

Analyse et évaluation écotoxicologique des résidus d'organophosphorés, de carbamates et de triazines dans les sédiments de la lagune Digboué, Sud-Ouest, Côte d'Ivoire

Lou Kala Marie-Claude TOALO*, Yao Alexis N'GUESSAN et Kouamé Moïse KOUASSI

*Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM),
Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME), Abidjan, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 20 Novembre 2025 ; Accepté le 23 Mars 2026)

* Correspondance, courriel : marieclaudetoalo@yahoo.fr

Résumé

Cette étude analyse et évalue la contamination des sédiments de la lagune Digboué (Sud-Ouest, Côte d'Ivoire) par des pesticides (organophosphorés, carbamates et triazines) ainsi que leurs implications écotoxicologiques. Dix-huit stations représentatives des zones agricoles ont été échantillonnées et les sédiments analysés par Chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC). Les concentrations ont été comparées aux seuils LEB/TEB et interprétées à l'aide de la grille SEQ-Eau. Les triazines dominent la contamination (>80 % des stations), tandis que les organophosphorés et carbamates présentent une distribution plus localisée à proximité des zones cultivées. Les concentrations restent globalement faibles ($\leq 21 \mu\text{g}/\text{kg}$), inférieures aux seuils critiques. Toutefois, la qualité écologique varie de bonne à médiocre selon les stations. La cooccurrence des pesticides et la présence de métabolites d'atrazine suggèrent un risque d'exposition chronique. Ces résultats confirment le rôle des sédiments comme réservoirs de contaminants agricoles et soulignent la nécessité d'un suivi écotoxicologique des lagunes tropicales.

Mots-clés : *pesticides, sédiments, triazines, organophosphorés, carbamates, écotoxicologie, lagune Digboué, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Analysis and Ecotoxicological Assessment of Organophosphates, Carbamates, and Triazines in Sediments of the Digboué Lagoon, Southwestern Côte d'Ivoire

This study assesses pesticide contamination (organophosphates, carbamates, and triazines) in sediments of the Digboué Lagoon (Southwest, Côte d'Ivoire) and evaluates their ecotoxicological implications. Eighteen representative stations located in agricultural areas were sampled, and sediments were analyzed using high-performance liquid chromatography (HPLC). Pesticide concentrations were compared with LEB/TEB thresholds and interpreted using the SEQ-Eau classification framework. Triazines dominate the contamination (> 80 % of stations), whereas organophosphates and carbamates show a more localized distribution near cultivated areas. Overall concentrations remain low ($\leq 21 \mu\text{g}/\text{kg}$) and below critical thresholds. However, sediment quality ranges from good to moderate across stations. The co-occurrence of pesticides and the presence of atrazine metabolites suggest a potential risk of chronic exposure. These findings confirm that sediments act as reservoirs of agricultural contaminants.

Keywords : *pesticides, sediments, triazines, organophosphates, carbamates, ecotoxicology, Digboué lagoon, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

L'agriculture et la sécurité alimentaire sont au cœur de l'économie ivoirienne, reposant sur des cultures de rente telles que le cacao, le café, le palmier à huile et l'hévéa, qui constituent des sources majeures de revenus pour les ménages et contribuent au développement national [1]. Afin d'accroître les rendements agricoles, le recours aux pesticides s'est considérablement intensifié, notamment avec les organophosphorés et les carbamates principalement utilisés comme insecticides, ainsi que les triazines employées majoritairement comme herbicides [2, 3]. Leur application répétée favorise leur accumulation dans les sols et leur transfert vers les milieux aquatiques par ruissellement, érosion et drainage, créant des risques pour les écosystèmes [4]. Les sédiments lagunaires constituent des réservoirs persistants de ces contaminants. Ils favorisent leur bioaccumulation et leur remobilisation, avec des impacts potentiels sur la biodiversité benthique et le fonctionnement écologique des lagunes [5 - 7]. Dans les régions tropicales, où la surveillance environnementale demeure limitée, ces phénomènes compromettent la qualité des eaux et des habitats aquatiques [8]. En Côte d'Ivoire, peu d'études se sont concentrées sur la présence de pesticides dans les sédiments et leurs conséquences écotoxicologiques, en particulier dans la lagune Digbougé, un milieu soumis à une pression agricole croissante et d'importance socio-économique pour la pêche artisanale et les cultures péri-lagunaires [9-11]. Cette étude vise à évaluer la présence, la distribution spatiale et les concentrations d'organophosphorés, de carbamates et de triazines dans les sédiments de la lagune Digbougé, ainsi qu'à analyser le risque écotoxicologique associé. Les résultats fourniront une base scientifique pour la gestion durable de ce milieu.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

La lagune Digbougé est située à San-Pédro, dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire ($6^{\circ}39'$ - $6^{\circ}42'$ Nord, $4^{\circ}42'$ - $4^{\circ}45'$ Ouest), et couvre une superficie d'environ 10 km² (*Figure 1*). Elle est soumise à un climat équatorial de transition caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches, avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1 700 et 2 100 mm. Elle est principalement alimentée en eau douce par la rivière Baba, avec des apports marins occasionnels via un chenal côtier d'environ 20 m de largeur [12]. Les sols, majoritairement ferrugineux, ferrallitiques et hydromorphes, favorisent les activités agricoles, principales sources de revenus locales, dominées par l'hévéaculture, le palmier à huile, le café, le cacao et les cultures vivrières. La pêche et les activités agroalimentaires s'y ajoutent, représentant environ 65 % du Produit Intérieur Local [13].

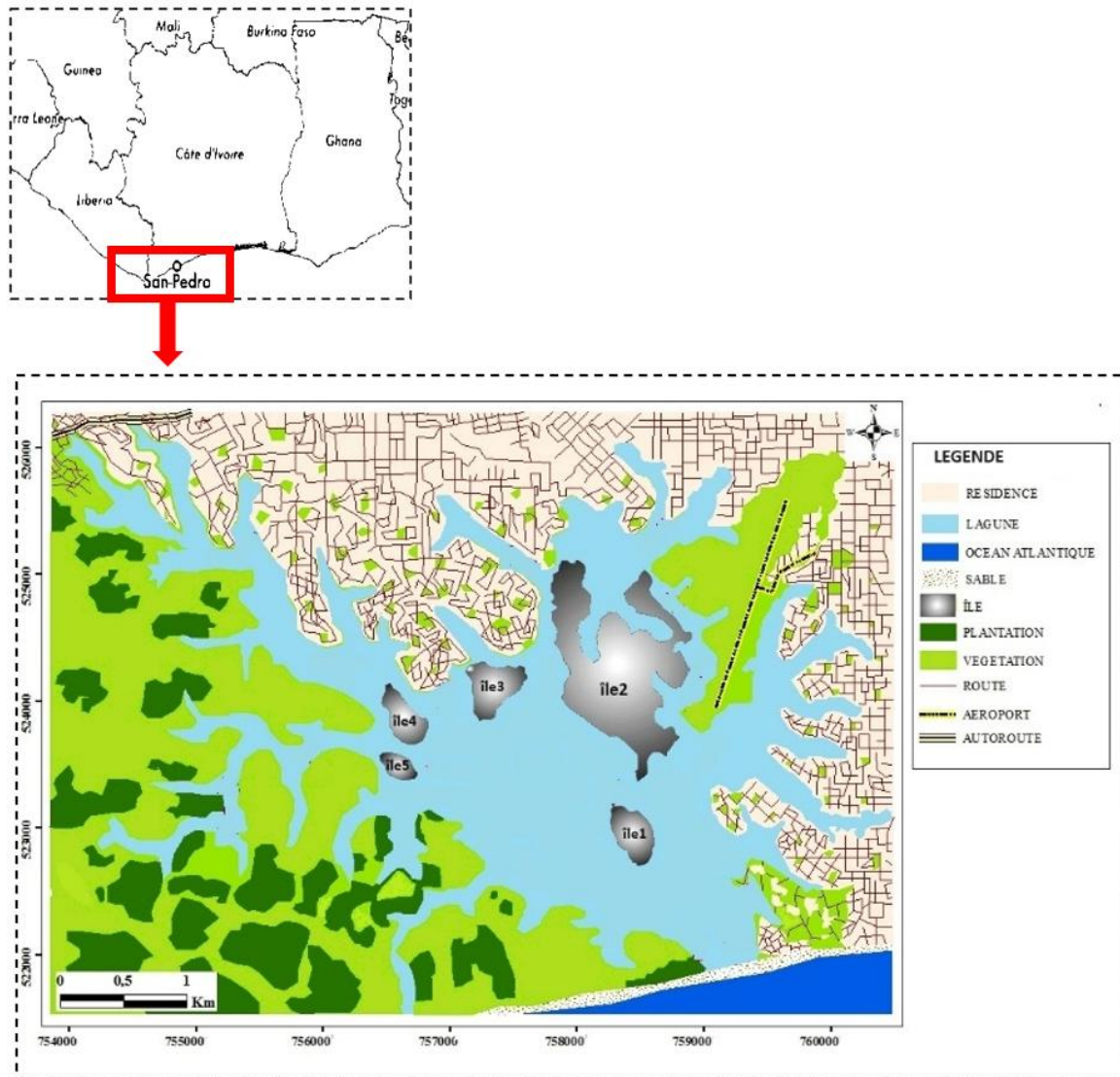


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2-2. Campagne d'échantillonnage

En Mai 2023, dix-huit stations de la lagune Digbougé (**Figure 2**), représentant îlots lagunaires, zones cultivées et secteurs périphériques, ont été échantillonnées. Des sédiments superficiels (0-5 cm) ont été prélevés à l'aide d'une benne Van Veen, étiquetés, protégés de la lumière et conservés à 4 °C jusqu'à analyse.

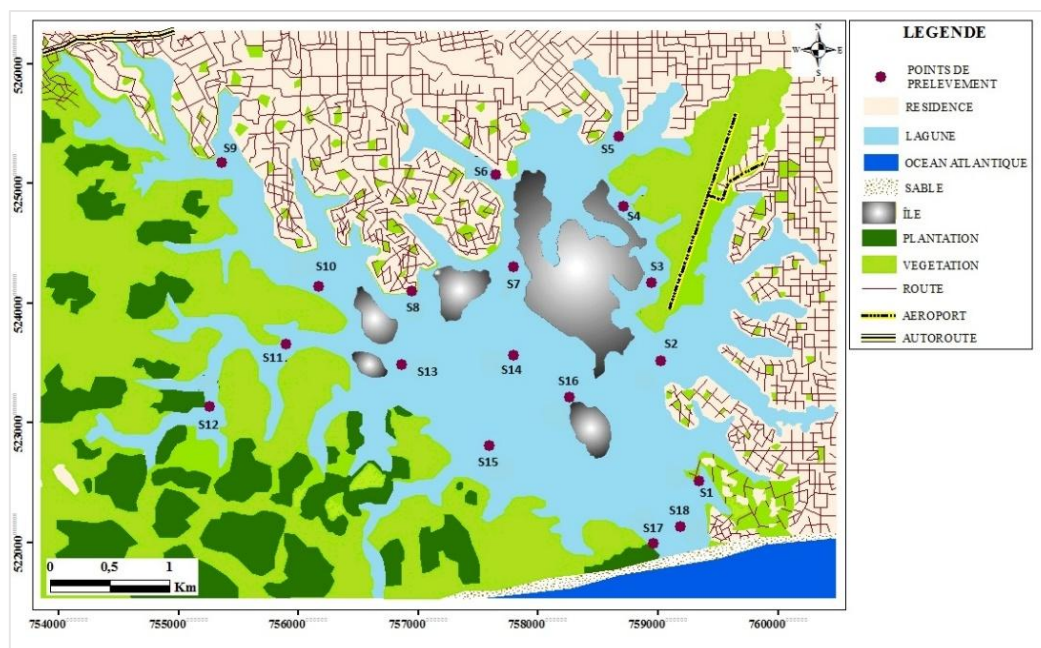


Figure 2 : Répartition spatiale des stations d'échantillonnage dans la lagune Digboù

2-3. Analyse chimique

2-3-1. Prétraitement des échantillons de sédiments

Les analyses ont été effectuées au Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA) à Abidjan. Les sédiments ont été séchés à moins de 40 °C pour préserver les composés thermosensibles, puis broyés et tamisés pour homogénéiser l'échantillon. Environ 50 g de sédiment sec ont été prélevés pour l'extraction et la quantification des pesticides.

2-3-2. Extraction, quantification et contrôle qualité des pesticides

Les pesticides ont été extraits des sédiments prétraités par agitation avec 100 mL de dichlorométhane (CH_2Cl_2) pendant 24 heures à température ambiante. La phase organique a été purifiée par distillation sous vide et élue avec 5-10 mL de méthanol selon le composé. La quantification a été réalisée par HPLC en phase inverse sur colonne C18 avec détection UV, calibrée à l'aide d'étalons connus. La qualité analytique a été vérifiée avec des échantillons blancs, des duplicatas et des standards internes (**Tableau 1**), et les concentrations ont été calculées en fonction du poids sec des sédiments, du volume d'extrait et du facteur de dilution.

Tableau 1 : Paramètres principaux de l'analyse

Paramètres	Spécification typique utilisée dans cette étude
Type d'injecteur	Automatique
Type de détecteur	UV (ultraviolet)
Phase stationnaire	C18 (octadécylsilane, phase inverse)
Dimensions de la colonne	4,6 mm ID × 100 ou 250 mm longueur, particules 3-5 μm
Température de la colonne	≤ 40 °C
Etalons de référence	Mélange d'étalons de pesticides connus

2-4. Traitement cartographique et évaluation écotoxicologique

Les stations, les limites de la lagune, les îlots cultivés et la couverture végétale ont été intégrées dans ArcGIS 10.2 pour créer une base cartographique. Les concentrations de pesticides ont été interpolées par la méthode Inverse Distance Weighting (IDW) afin de représenter leur distribution spatiale. L'évaluation écotoxicologique a comparé les valeurs mesurées aux repères TEB (Threshold Effect Benchmark) et LEB (Likely Effect Benchmark) [14], ajustés aux sédiments secs via le carbone organique total (COT) estimé par perte au feu. La grille SEQ-Eau [15] a ensuite permis de classer les stations de très bonne à mauvaise qualité et d'évaluer le risque écologique pour la faune benthique (*Tableaux 2 et 3*).

Tableau 2 : Valeurs de référence de TEB/LEB converties en $\mu\text{g}/\text{kg}$ pour certains pesticides de l'étude

Nom de la substance	LEB int	LEB eqp	TEB int	TEB eqp
Atrazine	285,5. 10 ³	ND	24,713. 10 ³	ND
Simazine	ND	24,713. 10 ³	ND	988,52
Prométryne	ND	741,39. 10 ³	ND	76,04 .10 ³
Parathion-méthyl	988,52	ND	98,852	ND

ND = non défini ; LEB = Likely Effect Benchmark ; TEB = Threshold Effect Benchmark ; LEB int = LEB intégré ; LEB eqp = LEB équivalent ; TEB int = TEB intégré ; TEB eqp = TEB équivalent.

Tableau 3 : Classification de la qualité des sédiments selon SEQ-Eau ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Classe de qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
Terbutylazine	0,7	7	70	ND	ND
Terbutryne	0,9	9,5	95	ND	ND
Parathion-méthyl	0,004	0,04	0,4	ND	ND
Parathion-éthyl	0,0004	0,004	0,04	ND	ND
Chlorfenvinphos	0,03	0,3	3	ND	ND

ND = non défini

3. Résultats

3-1. Profil des concentrations des résidus de pesticides par famille chimique

L'analyse des sédiments de la lagune Digboué révèle la présence de trois principales familles de pesticides : les organophosphorés, les carbamates et les triazines. Les concentrations mesurées varient selon les stations d'échantillonnage et les substances. Parmi les organophosphorés, le parathion-éthyl présente les concentrations les plus élevées, avec un maximum de 14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ enregistré aux stations S14 et S15, et une concentration moyenne de 1,61 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Le parathion-méthyl et le chlorfenvinphos sont quant à eux détectés à des concentrations plus faibles, n'excédant pas 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, et leur présence reste limitée à un nombre restreint de stations. Concernant les carbamates, le chlorprophame apparaît comme le composé dominant, avec une concentration maximale de 16 $\mu\text{g}/\text{kg}$ observée à la station S10 et une moyenne de 0,89 $\mu\text{g}/\text{kg}$. L'aldicarbe est détecté de manière ponctuelle, uniquement à la station S17, à une concentration de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Les triazines constituent la famille la plus diversifiée et la plus fréquemment détectée. Elles comprennent l'atrazine, ses principaux métabolites (déséthylatrazine et désisopropylatrazine), ainsi que la cyanazine, la simazine, la propazine, la terbutylazine, la prométryne et la terbutryne. Les concentrations de ces composés varient de 0 à 21 $\mu\text{g}/\text{kg}$, avec des valeurs maximales observées pour la simazine (21 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à S1) et la prométryne

(20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à S10). Les concentrations moyennes, comprises entre 0,05 et 2,28 $\mu\text{g}/\text{kg}$, demeurent globalement modérées. Par ailleurs, la détection simultanée de l'atrazine et de ses métabolites dans plusieurs stations témoigne à la fois de sa persistance dans l'environnement et de processus actifs de dégradation au sein des sédiments. Globalement, les concentrations moyennes en pesticides restent inférieures à 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La **Figure 3** présente les concentrations moyennes ainsi que la fréquence de détection des différentes familles de pesticides dans les sédiments de la lagune Digboué.

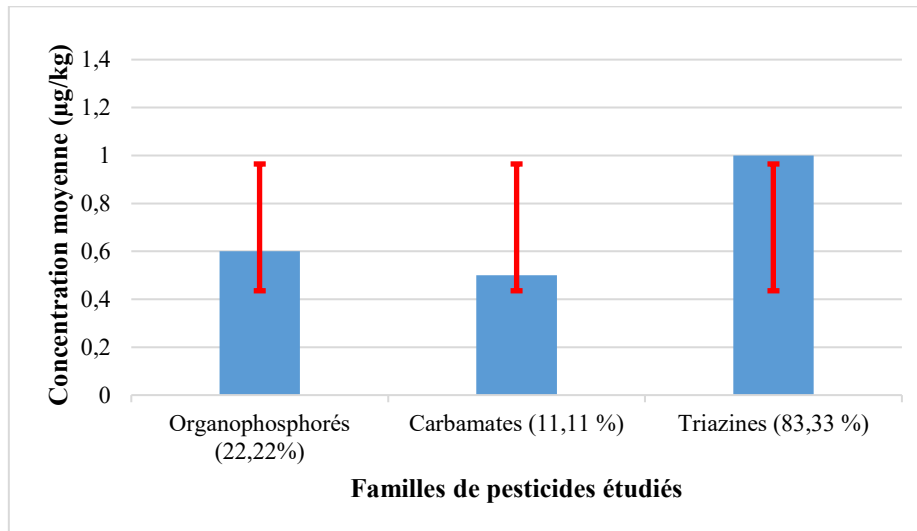


Figure 3 : Concentrations moyennes et fréquence (%) des familles de pesticides dans les sédiments de la lagune Digboué (prédominance des triazines)

3-2. Distribution spatiale des résidus de pesticides dans les sédiments

La contamination en pesticides des sédiments de la lagune Digboué est fortement hétérogène. Les concentrations maximales (14 -21 $\mu\text{g}/\text{kg}$) sont enregistrées aux stations proches des îlots cultivés et de la végétation riveraine (S1, S10, S14, S15), tandis que la majorité des stations périphériques présentent des niveaux faibles ou indétectables. Par famille de composés, les organophosphorés sont détectés sur 4 stations, concentrés aux sites les plus contaminés. Les carbamates apparaissent sur 2 stations seulement, dominés par le chlorprophame. Les triazines sont les plus répandues, détectées sur 15 des 18 stations, avec des concentrations variant de 0 à 21 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La répartition spatiale des trois familles de pesticides est illustrée dans les **Figures 4 à 6**, mettant en évidence des zones de contamination préférentielles et traduisant le caractère localisé et non uniforme des apports agricoles.

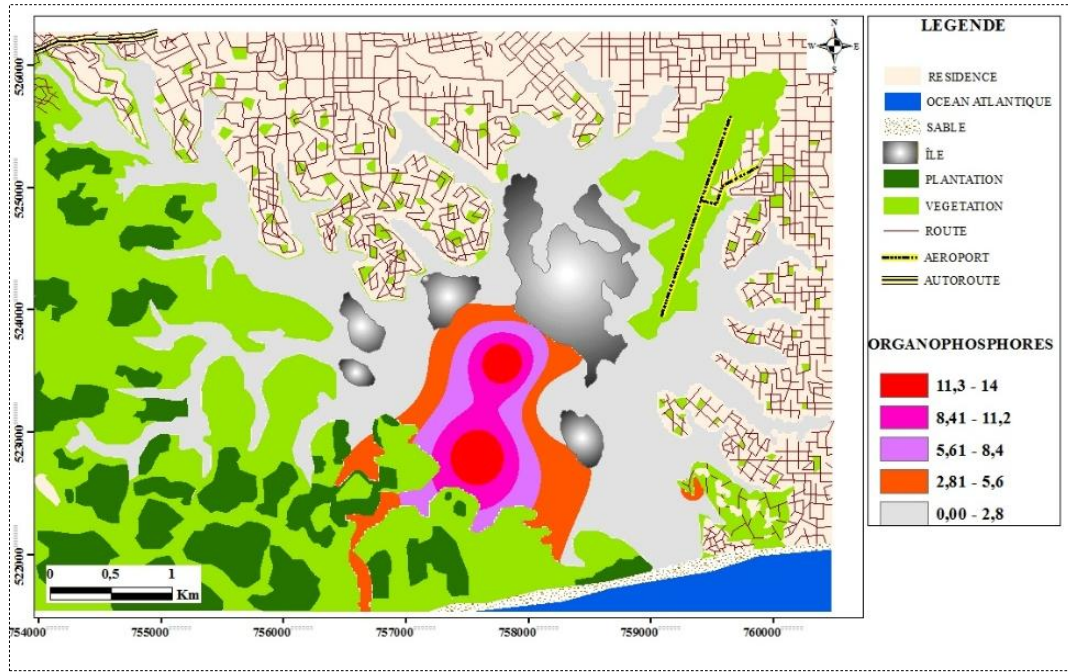


Figure 4 : Répartition spatiale des organophosphorés dans les sédiments de la lagune Digboûé ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

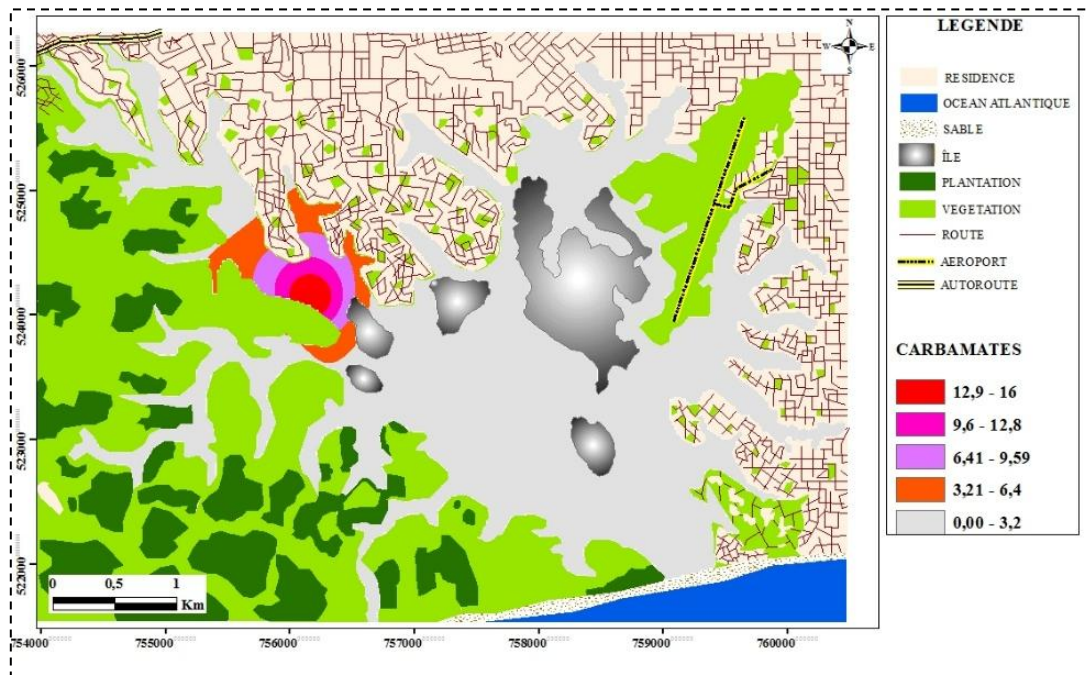


Figure 5 : Répartition spatiale des carbamates dans les sédiments de la lagune Digboûé ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

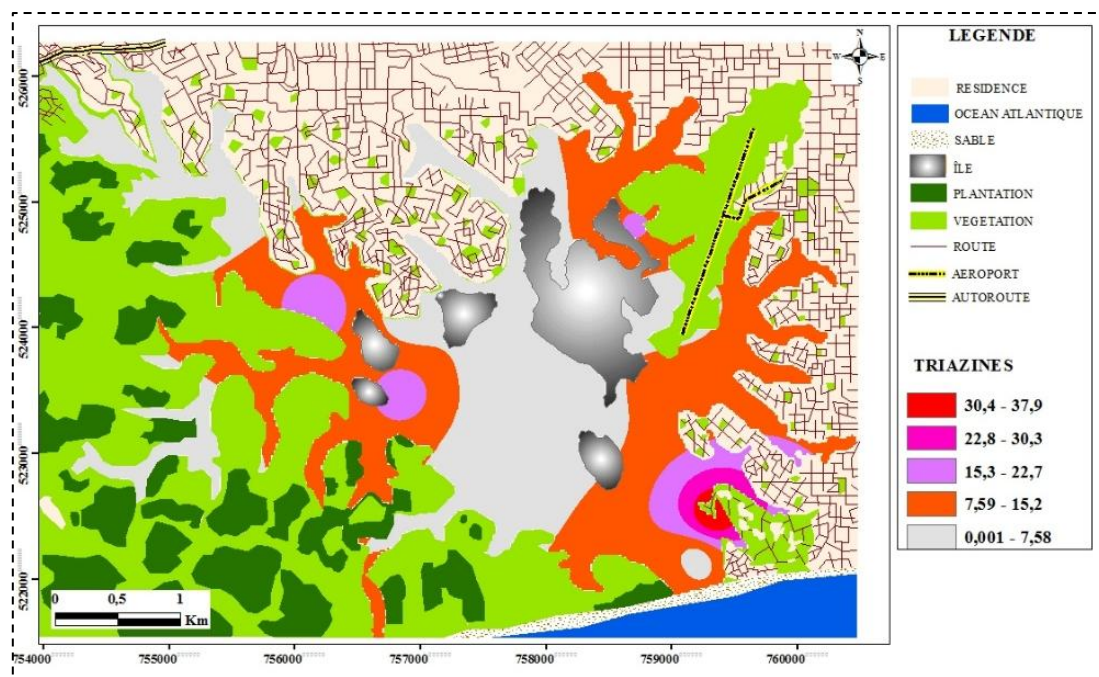


Figure 6 : Répartition spatiale des triazines dans les sédiments de la lagune Digoù ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

3-3. Comparaison des concentrations mesurées avec les seuils écotoxicologiques

Parmi les composés détectés, seuls le parathion-méthyl (0-1 $\mu\text{g}/\text{kg}$), l'atrazine (0-11 $\mu\text{g}/\text{kg}$), la simazine (0-21 $\mu\text{g}/\text{kg}$) et la prométryne (0-20 $\mu\text{g}/\text{kg}$) disposent de valeurs de référence LEB et TEB. Les concentrations moyennes de ces pesticides restent inférieures aux seuils correspondants, ce qui indique un risque individuel limité. Pour les autres composés détectés, l'absence de seuils empêche toute évaluation quantitative du risque (*Tableau 4*).

Tableau 4 : Concentrations moyennes des pesticides dans les sédiments de la lagune Digoù, seuils LEB/TEB et risque pour la faune benthique

Composés détectés	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	LEB/TEB défini	Interprétation du risque
Parathion-méthyl	0,06	Oui	Risque limité (concentration < LEB/TEB)
Parathion-éthyl	1,61	Non	Risque non quantifiable
Chlorfenvinphos	0,11	Non	Risque non quantifiable
Aldicarbe	0,11	Non	Risque non quantifiable
Chlorprophame	0,89	Non	Risque non quantifiable
Atrazine	0,78	Oui	Risque limité (concentration < LEB/TEB)
Déséthylatrazine	1,28	Non	Risque non quantifiable
Désisopropylatrazine	0,77	Non	Risque non quantifiable
Cyanazine	1,78	Non	Risque non quantifiable
Simazine	2,28	Oui	Risque limité (concentration < LEB/TEB)
Propazine	0,4	Non	Risque non quantifiable
Terbutylazine	0,05	Non	Risque non quantifiable
Prométryne	1,44	Oui	Risque limité (concentration < LEB/TEB)
Terbutryne	0,17	Non	Risque non quantifiable

LEB : Likely Effect Benchmark ; TEB = Threshold Effect Benchmark.

3-4. Évaluation de la qualité écologique des sédiments selon la grille SEQ-Eau

L'évaluation de la qualité des sédiments à l'aide de la grille SEQ-Eau met en évidence une variabilité des classes de qualité selon les composés analysés. Les concentrations de parathion-méthyl (0 à 1 µg/kg) et de parathion-éthyl (0 à 14 µg/kg) correspondent à la classe médiocre selon les seuils définis. Le chlorfenvinphos présente des concentrations comprises entre 0 et 2 µg/kg, correspondant à des classes de qualité allant de moyenne à bonne. Les concentrations de terbuthylazine (0 à 1 µg/kg) et de terbutyne (0 à 2 µg/kg) se situent dans les classes très bonne à bonne. Ainsi, les classes de qualité observées dans les sédiments s'étendent de très bonne à médiocre, selon les substances considérées. Ces différences reflètent la variabilité spatiale des contaminants entre les stations (*Tableau 5*).

Tableau 5 : Concentrations des pesticides dans les sédiments de la lagune Digboué, seuils SEQ-Eau et classes de qualité associées

Composé	Concentrations (µg/kg)	Seuils SEQ-Eau (µg/kg)	Classe SEQ observée
Parathion-méthyl	0-1	Très bonne 0,004 ; Bonne 0,04 ; Moyenne 0,4 ; Médiocre 3	Médiocre
Parathion-éthyl	0-14	Très bonne 0,0004 ; Bonne 0,004 ; Moyenne 0,04 ; Médiocre 0,4	Médiocre
Chlorfenvinphos	0-2	Très bonne 0,03 ; Bonne 0,3 ; Moyenne 0,4	Moyenne à bonne
Terbuthylazine	0-1	Très bonne 0,7 ; Bonne 7 ; Moyenne 70	Très bonne à bonne
Terbutryne	0-2	Très bonne 0,9 ; Bonne 9,5 ; Moyenne 95	Très bonne à bonne

4. Discussion

4-1. Niveau de contamination, sources et mécanismes d'accumulation dans les sédiments

Les sédiments de la lagune Digboué présentent une contamination modérée mais spatialement hétérogène, avec des concentrations variant de 0 à 21 µg/kg. Les triazines sont prédominantes, détectées dans plus de 80 % des stations, tandis que les organophosphorés et les carbamates restent plus localisés. Certains composés, comme le parathion éthyl (max. 14 µg/kg) et le chlorprophame (max. 16 µg/kg), montrent des pics ponctuels, alors que d'autres pesticides sont faiblement détectés (≤ 2 µg/kg). Cette distribution reflète une pression phytosanitaire variable, directement liée aux pratiques agricoles sur les îlots cultivés et leurs abords. Les applications répétées d'herbicides sur le cacao et l'hévéa, ainsi que l'usage ponctuel d'insecticides, constituent les sources principales de ces résidus [16]. Ces observations confirment l'influence directe des activités agricoles sur la qualité des compartiments aquatiques ivoiriens [17, 18]. Les pesticides atteignent la lagune par ruissellement, lixiviation, érosion et dérive lors des pulvérisations, phénomène amplifié par les épisodes de fortes pluies [19]. Les stations proches des cultures présentent les concentrations les plus élevées, avec un gradient décroissant vers les secteurs périphériques, tandis que la présence d'organophosphorés dans des zones plus centrales suggère des redistributions liées à la circulation hydrodynamique et à la remise en suspension des sédiments. Par ailleurs, le devenir des pesticides dépend fortement des propriétés physico-chimiques locales : une granulométrie fine et une forte teneur en matière organique favorisent l'adsorption, limitant la biodisponibilité et ralentissant la dégradation. La détection simultanée de l'atrazine et de ses métabolites (DEA et DIA) témoigne d'une contamination répétée et d'une transformation active, confirmant la persistance de cet herbicide dans les sédiments [20, 21]. Ces observations confirment que les sédiments agissent comme un compartiment intégrateur, reflétant à la fois les apports récents et l'historique d'utilisation des pesticides.

4-2. Mise en perspective régionale

La lagune Digboué illustre la dynamique régionale de contamination diffuse des écosystèmes aquatiques soumis à l'agriculture en Côte d'Ivoire et en Afrique de l'Ouest. Dans plusieurs lacs et lagunes, des herbicides (triazines) et des insecticides (organophosphorés et carbamates) sont régulièrement détectés [22, 23]. Par exemple, des niveaux élevés de triazines et de métabolites comme la désisopropylatrazine ont été observés dans le bassin du fleuve Bandama [24], tandis que des insecticides (bifenthrine, imidaclopride) et des herbicides dérivés de l'urée sont présents dans le lac de Buyo et les fleuves Comoé et Bia [25, 26]. Le profil des pesticides dans la lagune Digboué est dominée par l'atrazine, la simazine, la prométryne et certains organophosphorés (parathion-éthyl et parathion-méthyl), à des concentrations relativement faibles ($\leq 21 \mu\text{g/kg}$), reflétant une pression agricole modérée et des conditions hydrodynamiques favorisant la dilution. Ces résultats soulignent la représentativité de la lagune Digboué pour la contamination sédimentaire liée aux pratiques agricoles en Afrique de l'Ouest et confirment la nécessité d'une gestion coordonnée de ces polluants. Ils sont cohérents avec les observations au Bénin et au Ghana, où herbicides et insecticides coexistent également dans les sédiments agricoles [27, 28].

4-3. Signification écotoxicologique

L'analyse écotoxicologique révèle un contraste entre les seuils d'effet internationaux (LEB et TEB [14]) et la classification qualitative de la grille SEQ-Eau [15]. Pour les substances disposant de références (atrazine, simazine, prométryne, parathion méthyl), les concentrations restent inférieures aux seuils associés à des effets aigus sur les organismes benthiques, indiquant un risque immédiat limité. Cependant, le classement « médiocre » observé pour le parathion-éthyl et le parathion-méthyl met en évidence des pressions ponctuelles non détectables par les seuils internationaux. Cette divergence souligne que les seuils globaux ne reflètent pas toujours la variabilité locale et que certaines zones peuvent présenter des pressions sur les communautés benthiques. De plus, l'absence de dépassement des seuils LEB/TEB n'exclut pas des effets à long terme, notamment dans les environnements tropicaux, où la température, la dynamique hydrosédimentaire et la matière organique influencent la biodisponibilité et la persistance des contaminants [29]. La cooccurrence de plusieurs familles de pesticides, tels que les organophosphorés et les triazines, peut générer des effets cumulatifs ou synergiques, modifiant progressivement les réseaux trophiques et le fonctionnement des écosystèmes [30]. Par ailleurs, les sédiments peuvent agir comme des réservoirs secondaires, relarguant des pesticides lors de remises en suspension. Cette dynamique suggère que le risque écotoxicologique est multifactoriel, dépendant non seulement des concentrations mesurées mais aussi des conditions locales et de la mobilisation potentielle des contaminants.

5. Conclusion

Les sédiments de la lagune Digboué présentent une contamination modérée mais spatialement hétérogène par des triazines, des organophosphorés et des carbamates ($\leq 21 \mu\text{g/kg}$), avec des foyers localisés à proximité des zones agricoles. La prédominance des triazines, associée à la présence de métabolites d'atrazine, témoigne d'apports répétés et d'une certaine persistance dans le compartiment sédimentaire. L'évaluation écotoxicologique, fondée sur les seuils LEB/TEB et la grille SEQ-Eau, indique une qualité écologique globalement bonne à moyenne, malgré des pressions ponctuelles liées à certains organophosphorés (parathion-éthyl et parathion-méthyl). Ces résultats contribuent à la caractérisation écotoxicologique des sédiments lagunaires tropicaux et constituent une base pour le développement de programmes de surveillance intégrés combinant analyses chimiques, référentiels normatifs et indicateurs biologiques.

Remerciements

Nous remercions le Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Énergétiques de l'UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM) de l'Université Félix Houphouët-Boigny, ainsi que le Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA) d'Abidjan, pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

Références

- [1] - M. DIOMANDE, L. AKPA, A. L. Y. OUATTARA, G. O. KPAN, A. KOFFI, K. B. YAO, A. F. YAPI, D. SORO, L. AGBRI and J. BIEMI, Climate and agriculture in Côte d'Ivoire : Perception and quantification of the impact of climate change on cocoa production by 2050. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13 (6) (2023) 328 - 344
- [2] - A. CARVALHO, Pesticides, environment and food safety. *Food and Energy Security*, 6 (2017) 48 - 60
- [3] - N. L. MDENI, A. O. ADENIJI, A. I. OKOH and O. O. OKOH. Analytical evaluation of carbamate and organophosphate pesticides in human and environmental matrices: a review. *Molecules*, 27 (2022) 618
- [4] - S. AHMAD, M. CHANDRASEKARAN and H. W. AHMAD, Investigation of the persistence, toxicological effects, and ecological issues of S-triazine herbicides and their biodegradation using emerging technologies: a review. *Microorganisms*, 11 (2023) 2558
- [5] - S. SINGH, H. KASHYAP, N. SHEHATA, G. S. JAMMU, Y. KAPAHI, N. A. KHAN et S. RTIMI, Carbamates-based pesticides: detection, toxicity, biodegradation, and sustainable development challenges. *Chemical Engineering Journal*, 515 (2025) 163800
- [6] - M. C. COMMELIN, J. E. M. BAARTMAN, P. ZOMER, M. RIKSEN et V. GEISSEN, Pesticides are substantially transported in particulate phase from agricultural fields to surface waters. *Frontiers in Environmental Science*, 10 (830589) (2022) 13 p.
- [7] - A. ABANEH, D. EJIGU, M. ATLABACHEW, E. DEJEN and G. TILAHUN, Risks of pesticides on aquatic ecosystems and pesticide management effectiveness in Ethiopia: review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21 (2024) 8833 - 8848
- [8] - K. S. YAO, A. TROKOUREY et B. C. ATSE, Évaluation de l'impact de la contamination aux pesticides des eaux sur les poissons et la santé de l'homme dans les secteurs IV et V de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *RAMReS Sciences des Structures et de la Matière*, 2 (2020) 59 - 74
- [9] - K. E. AHOUSI, A. M. P. SEKA et A. TRAORE, Évaluation de la qualité des eaux de la rivière Mé par l'utilisation des pesticides dans les pratiques agricoles. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 39 (2022) 351 - 363
- [10] - B. I. M. GOULE, K. F. KONAN, V. E.-S. ZRAN et Y. H. YAPI, Évaluation des niveaux de contamination par les pesticides dans les sols des plantations d'ananas de la région du Sud-Comoé (Côte d'Ivoire). *American Journal of Applied Chemistry*, 13 (1) (2025) 16 - 21
- [11] - M. Y. DOUMBIA, M. G. TCHAKAM et T. JOUAILLEC, Diniyo à San-Pedro de la cité portuaire à la métropole côtière. Document sujet de l'atelier international de San-Pédro, (2021) 101 p.
- [12] - Y. M. KAMENAN, Elaboration d'un modèle de protection des eaux souterraines en zone de socle : cas des aquifères fissurés du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, (2021) 171 p.
- [13] - Y. L. KOUAME, San-Pédro une ville, deux territoires urbains : le port autonome et la collectivité urbaine. Rapport relatif aux ateliers de maîtrise d'œuvre urbaine de San-Pédro, (2021) 33 p.

- [14] - L. H. NOWELL, J. E. NORMAN, C. G. INGERSOLL et P. W. MORAN, Development and application of freshwater sediment-toxicity benchmarks for currently used pesticides. *Science of the Total Environment*, 550 (2016) 835 - 850
- [15] - SYSTEME D'ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU (SEQ), Grilles d'évaluation SEQ-Eau. Version 2. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Agences de l'eau, Paris, France, (2003) 40 p.
- [16] - T. K. F. GUGUS, L. MEITE, A. SEKA M'BASSIGUIE, N. K. ABOUA, B. D. SORO, R. N'GUETTIA et M. KONE, Assessment of phytosanitary risks in cocoa, rubber and rice production via the Quebec Pesticide Risk Indicator in Central West Ivory Coast. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 44 (11) (2025) 8 - 18
- [17] - K. S. YAO, K. V. KOUAME, K. M. YAO, B. C. ATSE, A. TROKOUREY et A. S. TIDOU, Contamination, distribution et évaluation des risques écologiques par les pesticides dans les sédiments de la lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 14 (6) (2018) 400 - 412
- [18] - K. E. AHOUSSE, A. M. P. SEKA et A. TRAORE, Evaluation de la qualité des eaux de la rivière Mé par l'utilisation des pesticides dans les pratiques agricoles. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 39 (2022) 351 - 363
- [19] - N. N. JANARDHAN, Impact environnemental des pesticides : toxicité, bioaccumulation et solutions de rechange. *Rapports environnementaux*, 7 (2) (2025) 14 - 21
- [20] - T. DUCROQC, S. MEREL et C. MIEGE, Revue des méthodes analytiques et de l'apparition de contaminants organiques dans les sédiments d'eau continentale. *Chemosphere*, 365 (2024) 143275
- [21] - M. TRIASSI, P. MONTUORI, D. P. PROVVISIERO, E. DE ROSA, F. DI DUCA, P. SARNACCHIARO et S. DIEZ, Occurrence and spatial-temporal distribution of atrazine and its metabolites in the aquatic environment of the Volturno River estuary, southern Italy. *Science of the Total Environment*, 803 (2022) 149972
- [22] - Y. ATTO et S. MONDE, Evaluation du niveau de contamination du lac d'Adaou (Est de la Côte d'Ivoire) par les produits Phytosanitaires. *Journal international des géosciences et de l'environnement*, 45 (2020) 56 - 59
- [23] - K. J. P. KONAN, K. T. YAO et B. ADIAFFI, Evaluation de la pollution des ressources en eau par les activités agricoles dans le bassin versant de la Loka dans le département de Sakassou, Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 22 (3) (2023) 34 - 43
- [24] - BUREAU NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE DEVELOPPEMENT (BNETD), Projet d'aménagement hydroélectrique de Singrobo-Ahouaty, Côte d'Ivoire : étude d'impact environnemental et social (EIES), rapport final. Abidjan, Côte d'Ivoire, (2017) 333 p.
- [25] - A. AKE, A. R. FRANCK AMIAN, G. MAURICE YEO, A. O. ETCHIAN, L. ALLA YAO, A. F. YAPO et M. C. BLE, Analyse socio-démographique des agriculteurs et des pesticides utilisés dans la zone de marnage du lac Buyo (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 19 (18) (2023) 119 p.
- [26] - S. KONE, U. P. GNONSORO, N. S. SANGARE et A. TROKOUREY, Contamination levels and seasonal variations of pesticides in suspended particles in the Bia, Comoé and Tanoé rivers (Côte d'Ivoire). *Journal of Materials and Environmental Science*, 15 (7) (2024) 971 - 982
- [27] - C. DOUNY, Y. M. B. G. ZOUMENOU, M. AÏNA, I. I. TOKO, A. IGOUT, L. GUEDEGBA, S. K. CHABI, P. KESTEMONT et M. L. SCIPPO, Contamination of water, sediment and fish with residues of pesticides used in cotton production in Northern Benin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 81 (3) (2021) 367 - 385
- [28] - A. OROU-SEKO, D. CHIRAWURAH, A. HOUNDJI, F. ACHANA, J. A. NDAGO, M. NKANSAH-BAIDOO et M. N. ADOKIYA, Occurrence of pesticide residues and associated ecological risk assessment in water and sediment from selected dams in northern Ghana. *PLoS ONE*, 19 (10) (2024) e0312273
- [29] - L. B. MERGA et P. J. VAN DEN BRINK, A review of climatic zone-related variations in toxicity of imidacloprid towards aquatic species and ecosystems. *Environmental Pollution*, 386 (2025) 127267
- [30] - I. NAVARRO, S. ROYANO, C. ALONSO, A. DE LA TORRE et M. Á. MARTINEZ, Environmental exposure and risk assessment of pesticide mixtures in aquatic organisms from the Tagus River Basin. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 305 (2025) 119221