

Évaluation et bioaccumulation du mercure dans le *Tilapia guineensis* et *Chrysichthys maurus* dans système lagunaire Aby et Tendo en Côte d'Ivoire

Stéphane Jean CLAON^{1*}, Kouakou Serge KOUASSI³, Gervais Kouamé KONAN²,
Aminata BAKAYOKO¹, Ladji MEITE² et Luc Kouakou KOUADIO¹

¹ Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Département des Sciences Analytiques et Santé Publique, BPV 34 Abidjan, Côte d'Ivoire

² Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE), Laboratoire des Sciences de l'Environnement (LSE), 02 BP 801 Abidjan 02, Abidjan Côte d'Ivoire

³ Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de Biologie et Santé, Abidjan BPV 34, Abidjan, Côte d'Ivoire

(Reçu le 10 Janvier 2024 ; Accepté le 20 Février 2024)

* Correspondance, courriel : claonstephane@gmail.com

Résumé

Les écosystèmes lagunaires sont des milieux écologiquement riches, mais aussi vulnérables à la pollution aux métaux lourds tels que le mercure (Hg) provenant de l'activité minière aurifère. Ainsi, les poissons sont des indicateurs pertinents de l'exposition par le mercure, du fait de la bioaccumulation et de la bioamplification de ce polluant. L'objectif de l'étude est de déterminer les concentrations en Hg dans les tissus musculaires de deux espèces commerciales de poissons, *Tilapia guineensis* (Tilapia) et *Chrysichthys maurus* (Mâchoiron) afin d'évaluer le niveau d'exposition et le risque potentiel pour les consommateurs. Les poissons capturés dans les lagunes Aby nord et Tendo durant la saison des pluies et la saison sèche ont été identifiés et les concentrations de Hg dans les tissus musculaires ont été analysées par spectrométrie de fluorescence atomique. Les résultats montrent des concentrations de Hg qui varient de 0,01 à 1,44 µg Hg/g pf avec une moyenne de 0,13 µg Hg/g pf et de 0,01 à 0,13 µg Hg/g pf avec une moyenne de 0,04 µg Hg/g pf respectivement dans les muscles des *Tilapias guineensis* et *Chrysichthys maurus*. Les concentrations de Hg sont plus élevées dans les poissons durant la saison des pluies et dans les tilapias de Aby nord. Globalement, les concentrations de Hg dans les deux espèces de poissons étaient inférieures aux normes internationales de sécurité alimentaire mais pouvaient présenter des risques pour la santé humaine.

Mots-clés : *mercure, poissons, bioaccumulation, santé humaine, Lagune Aby.*

Abstract

Assessment and bioaccumulation of mercury in *Tilapia guineensis* and *Chrysichthys maurus* from Aby and Tendo Lagoon, Côte d'Ivoire

Lagoon ecosystems are ecologically rich environments, but also vulnerable to heavy metal pollution such as mercury (Hg) from gold mining. Thus, fish are pertinent indicators of mercury exposure, due to its bioaccumulation and biomagnification. The aim of the study was to determine Hg concentrations in the muscles

tissues of two commercial fish species, *Tilapia guineensis* (Tilapia) and *Chrysichthys maurus* (Mâchoiron), in order to assess the level of exposure and potential risk to consumers. Fish captured in the Aby nord and Tendo lagoons during the rainy and dry seasons were identified and Hg concentrations in muscle tissue were analyzed by atomic fluorescence spectrometry. The results show Hg concentrations ranging from 0.01 to 1.44 $\mu\text{g Hg/g pf}$ with an average of 0.13 $\mu\text{g Hg/g pf}$ and from 0.01 to 0.13 $\mu\text{g Hg/g pf}$ with an average of 0.04 $\mu\text{g Hg/g pf}$ respectively in the muscles of *Tilapias guineensis* and *Chrysichthys maurus*. Hg concentrations are highest in fish during the rainy season and in tilapias from Aby nord. Overall, Hg concentrations in both fish species were below international food safety standards but could present risks to human health.

Keywords : *mercury, fish, bioaccumulation, human health, Aby Lagoon.*

1. Introduction

Les écosystèmes lagunaires de Côte d'Ivoire sont des milieux écologiquement riches, jouant un rôle essentiel dans la biodiversité et la subsistance des communautés locales [1, 2]. Ces écosystèmes lagunaires abritent une diversité biologique exceptionnelle [3]. Les eaux calmes des lagunes servent de nurseries naturelles pour de nombreuses espèces de poissons, crustacés et mollusques. Ces zones sont également des habitats importants pour de nombreuses espèces tels que les poissons [4, 5]. Cependant, les lagunes sont également influencées par diverses activités humaines, notamment l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation, susceptibles d'introduire des contaminants dans l'environnement tel que le mercure [6]. En effet, la présence du mercure dans ces écosystèmes est un sujet préoccupant en raison de ses effets potentiellement toxiques sur la santé humaine et la biodiversité [7]. Le mercure est un élément naturellement présent dans l'environnement, mais les activités humaines ont considérablement augmenté sa concentration dans les écosystèmes aquatiques. Les sources anthropiques de mercure comprennent les émissions industrielles, l'extraction minière, la combustion de combustibles fossiles et l'utilisation de produits contenant du mercure [8, 9]. Une fois libéré dans l'environnement, le mercure peut se transformer en méthylmercure, une forme hautement toxique qui peut s'accumuler dans les organismes vivants [10]. Les poissons sont particulièrement vulnérables à l'accumulation de mercure en raison de leur position trophique élevée dans la chaîne alimentaire. En effet, les poissons et les autres organismes aquatiques absorbent le méthylmercure à partir de l'eau et des sédiments, ce qui peut entraîner une bioaccumulation dans les tissus musculaires [11]. La consommation de poissons provenant de sources d'eau contaminées peut également constituer une voie d'exposition aux polluants pour l'homme et causer des effets toxiques et neurotoxiques [12]. En Côte d'Ivoire, le système lagunaire Aby est une source importante de poissons pour la consommation humaine locale et régionale [13]. En effet, la pêche est une activité économique importante et les poissons constituent une source importante de protéines pour la population locale [14]. Cependant, peu d'études ont été menées sur la contamination par le mercure dans les poissons de ce système lagunaire. Les poissons sont particulièrement vulnérables à la bioaccumulation du mercure en raison d'une part de leur position trophique élevée dans la chaîne alimentaire et d'autre part en raison de la forte activité minière sur la lagune Aby [15]. Dans ce contexte, l'évaluation et la surveillance de la contamination par le mercure dans les écosystèmes aquatiques sont essentielles pour protéger la santé humaine et l'environnement. L'objectif est de déterminer les niveaux de mercure dans les tissus musculaires de ces espèces et d'évaluer les risques potentiels pour la santé humaine associés à la consommation de ces poissons.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

La lagune Aby est située sur la côte du Golfe de Guinée, au sud-est de la Côte d'Ivoire. Elle s'étend entre les longitudes est 2°51' et 3°21' et les latitudes nord 5°05' et 5°22'. Cette lagune estuarienne s'étend sur une distance de 24,5 km du nord au sud et de 56 km d'est en ouest, avec une superficie totale de 420 km². Sa plus grande largeur est de 5,5 km au nord, tandis que sa plus petite largeur ne mesure qu'un peu plus d'un kilomètre à l'est. La lagune Aby reçoit les eaux de deux fleuves coulant sous couvert forestier, le Tanoé et la Bia, situés respectivement au nord et à l'est de la lagune. La nomenclature locale de la lagune Aby distingue quatre sous-ensembles séparés par des détroits de différentes largeurs. Du nord au sud et d'ouest en est, on peut distinguer les lagunes Aby Nord, Aby Sud, Tendo et Ehy (*Figure 1*). Cependant, seules les parties Nord et la lagune Tendo ont fait l'objet de cette étude.

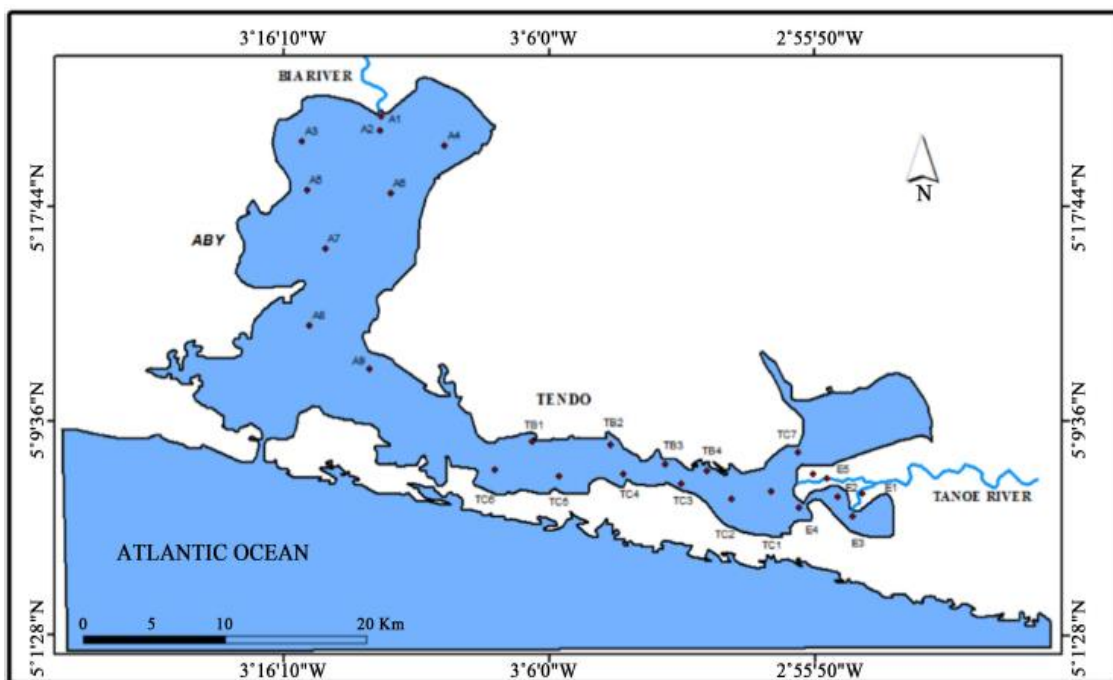


Figure 1 : Points d'échantillonnage sur le site d'étude

2-2. Échantillonnage

L'étude menée pour évaluer la contamination des poissons au Hg a été réalisée en tenant compte des variations climatiques et hydrologiques de la région. Les campagnes d'échantillonnage ont été menées en quatre étapes sur deux cycles hydroclimatiques successifs, avec deux campagnes à la saison des pluies et deux autres à la saison sèche sur les lagunes Aby nord et Tendo. Les campagnes d'échantillonnage ont été influencées par plusieurs facteurs, notamment la mobilité des poissons qui leur permet d'agir comme intégrateurs de pollution spatiale diffuse. L'efficacité de l'intégration spatiale dépend de la surface de l'habitat, du nombre et de la densité de spécimens sur le site au cours d'une période donnée. Par conséquent, un échantillonnage sélectif a été privilégié pour permettre une comparaison entre les deux lagunes. Les poissons ont été sélectionnés selon les critères recommandés par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement [16]. Cette approche a permis d'assurer une comparabilité entre les résultats obtenus dans les deux lagunes et de fournir des données fiables sur la contamination des poissons au mercure dans la région.

2-3. Prélèvements de poissons

Les poissons capturés dans les lagunes Aby nord et Tendo durant la saison des pluies et la saison sèche ont été identifiés. Chaque échantillon de grande taille a été placé dans un sac en polyéthylène pour éviter la contamination des échantillons de poissons par des métaux, en prenant soin de ne pas percer le sac avec les nageoires ou les éperons. L'air a été chassé du sac en le comprimant, puis le sac a été fermé hermétiquement. Les spécimens de poissons de petite taille ont été regroupés par lot de 5 sujets. Les échantillons de poissons ont été placés dans une glacière et conservés à l'état frais en présence de carboglaces jusqu'au laboratoire. Au total, 107 poissons ont été prélevés en fonction de leur dénomination, du nombre et de l'environnement. Les spécimens de poissons prélevés appartenaient à des niveaux trophiques différents, composés de 67 *Tilapia guineensis* et 40 *Chrysichthys maurus*. Les échantillons ont été sélectionnés de manière à assurer une représentativité adéquate des différentes espèces et tailles de poissons présentes dans les lagunes Aby nord et Tendo.

2-4. Dosage du mercure dans les poissons

2-4-1. Digestion des poissons et des mollusques

Pour la digestion des poissons et des mollusques, une masse d'environ 0,4 g de poids frais est prélevée avec une précision de 0,005 lors de la pesée. Le protocole complet est explicité dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Protocole de minéralisation des poissons et des mollusques

Étapes	Actions	Réactifs	Puissance (Watt)	Durée (min)
1	Minéralisation	10 ml HNO ₃	60 W	20 min
2	Refroidissement	-	0	5 min
3	Minéralisation	5 ml H ₂ O ₂	80 W	15 min

2-4-2. Appareillage

L'appareil utilisé pour l'analyse par spectrométrie de fluorescence atomique est le Merlin PSA 10.023. Ce système automatisé se compose d'un spectromètre de fluorescence, d'un générateur en continu de vapeur de mercure, et d'un ordinateur. Le générateur de vapeur de mercure est équipé de pompes péristaltiques, d'électrovannes (contrôlées par ordinateur pour permettre l'alternance du mélange de réactifs ou l'introduction de l'échantillon à analyser), d'un séparateur air-liquide, et d'un tube contenant une membrane desséchante pour éliminer toute humidité. Les conditions opératoires et les limites de détection pour l'analyse du mercure sont détaillées dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Conditions analytique du mercure total par CV-AFS

	Paramètres	Valeurs
Production des vapeurs de Hg	SnCl ₂ débit (ml/min)	4 - 5
	Débit de l'échantillon/standard (ml/min)	8 - 10
	Temps de pause (s)	15
	Temps d'ascension (s)	30
	Temps de mémorisation (s)	60
DéTECTEUR AFS	Débit du gaz de blindage (ml/min)	300
	Débit du gaz de séchage (N ₂) (ml/min)	250

2-4-3. Analyse des échantillons de poissons

Les analyses de Hg ont été faites au laboratoire de Chimie Analytique, Bio-Inorganique et Environnementale de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Ainsi, la détermination du Hg total dans les échantillons a été effectuée par couplage d'un générateur de vapeur de Hg à la spectrométrie de fluorescence atomique (CV-AFS).

2-4-4. Expression des résultats

La **Formule** de calcul des teneurs en mercure dans les échantillons a été formulée comme suit

$$\text{Teneur en mercure } (\mu\text{g Hg/g}) = \frac{\text{Quantité en mercure}}{\text{Masse de la prise d'essai}} \quad (1)$$

La teneur de mercure en milligrammes par microgramme ($\mu\text{g Hg/g}$); Quantité de mercure mesurée lors de l'analyse (exprimée en microgrammes); Masse de la prise d'essai du poids frais (pf) (exprimée en grammes).

2-4-5. Analyse statistique des données

Le logiciel de statistique SPSS a été utilisé pour le traitement des données. L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du test de Student. Tous les tests étaient considérés comme indiquant une signification statistique à une valeur p inférieure à 0,05. De même, les corrélations entre la masse et la longueur des poissons a été effectuées à l'aide du test de Spearman. Les variables quantitatives sont résumées sous forme de valeur moyenne, médiane et d'écart-type dans les **Tableaux**.

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques des poissons

Le **Tableau 3** présente des statistiques descriptives des longueurs à la fourche et des masses pour trois types de poissons : les tilapias, les mâchoirons et les autres poissons. La moyenne de la longueur des tilapias à la fourche est similaire pour Aby nord (17 cm) mais légèrement inférieure pour Tendo (16 cm). Les écarts-types ont montré une plus grande dispersion des données pour Tendo par rapport à Aby nord et Total. Les médianes ont varié entre 16 et 18 cm, avec des valeurs de masse allant de 130 à 194 g. Les tests Student ont indiqué des valeurs de t = 0, avec des degrés de liberté élevés et des p > 0,01, ce qui traduirait une absence de différence significative entre les moyennes de longueur à la fourche et de masse pour les différentes sous-espèces de tilapias. Les résultats de cette étude ont été similaires à ceux menés sur la croissance et la reproduction du tilapia dans la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire. Les auteurs ont rapporté une longueur à la fourche moyenne de 17,5 cm pour le tilapia, ce qui est similaire à nos résultats pour Aby nord (17 cm) mais légèrement supérieur à ceux de Tendo (16 cm) [14, 15]. Cependant, les auteurs n'ont pas fourni d'informations sur la dispersion des données. En outre, des travaux menés sur la croissance du tilapia dans le barrage de Buyo en Côte d'Ivoire ont rapporté une longueur à la fourche moyenne de 19,4 cm pour le tilapia, ce qui est légèrement supérieur aux résultats de cette étude pour les lagunes Aby nord et Tendo. Cependant, les auteurs ont rapporté une dispersion similaire des données, avec des écarts-types allant de 3,5 à 4,2 cm. Cependant, il est important de noter que les différences dans les conditions environnementales et les pratiques de pêche pourraient affecter la croissance et la dispersion des données pour le tilapia dans différents systèmes aquatiques [1]. En ce qui concerne les tests Student, nos résultats ont montré une absence de différence significative entre les moyennes de longueur à la fourche et de masse pour les différentes sous-espèces de tilapias. Ces résultats ont également rapporté une absence de différence significative dans la longueur et la

masse du tilapia entre différents sites d'échantillonnage dans le barrage de Buyo en Côte d'Ivoire [19]. Quant aux mâchoirons, ils ont présenté des moyennes de longueur à la fourche et de masse plus élevées que les tilapias, avec des valeurs de 22 cm et 189 g respectivement. Les écarts-types ont été relativement similaires entre les différentes sous-espèces de mâchoirons. Les médianes ont varié entre 18 et 24 cm pour la longueur à la fourche, et entre 80 et 232 g pour la masse. Les tests Student ont indiqué des valeurs de t significativement élevées, avec des p -values $< 0,01$, ce qui traduirait des différences significatives entre les moyennes de longueur à la fourche et de masse pour les différentes sous-espèces de mâchoirons. En effet, des auteurs ont rapporté une longueur à la fourche moyenne de 21,3 cm et une masse moyenne de 171,2 g pour les mâchoirons. Cependant, contrairement à notre étude, les auteurs n'ont pas rapporté de différences significatives entre les moyennes de longueur à la fourche et de masse pour les différentes sous-espèces de mâchoirons [20]. Les résultats ont mis en évidence des différences significatives entre les mâchoirons et les tilapias en termes de longueur à la fourche et de masse, tandis que les variations au sein des sous-espèces de tilapias semblent moins marquées. Ces informations peuvent être utiles pour comprendre les caractéristiques morphologiques et biométriques des différentes espèces de poissons étudiées [21].

Tableau 3 : Statistiques descriptives des longueurs à la fourche et des masses en fonction des tilapias (*Tilapia guineensis*) et des mâchoirons (*Chrysichthys maurus*)

Espèces	Statistiques [Longueurs et masses]	Longueur à la fourche (cm)			Masse (g)		
		Aby nord	Tendo	Total	Aby nord	Tendo	Total
Tilapias	Moyenne	17	16	17	172	173	172
	Écart-type	5	3	4	95	134	115
	Médiane	18	16	17	130	194	152
	Min - Max	6 - 27	12,5 - 25	6 - 27	73 - 379	37 - 591	37 - 591
	Test Student	$t = 0,620$, $ddl = 54,81$, $p = 0,59$			$t = -0,04$, $ddl = 65$, $p = 0,97$		
Mâchoirons	Moyenne	24	18	22	243	97	189
	Écart-type	4	4	5	121	74	127
	Médiane	24	18	21	232	80	150
	Min - Max	18 - 32	13 - 27	13 - 32	119 - 580	25 - 310	25 - 580
	Test Student	$t = 4,816$; $ddl = 38$; $p < 0,01$			$t = 4,206$; $ddl = 38$; $p < 0,01$		

3-2. Teneurs moyennes de mercure dans les poissons

Le **Tableau 4** a présenté les statistiques descriptives des concentrations de Hg dans les tilapias pour des lagunes Aby nord et Tendo, ainsi que l'ensemble des échantillons pour Aby. Les concentrations moyennes de mercure varient significativement entre les localités, avec une moyenne de 0,22 $\mu\text{g Hg/g pf}$ pour Aby nord, 0,03 $\mu\text{g Hg/g pf}$ pour Tendo, et une moyenne de 0,13 $\mu\text{g Hg/g pf}$ pour l'ensemble des échantillons pour Aby. Les résultats ont montré que les concentrations moyennes de mercure dans les tilapias varient significativement entre les lagunes Aby nord et Tendo, ainsi que pour l'ensemble des échantillons pour Aby. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés dans d'autres études sur la contamination par le mercure dans les poissons en Afrique de l'Ouest. Par exemple, une étude menée sur la contamination par le mercure dans les poissons de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire a révélé que les concentrations moyennes de mercure dans les tilapias variaient de 0,02 à 0,24 $\mu\text{g Hg/g pf}$, selon les sites d'échantillonnage [22]. De même, une autre étude réalisée sur la contamination par le mercure des poissons du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire a montré que les concentrations moyennes de mercure dans les tilapias variaient de 0,01 à 0,16 $\mu\text{g Hg/g pf}$, selon les sites d'échantillonnage [23]. Les intervalles de confiance à 95 % de la moyenne ont montré une variabilité importante des estimations moyennes entre les localités, avec des intervalles plus larges pour Aby nord (0,10 - 0,34 $\mu\text{g Hg/g pf}$) par rapport à Tendo (0,02 - 0,04 $\mu\text{g Hg/g pf}$) et l'ensemble des échantillons pour Aby

(0,06 - 0,20 µg Hg/g pf). Les moyennes tronquées à 5 % et les médianes ont confirmé les différences observées dans les moyennes, avec des valeurs plus élevées pour Aby nord par rapport à Tendo. Les écarts-types ont indiqué une dispersion plus importante des données pour Aby nord (0,35 µg Hg/g pf) par rapport à Tendo (0,02 µg Hg/g pf) et l'ensemble des échantillons pour Aby (0,27 µg Hg/g pf). Les valeurs extrêmes ont indiqué une grande variabilité dans les concentrations de mercure, avec des 95^{ème} centiles et des valeurs maximales considérablement plus élevées pour Aby nord par rapport à Tendo. Les résultats ont montré que les concentrations de mercure dans les tilapias ont varié significativement entre les localités, avec des niveaux plus élevés à Aby nord par rapport à Tendo. La variabilité des données et des valeurs extrêmes ont souligné l'importance de la surveillance et de la gestion des niveaux de mercure dans ces populations de poissons.

Tableau 4 : Statistiques descriptives des concentrations de Hg des tilapias (*Tilapia guineensis*)

Statistiques [Hg](µg Hg/g ps)	Aby nord	Tendo	Ensemble Aby
Moyenne	0,22	0,03	0,13
IC à 95% de la moyenne	0,10 - 0,34	0,02 - 0,04	0,06 - 0,20
Moyenne tronquée à 5%	0,18	0,02	0,08
Médiane	0,07	0,02	0,04
Écart type	0,35	0,02	0,27
95 ^{ème} centile	1,13	0,08	0,90
Min.- max.	0,01 - 1,44	0,01 - 0,11	0,01 - 1,44
Intervalle	1,43	0,10	1,43

La **Figure 2a** présenté un boxplot des concentrations de mercure (Hg) dans les muscles de *Tilapia guineensis* selon les lagunes Aby nord et Tendo, en fonction des saisons. Les données ont été présentées pour les sites Aby-nord et Tendo, en distinguant les saisons SP (saison des pluies) et SS (saison sèche). Pour le site Aby-nord, les concentrations de Hg semblent avoir été plus élevées en saison des pluies par rapport à la saison sèche. En revanche, pour le site Tendo, les concentrations de Hg semblent avoir été plus élevées en saison sèche par rapport à la saison des pluies. Il est à noter qu'il y a eu un nombre de mesures différent pour les deux sites, avec n = 34 pour Aby-nord et n = 30 pour Tendo, ce qui a pu influencer la représentation des données. Les deux groupes de *tilapia* ne présentent pas de différence entre leur masse et leur longueur à la fourche, ils sont donc comparables. Les concentrations de Hg dans les tilapias de Aby nord sont plus élevées et significativement différentes de celles de la lagune Tendo au test de Student (t = 4,16, ddl = 62, p = < 0,001). Les résultats de cette étude montrent que les concentrations de mercure dans les tilapias varient en fonction de la localisation géographique et de la saison. Ces résultats sont similaires à ceux d'autres études menées dans différentes régions du monde. Des auteurs ont également constaté des concentrations de Hg plus élevées dans les poissons pendant la saison des pluies. Selon les auteurs, cela pourrait être dû à l'augmentation du débit des rivières et à la remobilisation des sédiments contaminés pendant cette période [24, 25]. De même, des travaux ont révélé que les concentrations de Hg dans les poissons étaient plus élevées pendant la saison des pluies en raison de l'augmentation de la lixiviation du sol et de la remobilisation des sédiments [26]. Cependant, contrairement aux résultats de cette étude, certaines études ont montré des concentrations de Hg plus élevées dans les poissons pendant la saison sèche. Par exemple, une étude menée au Ghana a révélé que les concentrations de Hg dans les poissons étaient plus élevées pendant la saison sèche en raison de la diminution du débit des rivières et de l'augmentation de l'évaporation, ce qui entraîne une concentration accrue de Hg dans l'eau [27]. De même, une étude menée en Indonésie a montré que les concentrations de Hg dans les poissons étaient plus élevées pendant la saison sèche en raison de la diminution du volume d'eau et de la concentration accrue de Hg dans l'environnement [28, 29]. Il est intéressant de noter que les résultats de cette étude ont montré que les concentrations de Hg

dans les tilapias de Aby nord étaient significativement plus élevées que celles de la lagune Tendo. Cela pourrait être dû à des différences dans les sources de contamination, les pratiques de pêche et les caractéristiques environnementales entre les deux sites. Des études antérieures ont montré que les activités anthropiques telles que l'exploitation minière, l'agriculture et l'industrialisation peuvent augmenter les niveaux de Hg dans l'environnement, ce qui peut entraîner une accumulation accrue de Hg dans les organismes aquatiques [30].

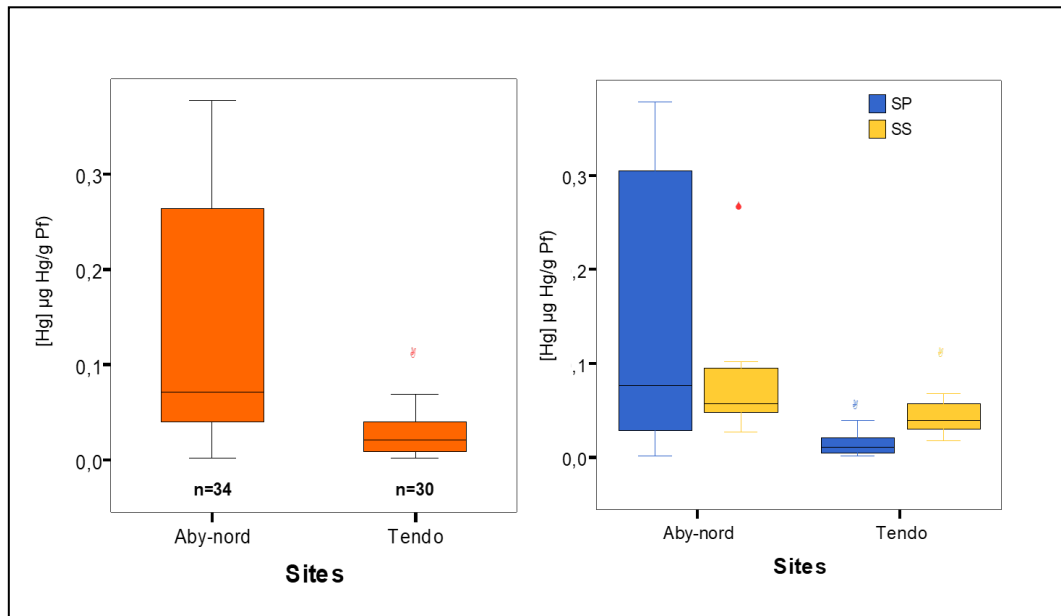


Figure 2 : Boxplot des concentrations de Hg dans les muscles de *T. guineensis* en fonction des sites et des saisons. (SP = saison des pluies ; SS = saison sèche)

3-3. Variations saisonnières du Hg dans les tilapias

Le **Tableau 5** montre les concentrations de Hg dans les tilapias analysés en fonction des lagunes (Aby nord et Tendo) et des saisons (saison des pluies et saison sèche). Les concentrations moyennes de mercure varient selon la lagune et la saison. Globalement, les concentrations sont plus élevées pendant la saison des pluies. Pour Aby nord, la moyenne est de 0,27 µg/g pf en saison des pluies contre 0,08 µg/g pf en saison sèche. Pour Tendo, les moyennes sont respectivement de 0,02 µg/g pf et 0,05 µg/g pf. L'ensemble des données confirme cette tendance avec des moyennes de 0,16 µg/g pf en saison des pluies et 0,06 µg/g pf en saison sèche. La médiane, représentant la valeur centrale des données, montre également des tendances similaires aux moyennes. Pour Aby nord, la médiane est plus élevée en saison des pluies (0,08 µg/g pf) comparée à la saison sèche (0,06 µg/g pf). Pour Tendo, les médianes sont similaires entre les deux saisons. Les tests de Student indiquent une différence significative des concentrations moyennes de mercure entre les saisons des pluies et les saisons sèches, surtout dans la lagune Tendo. Pour Aby nord, aucune différence significative n'est observée. Les concentrations de mercure chez les tilapias varient en fonction des lagunes et des saisons. Globalement, les niveaux sont plus élevés pendant la saison des pluies, avec une variabilité plus importante des données. La différence entre les saisons est particulièrement notable dans la lagune Tendo, où les concentrations sont significativement plus élevées pendant la saison des pluies. Par exemple, une étude menée au Brésil a montré que les concentrations de mercure dans les poissons étaient significativement plus élevées pendant la saison des pluies que pendant la saison sèche. Cette tendance a été attribuée à l'augmentation du ruissellement et de l'érosion des sols pendant la saison des pluies, ce qui

entraîne une augmentation de la charge en mercure dans les eaux de surface [31]. D'autres études ont également montré que les concentrations de mercure dans les poissons peuvent varier considérablement entre les saisons et les sites d'échantillonnage. Par exemple, une étude menée en Indonésie a révélé que les concentrations de mercure dans les poissons variaient significativement entre les saisons et les sites d'échantillonnage, avec des concentrations plus élevées observées pendant la saison des pluies [32].

Tableau 5 : Moyennes, écarts types et médianes, des concentrations de mercure des tilapias en fonction des lagunes et des saisons

Statistiques [Hg] (µg Hg/g ps)	Lagune Aby		Lagune Tendo		Total	
	Saison des pluies	Saisons sèches	Saison des pluies	Saison sèches	Saison des pluies	Saisons sèches
Moyenne	0,27	0,08	0,02	0,05	0,16	0,06
Écart type	0,39	0,07	0,01	0,02	0,03	0,05
Médiane	0,08		0,06		0,03	0,05
Test de Student (Sp/Ss)	t = -0,36, ddl = 31,98 p = 0,71		t = -5,505, ddl = 27,752 p < 0,001		t = -1,403, ddl = 62, p = 0,31	

3-4. Variations spatiales du mercure dans les muscles de mâchoirons

La distribution des concentrations de Hg dans les muscles des mâchoirons est donnée par le **Tableau 6** respectivement pour les lagunes Aby nord et Tendo. Les concentrations moyennes de mercure sont de 0,04 µg Hg/g pf pour Aby nord, 0,03 µg Hg/g pf pour Tendo, et 0,04 µg Hg/g pf pour l'ensemble des échantillons. Les intervalles de confiance à 95 % indiquent que les moyennes sont estimées avec une précision raisonnable, avec des valeurs comprises entre 0,03 et 0,05 µg Hg/g pf pour Aby nord, entre 0,02 et 0,05 µg Hg/g pf pour Tendo, et entre 0,03 et 0,04 µg Hg/g pf pour l'ensemble des échantillons. Les valeurs de moyenne tronquée à 5 % et de médiane sont toutes deux de 0,03 µg Hg/g pf pour Aby nord, Tendo et l'ensemble des échantillons, suggérant une cohérence entre les moyennes et les valeurs centrales des données de cette étude. Les écarts types sont identiques pour toutes les localités, à 0,03 µg Hg/g pf, ce qui indique une dispersion similaire des données autour des moyennes. Ces mesures fournissent des informations sur la gamme des valeurs observées. Le 90^{ème} centile est de 0,07 µg Hg/g pf pour Aby nord, 0,08 µg Hg/g pf pour Tendo, et 0,06 µg Hg/g pf pour l'ensemble des échantillons. Les valeurs minimales et maximales sont toutes comprises entre 0,01 et 0,13 µg Hg/g pf pour toutes les localités. L'intervalle global est de 0,12 pour chaque localité, ce qui suggère une cohérence dans la dispersion des données. Les résultats présentés dans cette étude montrent que les concentrations moyennes de mercure dans les muscles de machoiron (*Chrysichthys maurus*) sont relativement faibles et similaires entre les différents sites d'échantillonnage. Ces résultats sont cohérents avec d'autres études menées dans la région. Par exemple, une étude sur la contamination par le mercure dans les poissons de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire a également rapporté des concentrations moyennes de mercure faibles dans les muscles de poisson, avec des valeurs allant de 0,02 à 0,06 µg Hg/g pf [22]. Une autre étude sur la contamination par le mercure dans les poissons du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire a également rapporté des concentrations moyennes de mercure faibles dans les muscles de poisson, avec des valeurs allant de 0,01 à 0,05 µg Hg/g pf [33]. Cependant, il est important de noter que même de faibles niveaux de mercure dans les poissons peuvent présenter des risques pour la santé humaine, en particulier pour les populations vulnérables telles que les femmes enceintes et les enfants. Par conséquent, il est important de continuer à surveiller les niveaux de mercure dans les poissons et de fournir des conseils appropriés aux consommateurs [34, 35]. En ce qui concerne les intervalles de confiance à 95 %, les résultats de cette étude suggèrent que les moyennes sont estimées avec une précision raisonnable. Cela est cohérent avec d'autres études qui ont utilisé des intervalles de confiance pour estimer les concentrations moyennes de mercure dans les poissons. Par exemple, une étude réalisée sur la contamination par le mercure dans les poissons de la lagune de Nador au Maroc a utilisé des intervalles de

confiance à 95 % pour estimer les concentrations moyennes de mercure dans les muscles de poisson, avec des valeurs allant de 0,03 à 0,12 $\mu\text{g Hg/g pf}$ [36]. Enfin, il convient de noter que les valeurs de moyenne tronquée à 5 % et de médiane étaient toutes deux de 0,03 $\mu\text{g Hg/g pf}$ pour toutes les localités, ce qui suggère une cohérence entre les moyennes et les valeurs centrales des données. Cela est également cohérent avec d'autres études qui ont rapporté des valeurs similaires de moyenne et de médiane pour les concentrations de mercure dans les poissons. Des travaux sur la contamination par le mercure dans les poissons de la Méditerranée ont rapporté des valeurs de moyenne et de médiane similaires pour les concentrations de mercure dans les muscles de poisson, avec des valeurs allant de 0,02 à 0,18 $\mu\text{g Hg/g pf}$ [37].

Tableau 6 : Statistiques descriptives des concentrations de Hg dans les muscles des mâchoirons

Statistiques [Hg]($\mu\text{g Hg/g ps}$)	Lagune Aby nord	Lagune Tendo	Total
Moyenne	0,04	0,03	0,04
IC à 95% de la moyenne	0,03 - 0,05	0,02 - 0,05	0,03 - 0,04
Moyenne tronquée à 5%	0,03	0,03	0,03
Médiane	0,03	0,03	0,03
Écart type	0,03	0,03	0,03
90 ^{ème} centile	0,07	0,08	0,06
Min.- max.	0,01 - 0,13	0,01 - 0,13	0,01 - 0,13
Intervalle	0,12	0,12	0,12

3-5. Variations saisonnières du mercure dans les mâchoirons

La **Figure 3** présente les concentrations de mercure dans les mâchoires, en fonction des sites (Aby-nord et Tendo) et des saisons (saison des pluies et saison sèche). En considérant la différence entre les saisons des pluies et les saisons sèches pour le site Aby-nord, il est notable que les concentrations de mercure semblent être plus élevées pendant la saison des pluies. Cette observation suggère que les conditions météorologiques et environnementales propres à la saison des pluies pourraient favoriser une augmentation des concentrations de mercure dans les mâchoirons. Quant au site Tendo, il semble y avoir une tendance à des concentrations de mercure plus élevées pendant la saison des pluies par rapport à la saison sèche. Cette variation pourrait indiquer des fluctuations saisonnières dans l'exposition au mercure pour les mâchoirons à ce site spécifique. Les résultats obtenus dans cette étude suggèrent que les concentrations de mercure dans les mâchoirons peuvent varier en fonction des saisons, avec des concentrations plus élevées pendant la saison des pluies. Cette tendance a été observée dans les deux sites étudiés, Aby-nord et Tendo. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés dans d'autres études. Par exemple, une étude menée au Brésil a montré que les concentrations de mercure dans les muscles de poissons étaient plus élevées pendant la saison des pluies que pendant la saison sèche [38]. De même, une étude menée en Chine a révélé que les concentrations de mercure dans les mâchoires de poissons étaient significativement plus élevées pendant la saison des pluies [26 - 39]. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette tendance. Tout d'abord, les précipitations peuvent entraîner une augmentation du ruissellement des sols et des sédiments, ce qui peut entraîner une augmentation du mercure dans les eaux de surface [40]. En outre, les précipitations peuvent également augmenter l'activité biologique dans les eaux, ce qui peut entraîner une augmentation de la biodisponibilité du mercure [41]. Cependant, il convient de noter que d'autres facteurs peuvent également influencer les concentrations de mercure dans les mâchoires de poissons, tels que l'âge, la taille et le régime alimentaire des poissons [42, 43]. Par conséquent, il est important de prendre en compte ces facteurs dans les études futures pour mieux comprendre les variations saisonnières des concentrations de mercure dans les mâchoires de poissons.

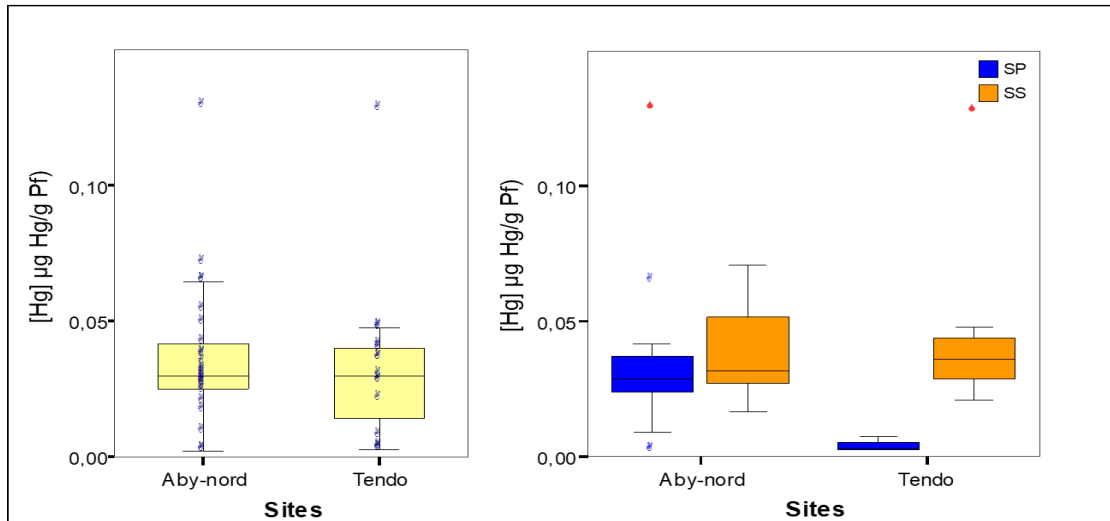


Figure 3 : Concentrations de Hg des mâchoirons en fonction des sites et des saisons SP = Saison des Pluies ; SS = Saison Sèche

4. Conclusion

Cette étude a évalué la bioaccumulation du mercure dans deux espèces de poissons (tilapia et mâchoiron) du système lagunaire Aby en Côte d'Ivoire. Les résultats ont montré que les concentrations de mercure dans les poissons varient selon la localisation géographique, la saison et le niveau trophique des espèces. Les concentrations de mercure dans les tilapias étaient plus élevées à Aby nord qu'à Tendo, et plus élevées pendant la saison des pluies que pendant la saison sèche. Les concentrations de mercure dans les mâchoirons étaient relativement similaires entre les deux sites et les deux saisons, mais plus élevées que celles des tilapias. Cependant, les concentrations de mercure dans les poissons étaient inférieures aux normes internationales de sécurité alimentaire. Il est recommandé de surveiller régulièrement les niveaux de mercure dans ces organismes et de sensibiliser les populations locales aux risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement.

Références

- [1] - A. M. KOUASSI, N. KABA and B. S. MÉTONGO, Land-based sources of pollution and environmental quality of the Ebrié lagoon waters. *Mar. Pollut. Bull.*, 30 (1995) 295 - 300
- [2] - A. A ADINGRA and R. ARFI, Organic and bacterial pollution in the Ebrié lagoon, côte d'Ivoire. *Mar. Pollut. Bull.*, 36 (1998) 68995
- [3] - I. BRENON, S. MONDE, N. POUVREAU and J. C. MAURIN, Modeling hydrodynamics in the Ebrié Lagoon (Côte d'Ivoire). *J. Afr. Earth Sci.*, 39 (2004) 535 - 40
- [4] - J. M. ECOUTIN, E. RICHARD, M. SIMIER and J. J. ALBARET, Spatial versus temporal patterns in fish assemblages of a tropical estuarine coastal lake : The Ebrié Lagoon (Ivory Coast). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 64 (2005) 623 - 35
- [5] - J.-J. ALBARET and R. LAË, Impact of fishing on fish assemblages in tropical lagoons : the example of the Ebrié lagoon, West Africa. *Aquat. Living Resour.*, 16 (2003) 1 - 9

- [6] - R. P. MASON, M. COULIBALY, G. HANSEN, H. INMAN, P. K. MYER and K. M. YAO, An examination of mercury levels in the coastal environment and fish of Cote d'Ivoire. *Chemosphere*, 300 (2022) 134609
- [7] - S. NOH, C. K. KIM, J-H. LEE, Y. KIM, K. CHOI and S. HAN, Physicochemical factors affecting the spatial variance of monomethylmercury in artificial reservoirs. *Environ. Pollut.*, 208 (2016) 345 - 53
- [8] - P. P. COETZEE, Determination and speciation of heavy metals in sediments of the Hartbeespoort Dam by sequential chemical extraction. *Water Sa*, 19 (1993) 291 - 300
- [9] - P. H. BALCOM, A. T. SCHATUP, R. P. MASON and C. Y. CHEN, Sources of water column methylmercury across multiple estuaries in the Northeast U.S. *Mar. Chem.*, 177 (2015) 21 - 30
- [10] - Q. WANG, D. KIM, D. D. DIONYSIOU, G. A. SORIAL and D. TIMBERLAKE, Sources and remediation for mercury contamination in aquatic systems—a literature review. *Environ. Pollut.*, 131 (2004) 323 - 36
- [11] - K. C. KINIMO, K. M. YAO, S. MARCOTTE and A. TROKOUREY, Distribution trends and ecological risks of arsenic and trace metals in wetland sediments around gold mining activities in central-southern and southeastern Côte d'Ivoire. *J. Geochem. Explor.*, 190 (2018) 265 - 80
- [12] - M. AL OSMAN, F. YANG and I. Y. MASSEY, Exposure routes and health effects of heavy metals on children. *BioMetals*, 32 (2019) 563 - 73
- [13] - Y. J. M. KONÉ, G. ABRIL, B. DELILLE and A. V. BORGES, Seasonal variability of methane in the rivers and lagoons of Ivory Coast (West Africa). *Biogeochemistry*, 100 (2010) 21 - 37
- [14] - B. K. KOFFI, S. BERTÉ and T. KONÉ, Length-weight relationships of 30 fish species in Aby Lagoon, Southeastern Côte d'Ivoire. *Curr. Res. J. Biol. Sci.*, 6 (2014) 173 - 8
- [15] - S. J. CLAON, S. K. KOUASSI, S. A. M'BASSIDJE, L. K. SÉRI, L. K. KOUADIO and J. A. DJAMAN, Exposure of Mercury from Gold Mining Area: A Case Study in Tendo and Aby Lagoon in Côte d'Ivoire. *J. Environ. Prot.*, 13 (2022) 613 - 27
- [16] - ANON, Mercury Transport and Fate Through a Watershed, *EPA - Research*, 4 (1) (2000) 1 - 8
- [17] - A. A. OUATTARA, K. M. YAO, K. C. KINIMO and A. TROKOUREY, Assessment and bioaccumulation of arsenic and trace metals in two commercial fish species collected from three rivers of Côte d'Ivoire and health risks. *Microchem. J.*, 154 (2020) 104604
- [18] - S. COULIBALY, B. C. ASTE and B. G. GOORE, Bioaccumulation des métaux lourds dans les tissus de deux espèces de Cichlide (*Hemichromis fasciatus* et *Tilapia zillii* / *Tilapia guineensis*) pêchés dans la partie ouest de la lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.*, 148 (152) (2020) 18 - 29
- [19] - K. K. BENOIT, K. K. SERAPHIN, K. K. FELIX, B. K. CHARLES and K. K. LAZARE, Heavy Metals Contamination of an Aquatic Environment and Health Risks Assessment in Two Fish Species : Case of the Guessabo Lake, Western Cote d'Ivoire. *Orient. J. Chem.*, 35 (2019) 40 - 60
- [20] - H. SHEP, M. K. KONAN, L. DOUMBIA, M. OUATTARA, C. K. BOUSSOU, A. OUATTARA and G. GOURÈNE, Feeding Relationships Among *Tilapia zillii* (Gervais, 1848), *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862) and Their Hybrid in Ayamé Man-Made Lake, Côte d'Ivoire. *Pak. J Zool*, 45 (2013) 140514
- [21] - I. J. TAMELE and P. VÁZQUEZ LOUREIRO, Lead, mercury and cadmium in fish and shellfish from the Indian Ocean and Red Sea (African Countries) : Public health challenges. *J. Mar. Sci. Eng.*, 8 (2020) 344
- [22] - A. M. O. TOGBE, K. V. KOUAME, K. M. YAO, A. A. OUATTARA, A. S. TIDOU and B. C. ATSE, Évaluation de la contamination des eaux de la lagune Ebrié (Zones IV et V), Côte d'Ivoire en arsenic, plomb et cadmium : variations spatio-temporelles et risques sanitaires. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (2019) 116279
- [23] - V. YAPI-GNAORE, Fish genetics research in Côte d'Ivoire, *ICLARM Conf. Proc.* 64, 25 - 28
- [24] - V. A. SOUZA and J. C. WASSERMAN, Distribution of heavy metals in sediments of a tropical reservoir in Brazil : Sources and fate. *J. South Am. Earth Sci.*, 63 (2015) 20816
- [25] - T. PASSOS, C. J. SANDERS, R. BARCELLOS and D. PENNY, Assessment of the temporal retention of mercury and nutrient records within the mangrove sediments of a highly impacted estuary. *Environ. Res.*, 206 (2022) 112569

- [26] - S. RAJESHKUMAR, Y. LIU and X. LI, Seasonal Variation of Mercury (Hg) in Fish Species, Water and Sediment from the Meiliang Bay of Taihu Lake, China. *Austin J Env. Toxicol*, 6 (2020) 1032
- [27] - M. MAANAN, M. EL BARJY, N. HASSOU, H. ZIDANE, B. ZOURARAH and M. MAANAN, Origin and potential ecological risk assessment of trace elements in the watershed topsoil and coastal sediment of the Oualidia lagoon, Morocco. *Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J.*, 24 (2018) 60214
- [28] - T. H. SIREGAR, N. PRIYANTO, A. K. PUTRI, N. RACHMAWATI, R. TRIWIBOWO, L. DSIKOWITZKY and J. SCHWARZBAUER, Spatial distribution and seasonal variation of the trace hazardous element contamination in Jakarta Bay, Indonesia. *Mar. Pollut. Bull.*, 110 (2016) 63446
- [29] - H. I. JANUAR and I. HIDAYAH, Seasonal variation of heavy metal accumulation in environment and fishes from the Cirebon coast, Indonesia. *Aquat. Ecosyst. Health Manag.*, 24 (2021) 1219
- [30] - L. ZHANG and M. H. WONG, Environmental mercury contamination in China: sources and impacts. *Environ. Int.*, 33 (2007) 10821
- [31] - T. T. L. SANTOS, R. V. MARINS and L. P. ALVES, Review on metal contamination in equatorial estuaries in the Brazilian Northeast, (2023) 42 p.
- [32] - D. ELFIDASARI, L. N. ISMI and I. SUGORO, Heavy metal concentration in water, sediment, and *Pterygoplichthys pardalis* in the Ciliung River, *AAFL Bioflux*, 3 (3) (2000) 1 - 8
- [33] - L. E. OURA, K. E. KOUASSI, A. T. S. KONAN, H. KONÉ, A. R. KOUAKOU, D. BOA and K. B. YAO, Spatial distribution of heavy metals in sediments of the Ivory Coastal zone (Toukouzou Hozalem-Assinie) in correlation with anthropic activities. *Chem. Ecol.*, 38 (2022) 72 - 94
- [34] - S. A. ARAM, P. OSEI LARTEY, S. K. AMOAH and A. APPIAH, Gold eco-toxicology : Assessment of the knowledge gap on the environmental and health effects of mercury between artisanal small scale and medium scale gold miners in Ghana. *Resour. Policy*, 72 (2021) 102108
- [35] - B. M. SHARMA, O. SÁŇKA, J. KALINA and M. SCHERINGER, An overview of worldwide and regional time trends in total mercury levels in human blood and breast milk from 1966 to 2015 and their associations with health effects. *Environ. Int.*, 125 (2019) 30019
- [36] - U. KAMMANN, J. D. POHLMANN, F. WARIAGHLI, H. BOURASSI, K. REGELSBERGER, A. YAHYAUI and R. HANEL, Heavy metal contamination in European conger (Conger conger, Linnaeus 1758) along the coastline of Morocco. *Environ. Sci. Eur.*, 34 (2022) 114
- [37] - S. CINNIRELLA, D. E. BRUNO, N. PIRRONE, M. HORVAT, I. ŽIVKOVIĆ, D. C. EVERS, S. JOHNSON and E. M. SUNDERLAND, Mercury concentrations in biota in the Mediterranean Sea, a compilation of 40 years of surveys. *Sci. Data*, 6 (2019) 205
- [38] - S. F. DA SILVA, D.C. OLIVEIRA, J. P. G. PEREIRA, S.P. CASTRO, B. N. S. COSTA and M. DE OLIVEIRA LIMA, Seasonal variation of mercury in commercial fishes of the Amazon Triple Frontier, Western Amazon Basin. *Ecol. Indic.*, 106 (2019) 105549
- [39] - N. R. RAZAVI, M. QU, B. JIN, W. REN, Y. WANG and L. M. CAMPBELL, Mercury biomagnification in subtropical reservoir fishes of eastern China. *Ecotoxicology*, 23 (2014) 13346
- [40] - L. D. HYLANDER, J. GRÖHN, M. TROPP, A. VIKSTRÖM, H. WOLPHER, E. SILVA, C. E. DE, M. MEILI, M. and L. J. OLIVEIRA, Fish mercury increase in Lago Manso, a new hydroelectric reservoir in tropical Brazil. *J. Environ. Manage.*, 81 (2006) 15566
- [41] - J. ZHANG, X FENG, H. YAN, Y. GUO, H. YAO, B. MENG and K. LIU, Seasonal distributions of mercury species and their relationship to some physicochemical factors in Puding Reservoir, Guizhou, China. *Sci. Total Environ.*, 408 (2009) 1229
- [42] - T. A. M. TRAN, M. LEERMAKERS, T. L. HOANG and M. ELSKENS, Metals and arsenic in sediment and fish from Cau Hai lagoon in Vietnam : ecological and human health risks. *Chemosphere*, 210 (2018) 17582
- [43] - C. T. T. TRANG, T. THANH, T. D. THANH, V. D. VINH and T. A. TU, Assessment of the environmental carrying capacity of pollutants in Tam Giang-Cau Hai Lagoon (Viet Nam) and solutions for the environment protection of the lagoon. *Sci. Total Environ.*, 762 (2021) 143130