

Niveau de concentration des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les sédiments de surface de la lagune Digboué (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Concentration level of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of the Digboué lagoon (South-West of Côte d'Ivoire)]

Toalo Lou Kala Marie-Claude¹, N'Guessan Yao Alexis¹, Irié Bi Trazié Jean-Gaël¹, Gboko Yao Dakro Albert², and Kouassi Kouamé Moïse³

¹Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME), Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSSEG), Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Abidjan, Côte d'Ivoire

³Centre de Recherches Océanologiques (CRO), Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The contamination of aquatic environments by organic pollutants such as PAHs constitutes a worrying threat to water quality, but also to the survival of aquatic biodiversity. The present study aims to assess the risk linked to the presence of such contaminants in the surface sediments of a lagoon subject to urban influence. The method used for this purpose first consisted of collecting eighteen (18) representative samples of sediment at the bottom of the water using a grab. Then, an analysis of their PAH content was carried out using the gas chromatography technique coupled with mass spectrometry (GC-MS) in the laboratory. The different concentrations obtained of each PAH were finally compared with corresponding LEL and SEL tolerance threshold values. These analyzes reveal the presence of 8 main PAHs in the sediments studied with a range of concentrations going from 0 to 32.08 µg/kg. Among these, light PAHs such as Fluoranthene and Pyrene with respective maximum contents of 6.25 and 32.08 µg/kg. Heavy PAHs such as: Benzo (b) fluoranthene, Benzo (k) fluoranthene, Benzo (a) pyrene, Indeno (1, 2,3-cd) pyrene, Benzo (a) anthracene and Benzo (g, h, i) perylene, with concentrations ranging between 0 and 31.46 µg/kg. All the PAH values obtained were well below the usage rights thresholds. From the analysis of the various results, it appears that all of these quantified organic compounds did not currently represent a danger for the lagoon environment due to their very low levels.

KEYWORDS: organic pollutants, sediments, concentrations, toxicity threshold, Digboué lagoon, Ivory Coast.

RESUME: La contamination des milieux aquatiques par les polluants organiques tels que les HAP constitue une menace préoccupante pour la qualité des eaux, mais aussi pour la survie de la biodiversité aquatique. La présente étude vise à évaluer le risque lié à la présence de tels contaminants dans les sédiments de surface d'une lagune soumise à une influence urbaine. La méthode utilisée à cet effet a d'abord consisté à collecter à la benne dix-huit (18) échantillons représentatifs de sédiments au fond de l'eau. Ensuite une analyse de leur contenu en HAP a été faite par la technique de chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) au laboratoire. Les différentes concentrations obtenues de chaque HAP ont été enfin comparées avec des valeurs seuils de toxicité LEL et SEL correspondantes. Ces analyses révèlent la présence de 8 principaux HAP dans les sédiments étudiés avec une gamme de concentrations allant de 0 à 32,08 µg/kg. Parmi ceux-ci, des HAP légers tels que le Fluoranthène et le Pyrène avec des teneurs maximales respectives de 6,25 et 32,08 µg/kg. Des HAP lourds tels que: le Benzo (b) fluoranthène, le Benzo (k) fluoranthène, le Benzo (a) pyrène, l'Indéno (1, 2,3-cd) pyrène, le Benzo

(a) anthracène et le Benzo (g, h, i) pérylène, avec des concentrations oscillant entre 0 et 31,46 µg/kg. Toutes les valeurs de HAP obtenues ont été très largement inférieures aux seuils de toxicité utilisés. De l'analyse des différents résultats, il ressort que tous ces composés organiques quantifiés ne représenteraient pour l'heure un danger pour le milieu lagunaire en raison de leurs très faibles teneurs.

MOTS-CLEFS: polluants organiques, sédiments, concentrations, seuil de toxicité, lagune Digboué, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les activités anthropiques qui prennent place autour des plans d'eau constituent de véritables sources de nuisance pour ces milieux. Une situation traduite quotidiennement par le déversement en leur sein d'énormes quantités de substances de nature et de taille très diverses. Parmi les contaminants les plus fréquemment détectés dans le milieu marin se trouve la famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) [1]. Celle-ci forme un groupe de plus de 100 composés différents constitués exclusivement d'atomes de carbone et d'hydrogène [2]. Les HAP sont générés majoritairement lors de l'incinération des déchets agricoles et aussi pendant la combustion du bois, du charbon ou des ordures ménagères [3]. Ils peuvent également provenir d'autres sources que sont: la circulation automobile; les industries pétrochimiques et similaires; l'industrie pétrolière depuis les différentes phases d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures jusqu'à leur transport par les navires pétroliers [4], [5], [6], [7]. Une fois arrivés au sein des divers milieux aquatiques, les HAP ont pour particularité de s'accumuler facilement aussi bien dans les sédiments (plus spécifiquement sur les particules fines) que dans les organismes vivants. Ils y apparaissent en outre comme des composés faiblement volatiles et solubles, avec une biodégradabilité qui varie fortement selon les conditions du milieu [8], [9]. Leur persistance même à faible dose est susceptible d'entraîner à la longue des conséquences nocives sur la qualité des eaux, mais aussi sur la biodiversité (organismes benthiques en particulier) qui les habite [10]. Ils méritent donc d'être suivi de près au sein de ces milieux. Cette présente étude vient par conséquent compléter les nombreuses approches scientifiques de suivi et de contrôle de ce type de contaminants dans les compartiments biotiques et abiotiques des environnements aquatiques. Elle a pour objectif principal de déterminer le niveau de teneurs de plusieurs de ces contaminants hydrocarbonés (HAP), dans les sédiments d'une lagune (Digboué), soumise à des rejets constants d'effluents non traités, afin de discuter enfin de leur éventuelle toxicité. Cette lagune est située dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 6°39 et 6°42 Nord et les longitudes 4°42 et 4°45 Ouest. Elle couvre une superficie d'environ 10 Km².

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ECHANTILLONNAGE DES SEDIMENTS SUPERFICIELS

Dix-huit (18) échantillons de sédiment ont été collectés au total dans la lagune Digboué au moyen d'une benne Van Veen, afin de déterminer les teneurs en HAP. Les échantillons collectés sont conservés dans des sachets plastiques étiquetés et conditionnés dans du papier aluminium à l'abri de la lumière et ensuite mis dans une glacière remplie des blocs de glace pour leur maintien à une température voisine de 5 °C.

2.2 ANALYSES CHIMIQUES DES SEDIMENTS

Au laboratoire, après la phase de pré-traitement des échantillons (séchage, broyage et tamisage), 50 g de sédiments fins sont retenus pour l'extraction. Ainsi 20 ml de dichlorométhane (CH₂Cl₂) ont été utilisés pour extraire les composés à analyser du milieu réactionnel. Les extraits obtenus sont alors filtrés, évaporés à sec, puis purifiés sur une colonne de silice/alumine. Il s'en suit enfin une quantification des HAP recherchés au dispositif de CPG-SM, l'un des systèmes les plus utilisés en chimie analytique et qui permet d'identifier et/ou de quantifier avec une plus grande précision de nombreuses substances présentes en très petites quantités, voire en traces [11], [12] (Tableau 1).

Tableau 1. Quelques paramètres principaux de l'analyse

Paramètres	Valeurs
Type d'injecteur	Automatique
Type de détecteur	UV visible
Colonne(nature et dimensions)	Colonne capillaire, épaisseur film : 3 x 0,25 mm ; Diamètre : 0,25 µm
Température(four-injecteur-détecteur)	40 °C max
Nature éléments de référence	Etalons de molécules de HAP
Mode d'injection des échantillons	Mode d'acquisition d'ions sélectifs

2.3 EVALUATION DU RISQUE DE TOXICITE DES SEDIMENTS

La toxicité des sédiments face aux HAP a été évaluée en comparant les concentrations obtenues après analyse chimique aux valeurs LEL (Lowest Effect Level) et SEL (Severe Effect Level) (Tableau 2), en absence de normes sur les HAP en Côte d'Ivoire. Ces valeurs correspondent à des teneurs propres à chaque substance à ne pas excéder si l'on souhaite protéger l'environnement [13], [14], [15], [16].

Tableau 2. Valeurs guides LEL et SEL exprimées en µg/kg (ppb) des HAP de l'étude

HAP	Lowest Effects Level (LEL)	Severe Effects Level (SEL)
Benzo(a)anthracène	320	148.10 ⁴
Benzo(k)fluoranthène	240	134.10 ⁴
Benzo(a)pyrène	370	144.10 ⁴
Benzo (g,h,i)pérylène	170	32.10 ⁴
Fluoranthène	750	102.10 ⁴
Indeno(1,2,3 -c,d)pyrène	200	32.10 ⁴
Pyrène	490	85.10 ⁴
Benzo(b)fluoranthène	-	-

3 RESULTATS

3.1 CONCENTRATIONS DES HAP DANS LES SEDIMENTS

Huit (8) principaux HAP ont été quantifiés sur l'ensemble des sites échantillonnés. Les paramètres statistiques enregistrés lors de ces mesures indiquent pour chacun de ces composés, les variations suivantes:

- Le fluoranthène: un intervalle de concentration allant de 0 µg/kg à 6,25 µg/kg, avec une moyenne de 0,78 µg/kg. Les valeurs les plus élevées sont constatées dans les stations qui se rapprochent de la passe sableuse depuis la zone centrale de la lagune. Les valeurs les plus faibles s'observent au niveau des stations situées sur le pourtour du bras lagunaire nord-est dont la partie médiane est recouverte par un couvert végétal ;
- Le benzo (b) fluoranthène: des valeurs de concentrations comprises entre 0 et 24,03 µg/kg, soit une moyenne estimée à 7,46 µg/kg. Celles-ci sont généralement faibles du côté nord-ouest de la lagune et beaucoup plus importantes dans sa partie centrale, ainsi que dans ses extrémités nord-est et sud-ouest ;
- Le benzo (k) fluoranthène: une valeur moyenne de l'ordre de 0,24 µg/kg, et des valeurs maximale et minimale s'élevant respectivement à 0 µg/kg et à 1,18 µg/kg. Les fortes teneurs en ce hap s'observent dans la partie occidentale et les moins fortes s'identifient un peu sur toute la superficie lagunaire ;
- Le pyrène: des teneurs oscillant entre 0 et 32,08 µg/kg, soit une moyenne de 8,72 µg/kg. Les concentrations en pyrène sont plus élevées dans les secteurs nord-est et sud-ouest de la lagune digboué et le sont moins dans la partie située de part et d'autre du village digboué et du quartier balmer.

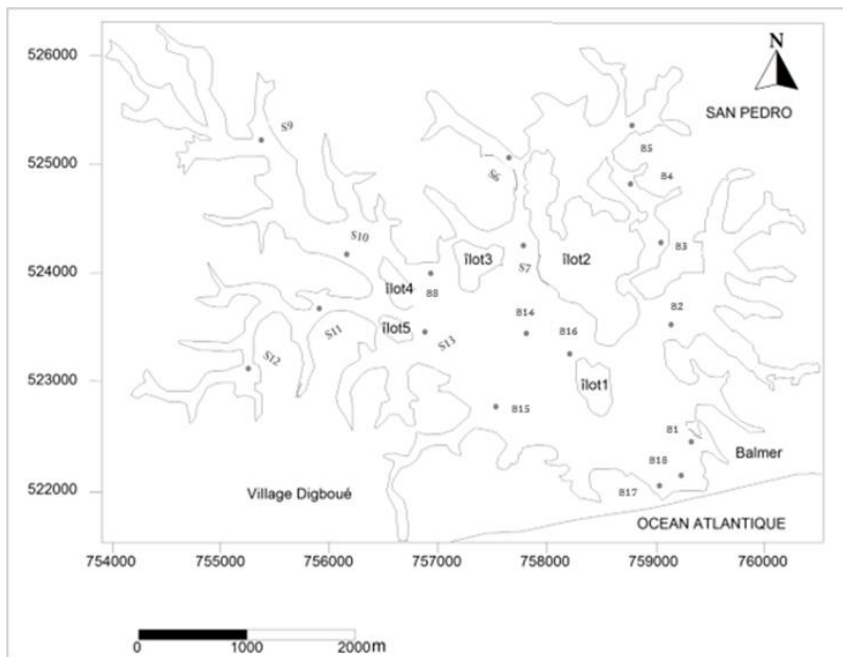


Fig. 1. Carte de présentation de la zone d'étude

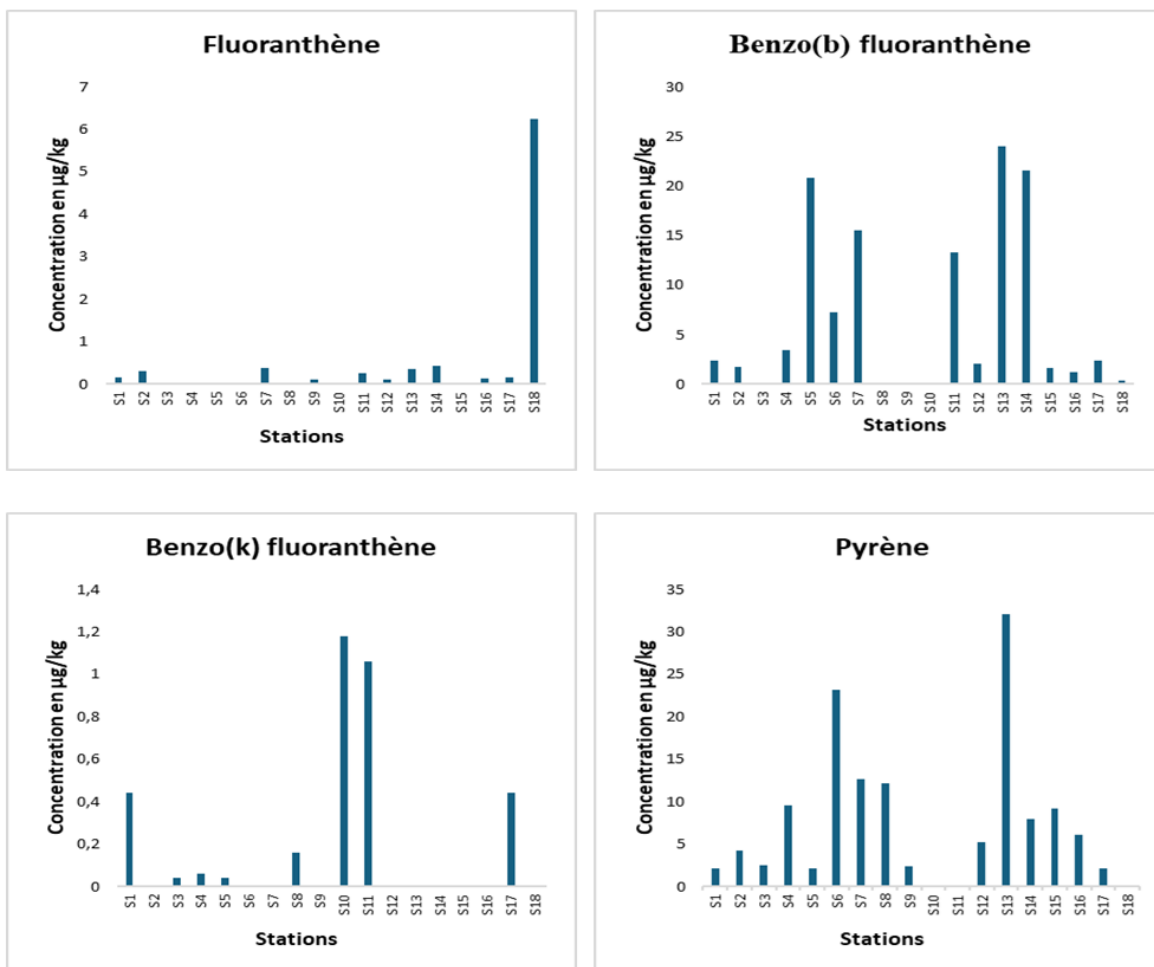


Fig. 2. Variation des concentrations des HAP par stations

- Le benzo (a) pyrène: avec des valeurs comprises entre 0 à 3,44 µg/kg. Sa valeur moyenne observée est de 1,31 µg/kg. Les valeurs du benzo (a) pyrène sont généralement faibles dans les zones de prélèvement situées à proximité du grau. Les plus fortes valeurs apparaissent au nord et au sud-ouest ;
- L'indéno (1, 2,3-cd) pyrène: les résultats montrent une variation de concentration allant de 0 à 31,46 µg/kg. La concentration moyenne de ce composé chimique est estimée à 5,32 µg/kg. Ce composé a des valeurs élevées au niveau du cordon et plus faibles dans les zones nord et sud-ouest de la lagune digboué ;
- Le benzo (a) anthracène: avec des teneurs allant de 0 à 7,9 µg/kg et une moyenne de 1,45 µg/kg. Les valeurs les plus importantes sont observées dans la moitié nord de la lagune et les plus faibles dans la grande moitié sud ;
- Le benzo (g, h, i) pérylène: les concentrations sont comprises entre 0 et 4,43 µg/kg et une moyenne de 1,20 µg/kg. Au sud-ouest, au centre et au nord-est les concentrations de ce hap sont plus élevées. Au nord-ouest et au sud-est du plan d'eau lagunaire, elles sont moins importantes.

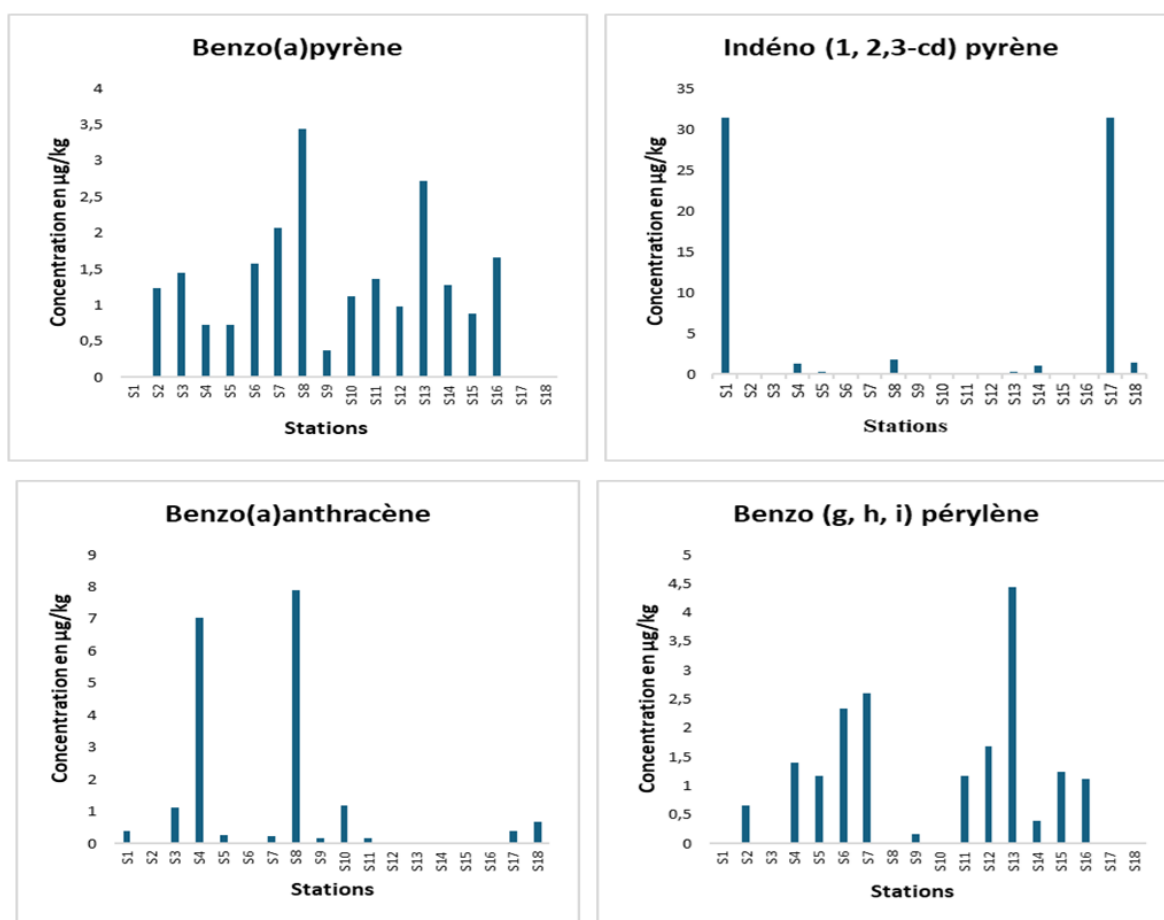


Fig. 3. Variation des concentrations des HAP par stations

Ces résultats montrent non seulement une contamination de la majorité des sédiments étudiés par les HAP quantifiés, mais aussi une variation des niveaux de concentration de ces composés d'une station à une autre. Les concentrations étant comprises entre 0 et 32,08 µg/kg.

3.2 EVALUATION DES RISQUES TOXICOLOGIQUES DES HAP

Les teneurs en HAP des sédiments analysés ont été toutes très largement inférieures à la concentration de HAP au-dessus de laquelle les espèces de la colonne d'eau se trouvent à risque (LEL) et au niveau de concentration en polluant pour lequel l'on observe des impacts sévères sur 95% de la communauté benthique (SEL). Aucune conclusion claire n'a été cependant établie au niveau du benzo (b) fluoranthène dont les valeurs de référence de toxicité restent méconnues (Tableau 3).

Tableau 3. Concentrations des HAP par stations et valeurs guides Lowest Effects Level (LEL) / Severe Effects Level (SEL) correspondantes en µg/kg (ppb)

HAP	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	LEL	SEL
Benzo(a)anthracène	0,41	0	1,12	7,03	0,28	0	0,25	7,9	0,18	1,2	0,18	0	0,01	0	0	0	0,41	0,68	320	148.10 ⁴
Benzo(k)fluoranthène	0,44	0	0,04	0,06	0,04	0	0	0,16	0	1,18	1,06	0	0	0	0	0	0,44	0	240	134.10 ⁴
Benzo(a)pyrène	0,02	1,23	1,45	0,72	0,72	1,58	2,07	3,44	0,37	1,12	1,36	0,98	2,72	1,28	0,88	1,66	0,02	0	370	144.10 ⁴
Benzo (g,h,i)pérylène	0	0,66	0	1,41	1,17	2,33	2,6	0	0,17	0	1,18	1,68	4,43	0,4	1,25	1,12	0	0	170	32.10 ⁴
Fluoranthène	0,15	0,31	0	0	0	0	0,37	0,04	0,11	0	0,26	0,1	0,35	0,43	0	0,13	0,15	6,25	750	102.10 ⁴
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	31,46	0	0,23	1,25	0,35	0	0,19	1,76	0	0	0,15	0	0,3	1,11	0	0,02	31,46	1,45	200	32.10 ⁴
Pyrène	2,12	4,2	2,47	9,58	2,11	23,19	12,68	12,13	2,46	0	0	5,19	32,08	7,97	9,25	6,05	2,12	0	490	85.10 ⁴
Benzo(b)fluoranthène	2,4	1,76	0,14	3,43	20,84	7,3	15,53	0,08	0	0	13,27	2,08	24,03	21,5	1,59	1,19	2,4	0,32	-	-

4 DISCUSSION

L'étude du niveau de concentration des HAP révèle une contamination des sédiments superficiels de la lagune Digboué. Les concentrations individuelles en contaminant sont comprises généralement dans l'intervalle 0 et 32,08 µg/kg. Il s'agit pour la plupart de HAP lourds, parmi lesquels domine majoritairement le pyrène avec une teneur totale de 134 µg/kg. Ce composé est suivi du benzo (b) fluoranthène et de l'indéno (1, 2,3-cd) pyrène, avec des concentrations totales respectives de 118 et 70 µg/kg. Cette contamination ne saurait être cependant globale pour un même individu de HAP identifié, en raison de teneurs nulles observées par moment à certains points d'échantillonnage. L'hétérogénéité ainsi constatée dans les valeurs en HAP pourrait s'expliquer d'une part à partir de l'influence de propriétés sédimentologiques telles que la nature et la granulométrie du sédiment. En effet, le taux d'hydrocarbures ayant tendance à être faible ou nul dans un sédiment grossier et sableux, et significatif dans une vase [17], [18]. Ceci semble être parfaitement en accord avec nos résultats où la plupart des stations fortement concentrées en HAP ont été représentées par des sédiments vaseux. D'autre part, cette différence de teneurs pourrait provenir de la localisation du point de prélèvement des sédiments par rapport aux sources principales d'apport de ces contaminants dans la lagune. Ces sources comprennent les émanations des véhicules poids lourds des carrières de sables de la plage Digboué à l'exutoire de la lagune. Aussi les gaz d'échappement des moteurs de véhicules (diesel ou essence) durant le trafic routier dans les zones rurales périphériques (le village Digboué au sud-ouest, Balmer à l'est, Soleil et Zimbabwe respectivement au nord-ouest et au nord-est) et les feux de bois domestiques dans certains ménages constituent des sources de contamination en HAP de la lagune Digboué. En outre, la production du charbon comme activité informelle de certains résidents de quartiers précaires à proximité, puis l'élimination en lagune ou aux alentours de déchets plastiques tels que les bouteilles vides d'huile de vidange par certains quartiers viennent s'ajouter à ces sources. Enfin, le rejet d'eaux usées issues de sources lointaines telles que les zones industrielles (Sud et Nord) de la ville de San-Pédro et qui utilisent la lagune Digboué comme exutoire final [19]. En suivant ainsi cette seconde approche, les zones les plus éloignées de ces sources auront des teneurs en HAP relativement faibles, tandis que les plus proches seront beaucoup plus concentrées [20]. Et cela illustre parfaitement les concentrations individuelles observées en HAP sur l'ensemble du plan d'eau lagunaire. Ces valeurs pour la totalité des HAP étudiés, comparées à celles des sédiments de la zone côtière ivoirienne (Toukouzou Hozalem-Assinie) s'en révèlent très largement en dessous [21]. Cette différence s'expliquerait tout simplement par la plus forte anthropisation de la zone côtière contrairement à la lagune Digboué. La comparaison également des diverses concentrations en HAP avec les valeurs de référence de toxicité LEL et SEL admises pour chacun de ces composés montrent que ceux-ci ne représentent à priori aucun danger pour les organismes du milieu lagunaire.

5 CONCLUSION

Les milieux aquatiques sont l'objet de multiples atteintes provoquées par les activités humaines développées à leurs alentours. Celles-ci génèrent des quantités remarquables de polluants en l'occurrence les HAP. Ces composés sont particulièrement redoutés en raison de leur toxicité et leur persistance dans l'environnement. Ainsi en Côte d'Ivoire, le suivi particulier de ce type de contaminants dans les milieux lagunaires a suscité la réalisation de cette étude. Son objectif principal était de déterminer le niveau de teneurs de plusieurs de ces HAP dans les sédiments superficiels de la lagune Digboué, au sud-ouest du pays. L'approche méthodologique utilisée à cet effet a permis de mettre en évidence au terme de l'étude une faible contamination des sédiments par des composés tels que: le fluoranthène, le benzo (b) fluoranthène, le benzo (k) fluoranthène, le pyrène, le benzo (a) pyrène, l'indéno (1, 2,3-cd) pyrène, le benzo (a) anthracène et le benzo (g, h, i) pérylène. Ces résultats sont certes satisfaisants mais restent tout de même préoccupants car ce stock actuel de contaminants s'il n'est pas contrôlé

peut s'avérer nocif par la suite. C'est pourquoi la plupart de ces substances ont été jugées prioritaires (dangereuses) par la DCE. Des programmes de biosurveillance devront être envisagés.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA), qui nous a offert l'opportunité d'y effectuer nos différentes analyses, ainsi que le Centre de Recherches Océanologiques (CRO) pour sa collaboration et la mise à notre disposition du matériel de travail.

REFERENCES

- [1] F.Z. Ndadani, F. Zkhir, H. Idali et A. Rachidi, «Analyse des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans les produits halieutiques au niveau de la côte sud atlantique du Maroc», Moroccan Journal of Heterocyclic Chemistry, vol.15, no.1, pp. 152-157, 2016.
- [2] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>.
- [3] B. Doornaert et A. Pichard «Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ». INERIS, O3DRL77, Paris, France, pp.64, 2003.
- [4] M. Fraser., G. Cass, B. Simoneit and R. A. Rasmussen «Air quality model evaluation data for organics. C6-C22 nonpolar and semipolar aromatic compounds», Environmental Science and Technology, vol. 32, pp. 1760-1770, 1998.
- [5] J. Gasperi, «Introduction et transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales dans le réseau d'assainissement parisien», Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp.272, 2006.
- [6] H. Chalghmi, « Etude de la pollution marine par les hydrocarbures et caractérisation de leurs effets biochimiques et moléculaires sur la palourde de Ruditapes sp », Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, pp. 260, 2017.
- [7] H. Romanelli, «Étude de la propagation d'une nappe de pétrole au large des îles Canaries», Mémoire de Master, Université de Liège, pp.56, 2021.
- [8] L. Martel, M.J. Gagnon, R. Masse and A. Leclerc «The spatio-temporal variations and fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Saguenay Fjord, Québec, Canada». Water Res, vol.21, pp. 699-707, 1987.
- [9] L.G. Bellucci., M. Frignani, D. Paolucci et M. Ravanelli, «Répartition des métaux lourds dans les sédiments de la lagune de Venise: le rôle de la zone industrielle», Science de l'environnement total, Vol. 295, no1 à 3, pp. 35-49, 2002.
- [10] U. Varanasi et J.E. Stein, «Disposition of xenobiotic chemicals and metabolites in marine organisms», Environ. Health Perspec, no.90, pp. 93-100, 1991.
- [11] I.B. Fay, «Application du couplage chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse en tandem (CPG/SM/SM) à l'analyse de produits alimentaires», Analisis magazine, vol. 26, no.1, pp. 28-32, 1998.
- [12] S. Bouchonnet et D. Libong, « Le couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse », L'actualité chimique, no.275, pp. 7-14, 2004.
- [13] D. Persaud, R. Jaagumagi and A. Hayton, «Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario», Ontario Ministry of Environment and Energy, pp.27, 1993.
- [14] J. Marchand, L. Quiniou, R. Riso, M.T. Thebaut and J. Laroche, « Physiological Cost of Tolerance to Toxicants in the European Flounder Platichthys Flesus, along the French Atlantic Coast», Aquatic Toxicology, vol.70, no.4, pp. 327- 343, 2004.
- [15] C.W. Götz, R. Kase and J. Hollender, « Mikroverunreinigungen- Beurteilung weitergehender Abwasserreinigungsverfahren anhand Indikatorsubstanzen GWA », vol.4, pp. 1-9, 2010.
- [16] I. Wittmer, C. Moschet, J. Simovic, H. Singer, C. Stamm, J. Hollender et C. Leu, «Plus de 100 pesticides dans les cours d'eau. Une forte pollution des cours d'eau suisses révélée par le programme NAWA SPE», Aqua & Gas, vol. 94, no.11, pp.68-79, 2014.
- [17] P.H. Baumard, P. Budzinski, H. Garrigues, P.D. Dizer and Hansen, «Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments and mussels (*Mytilus edulis*) from the Western Baltic Sea: occurrence, bioavailability and seasonal variations», Marine Environmental Research, vol.47, no.1, pp. 17- 47, 1999.
- [18] O.L.G. Maioli, K.C. Rodrigues, B.A. Knoppers and D.A. Azevedo, «Pollution source evaluation using petroleum and aliphatic hydrocarbons in surface sediments from two Brazilian estuarine systems», Org Geochem, no.41, pp. 966, 2010.

- [19] B. Diarrassouba, A.C. Yapi et Y. C.A. Allangba, «Activités industrielles et risques environnementaux dans la ville de San-Pedro (Côte d'Ivoire)», La Revue Africaine des Sciences Sociales « Pensées genre. Penser autrement, vol.3, no.2, pp. 19-37, 2023.
- [20] Edjere., I. Agbozu, G. Asibor, S. Otolu and U. Bassey, «Seasonal Trend of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Sediments from River Ethiope in the Niger Delta Region of Southern Nigeria», International Research Journal of Pure and Applied Chemistry, pp. 69-77, 2020.
- [21] O. L. E. Oura, «Étude dynamique de la contamination de la zone côtière ivoirienne (Toukouzou Hozalem – Assinie) par les polluants organiques et les éléments traces métalliques (ETM)», Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INPHB), pp. 150, 2022.