapport OIPR, Abidjan, (2020) 210 p.
- [19] - A. A. OUATTARA, N. SANGARÉ, A. K. P. N'GORAN, K. M. YAO, A. TROKOUREY & T. DIACO, « Évaluation de la contamination des éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière N'Zi, Côte d'Ivoire ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15 (5) (2021) 2199 - 2208. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i5.38>
- [20] - CCME, « Manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité de l'eau au Canada », (2011)
- [21] - A. K. DONKOR and A. A. ADIMADO, « Influence of mining related activities on levels of mercury in water, sediment and fish from the Ankobra and Tano River basins in South Western Ghana ». *Envir. Syst. Res.*, 5 (2016) 5 - 10. <https://doi.org/10.1186/s40068-016-0055-4>
- [22] - R. P. MASON, M. COULIBALY, D. BAMBA, K. M. YAO, S. COULIBALY, M. AKA & K. KONE, « Étude sur le mercure en Côte d'Ivoire : Mission de prélèvement d'eau, de sédiments et de poissons dans les régions d'Aboisso, Divo, Tengréla et Zouan-Hounien ». Rapport, (2017)
- [23] - S. SCHIAVONE & M. COQUERY, « Guide d'échantillonnage et de pré-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE ». Cemagref, (2011)
- [24] - AFNOR, « Qualité de l'eau, recueil des normes françaises ». AFNOR, France, (1997) 4 p.
- [25] - AOAC, « Méthodes officielles d'analyse des métaux et autres, par spectrophotométrie d'absorption atomique après digestion par micro-ondes : Méthode 999-10 ». JAOAC, (2003)
- [26] - G. Müller, « Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River ». *Geojournal*, 2 (3) (1969) 108 - 118
- [27] - B. OUMAR, N. L. EKENGLE & O. A. BALLA, « Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun ». *Afrique Science*, 10 (2) (2014) 184 - 198. <http://www.afriquescience.info>
- [28] - K. H. WEDEPOHL, « The composition of continental crust ». *Goechimica and Cosmochimica Acta*, 59 (7) (1995) 1217 - 1232. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2)
- [29] - D. D. MACDONALD, L. M. DIPINTO, J. FIELD, C. G. INGERSOLL, E. R. LONG and C. SWARTZ, « Development and evaluation of consensus-based sediment effect concentrations for polychlorinated biphenyls ». *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19 (5) (2000) 1404 - 1413. <https://doi.org/10.1002/etc.5620190524>
- [30] - M. S. ISLAM, M. K. AHMED, M. RAKNUZZAMAN, M. HABIBULLAH-AL-MAMUN and M. K. ISLAM, « Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country ». *Ecological Indicators*, 48 (2015) 282 - 291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>
- [31] - J. FU, ZHAO, C. LUO, Y. LIU, C. G. Z. KYZAS, Y. LUO, D. ZHAO, S. AN and H. ZHU, « Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: Their relations to environmental factors ». *Jour. Haz. Mat.*, 270 (2014) 102 - 109. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.01.044

- [32] - K. PARAMASIVAM, V. RAMASAMY and G. SURESH, « Impact of sediment characteristics on the heavy metal concentration and their ecological risk level of surface sediments of Vaigai river, Tamilnadu, India ». *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137 (2015) 397 - 407. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.056>
- [33] - N. A. KOUAMÉ, « Impacts de l'exploitation aurifère artisanale et clandestine sur les matrices eau-sédiments et bioaccumulation du mercure chez *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 (pisces : clariidae) et *Parachanna obscura* Günther, 1861 (pisces : channidae), poissons de la rivière Bagoué (Côte d'Ivoire) ». Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2021) 172 p.
- [34] - E. E. KWAANSA-ANSAH, S. AGORKU and J. NRIAGU, « Levels of total mercury in different fish species and sediments from the Upper Volta Basin at Yeji in Ghana ». *Bull. Env. Cont. Tox.*, 86 (4) (2011) 406 - 409. <https://doi.org/10.1007/S00128-011-0214-2>
- [35] - A. A. OUATTARA, « Distribution et spéciation chimique d'éléments traces métalliques (As, Cd, Cu, Pb et Zn) dans une rivière impactée par les activités agricoles : cas des fleuves Bandama, Comoé et Bia (Côte d'Ivoire) ». Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, (2019) 168 p.