

Effet des paramètres physiques sur la teneur du mercure total (HgT) dans la colonne d'eau d'un système aquatique tropical : Bassin central de lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)

Dangui Diabagate^{1,*}, Sébastien Koffi Ouffoue^{1,2}, Marcelin Yao Koffi³, Vianney Hayo Mel⁴, Lassiné Ouattara¹

¹Laboratoire de Constitution et de Réaction de la Matière, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.

²Centre Ivoirien Anti-pollution (Ciapol), Abidjan, Côte d'Ivoire

³Centre de Recherche Océanologique (CRO), Abidjan, Côte d'Ivoire

⁴Laboratoire de thermodynamique et de Physico-chimie du Milieu, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Reçu: 28 Novembre 2021 / Reçu sous sa forme révisée: 20 Décembre 2021 / Accepté: 30 Décembre 2021

Résumé:

Cette étude a été réalisée dans le but de connaître la variation de la concentration du mercure total (HgT) et les valeurs des paramètres physiques dans une colonne d'eau. La zone d'expérimentation est la lagune Ebrié. Pour la réalisation des travaux six (6) sites d'échantillonnage ont été sélectionnés. Les paramètres physiques ont été mesurés à l'aide de sondes électrochimiques. La concentration du mercure a été déterminée par la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique direct de mercure (DMA). Les gammes de concentrations de HgT sont de 0,02 ng/L (sites de Bingerville et de Mbadon) et 0,25±0,02 ng/L à 7,10±0,05 ng/L (sites de Biétry et d'Adiopodoumé). Les teneurs moyennes : 0,75±0,03 ng/L, 1,90±0,03 ng/L, 2,00±0,05 ng/L et 3,00±0,01 ng/L ont été trouvées respectivement sur les sites de Koumassi, Biétri, Adiopodoumé 1 et Adiopodoumé 2. Les résultats de l'ACP ont montré que les paramètres physiques n'ont pas d'influence directe sur la concentration du HgT dans la colonne d'eau. Par contre, une bonne corrélation s'est dégagée entre les paramètres physiques.

Mots-clés: Lagune Ebrié ; Mercure total ; Concentrations ; Paramètres physiques ; Analyseur direct de mercure.

Effect of physical parameters on the content of total mercury (HgT) in the water column of a tropical aquatic system: Central basin of the Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire)

Abstract:

This study was carried out in order to know the variation of the concentration of total mercury (HgT) and the values of the physical parameters in a water column. The experimental area is the Ebrié lagoon. For the execution of the work, six (6) sampling sites were selected. The physical parameters were measured using electrochemical probes. Mercury concentration was determined by Direct Mercury Atomic Absorption Spectrophotometry (DMA). The HgT concentration ranges from 0.02 ng/L (Bingerville and Mbadon sites) and 0.25±0.02 ng/L to 7.10±0.05 ng/L (Biétry and Adipodoumé sites). The average levels: 0.75±0.03 ng/L, 1.90±0.03 ng/L, 2.00±0.05 ng/L and 3.00±0.01 ng/L were found on the sites of Koumassi, Biétri, Adiopodoumé 1 and Adiopodoumé 2, respectively. The PCA results showed that the physical parameters have no direct influence on the concentration of HgT in the water column. On the other hand, a good correlation emerged between the physical parameters.

Keywords: Ebrié Lagoon; Total mercury; Concentrations; Physical parameters; Direct mercury analyzer.

*Auteur correspondant:

Adresse e-mail: diabagatedangu@gmail.com (D. Diabagate)

1. Introduction

Le mercure est reconnu comme un polluant prioritaire par ONU-Environnement du fait de ses propriétés de spéciation, de bioaccumulation, de persistance dans l'environnement ainsi que de sa toxicité pour l'Homme et les animaux [1]. L'utilisation du mercure est interdite ou strictement réglementée depuis la Convention de Minamata en 1972 [2]. Du fait de ses propriétés physiques, cet élément chimique est utilisé pour capter l'or dans les activités d'orpaillage. On estime à 50 g de mercure pour récupérer environ 30 à 40 grammes d'or. La production mondiale du mercure alimente davantage les systèmes ouverts de l'orpaillage à travers de nombreux pays dans le monde. En Côte d'Ivoire, on dénombre en moyenne par semestre l'importation d'environ 10509 t de produits chimiques pour les industries minières selon les données du CIAPOL [3]. Cependant, il n'existe pas de données officielles sur la quantité de mercure importée bien que ce produit soit abondamment utilisé dans l'activité d'orpaillage traditionnel. Les résidus de mercure contaminent directement les sols et le système aquatique.

Dans les pays de l'Afrique de l'Ouest, moins de 10% des effluents liquides industriels sont traités et se déversent dans le milieu récepteur. A ceux-ci s'ajoutent les effluents de l'orpaillage qui entraineraient les résidus de mercures dans les lagunes, les rivières, les lacs et les mers. Ces dernières années, les activités de l'orpaillage se

sont intensifiées et polluent l'eau. A l'évidence, de nombreux travaux ont été réalisés sur les éléments de traces métalliques dans le monde et en Côte d'Ivoire. Dans les eaux de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), les travaux de Marchand et Martin en 1985 [4] ont rapporté la présence de mercure dans les sédiments de surface avec des teneurs comprises entre 0,3 mg/kg et 1,39 mg/kg. D'autres travaux réalisés par Touré et al. [5] et le PNUD [6] ont confirmé la contamination par le mercure total dans les sédiments de surface de la lagune Ebrié avec des teneurs respectives de 0,5 mg/kg et de 0,0487 mg/kg – 7,34 mg/kg. Les travaux plus récents menés par Gueu et al. [7] ont révélé des teneurs significatives (100 µg/kg – 728,5 µg/kg) de mercure dans des carottes de sédiments sur certaines baies de la Lagune Ebrié. En revanche, il ressort très peu de données sur le mercure dans la colonne d'eau et l'influence des paramètres physiques de l'eau sur la teneur des différentes formes de mercure.

Au niveau mondial, dans le contexte du changement climatique, des travaux de recherche sont menés à ce jour pour corriger les lacunes et avoir une bonne connaissance des effets combinés des paramètres physiques sur les polluants chimiques notamment le mercure [8].

Dans les conditions des systèmes lagunaires des zones tropicales, peu de données sont disponibles sur l'impact combiné de l'acidité, la salinité, la température sur la teneur du mercure dans la colonne d'eau. Ce travail combine à la fois la connaissance du mercure et des paramètres physiques : pH, température, solides

totaux dissous (TDS), oxygène dissous (Ox), potentiel rédox (E°), résistivité (R) et salinité (Sal) qui peuvent modifier les équilibres dans une colonne d'eau à partir de la surface à la profondeur. La présente étude vise à faire connaître à la fois la concentration du mercure total (HgT) et les paramètres physiques de la lagune Ebrié.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

La lagune Ebrié est le plus grand système lagunaire de l'Afrique occidentale. D'importantes publications sont disponibles sur l'hydrologie, la géomorphologie, la courantologie. Les premières études réalisées en 1974, ont porté essentiellement sur la morphologie [9,10] et l'hydro-climat [11]. Le système lagunaire Ebrié a une superficie de 566 km^2 et s'étire sur 140 km le long du Golfe de Guinée entre $3^\circ 40'$ et $4^\circ 50'$ à la latitude de $5^\circ 20' \text{ N}$ [12]. C'est un écosystème semi-fermé, situé sur la façade atlantique de la Côte d'Ivoire.

Durant la période de juillet à janvier, les matières terrigènes et les végétaux aquatiques envahissants (VAE) des fleuves sous la poussée des eaux en crue se déversent dans le bassin central de la lagune Ebrié. L'aspect rougeâtre de l'eau et la présence des végétaux aquatiques indiquent l'influence des eaux continentales, lieux où s'effectuent d'intenses activités de l'orpillage.

Dans le cadre de ce travail, six (06) sites (Figure 1) de la partie centrale du bassin de la lagune Ebrié ont été sélectionnés. Ces sites sont : Bingerville ($5^\circ 19' 30'' \text{ N } 3^\circ 53' 39'' \text{ W}$), M'badon ($5^\circ 19' 30'' \text{ N } 3^\circ 53' 39'' \text{ W}$) moins impactés par les rejets des industries. En revanche, ces sites subissent le poids des déchets ménagers et des eaux de ruissellement en provenance des plantations agricoles et des fermes. Les sites de Biétri ($5^\circ 16' 16'' \text{ N } 3^\circ 57' 55'' \text{ W}$), de Koumassi ($5^\circ 18' 59'' \text{ N } 3^\circ 56' 26'' \text{ W}$) et les sites d'Adiopodoumé 1 ($5^\circ 20' 04'' \text{ N } 3^\circ 53' 39'' \text{ W}$) et Adiopodoumé 2 ($5^\circ 20' 02'' \text{ N } 4^\circ 07' 25'' \text{ W}$) plus impactés par les rejets domestiques et des usines.

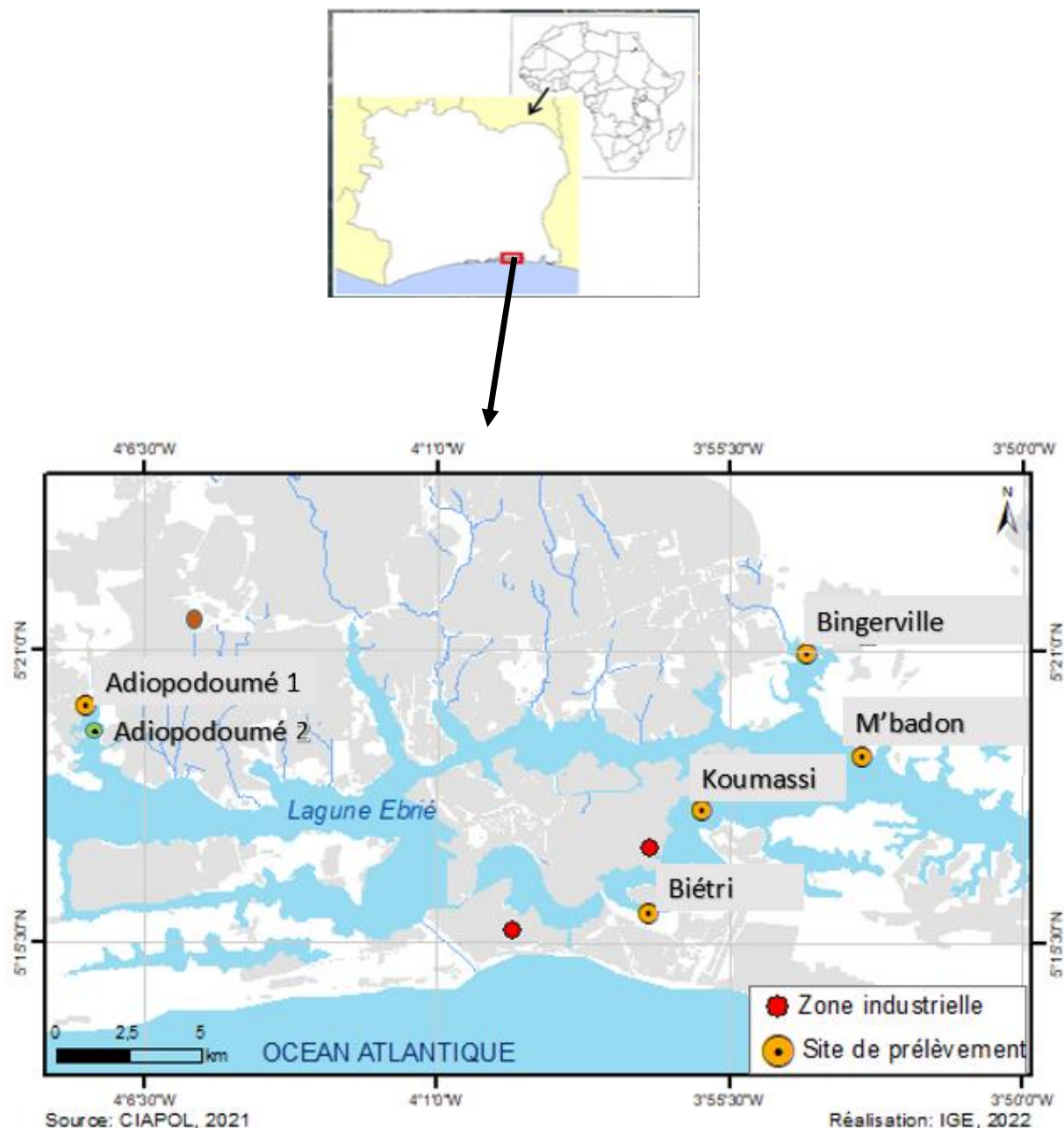


Fig. 1. Localisation des sites d'étude.

2.2. Produit chimique et matériaux de référence

- L'eau utilisée pour la préparation de toutes les solutions est une eau ultra-pure
- Les solutions étalon de travail ont été préparées à partir d'une solution de mercure (1000 mg/kg) et de l'acide nitrique (40%, Supra pur Merck) ;

l'acide chlorhydrique (HCl) (Suprapur, Merck) a été utilisé pour stabiliser les solutions.

- Les solutions tampon Merck à différents pH (4, 7, 10) et le matériau de référence certifié AIEA (61 ng/g) ont été utilisés pour vérifier les calibrations du pH-mètre et du DMA.

2.3. Analyse du mercure total

L'analyseur direct de mercure (DMA) est un spectromètre d'absorption atomique électrothermique munis d'une source de longueur d'onde ($\lambda = 253,7$ nm).

- La calibration est réalisée l'aide de solution fille d'étalonnage préparée à différentes concentrations. La courbe d'étalonnage obtenue est une droite d'équation $A = F(C)$ avec un coefficient de détermination de $R^2 = 0,98$.

- La limite de détection de la méthode est calculée à l'aide d'échantillons d'eau non contaminée ; elle est de 0,02 ng/L. La reproductibilité de la méthode a été estimée à 1,25%.

2.4. Mesure des paramètres physiques

Les appareils utilisés sont des sondes électrochimiques : pH-mètre, conductimètre. Les appareils sont calibrés à l'aide de solution d'étalonnage Merck.

2.5. Echantillonnage de l'eau et mesure des paramètres

L'échantillonnage s'est effectué dans la période de juillet 2019. Chaque site a été localisé avec les coordonnées GPS. Trois prélèvements ont été effectués sur un rayon de 10 m. Sur chaque point, la masse d'eau est prélevée à la surface jusqu'en profondeur à l'aide d'une bouteille de prélèvement à valve. A partir de la surface (0,5 m), puis à intervalle de 1 m jusqu'au fond (interface eau sédiment) (Tableau A1, Annexe).

L'eau est ensuite recueillie dans un tube en polypropylène (PP) gradué à 10 mL avec une fermeture de téflon et préalablement décontaminé, contenant 1,0 mL d'acide nitrique. Les flacons sont conservés dans une glacière contenant de la glace, transportée au laboratoire pour l'analyse au DMA.

Une partie des échantillons est stockée dans un réfrigérateur à environ 0 °C avant analyse. Le délai de conservation ne dépasse pas six (6) mois.

Les paramètres physicochimiques ont été mesurés *in situ* avec une sonde électrochimique préalablement calibré directement sur chaque échantillon prélevé.

2.6. Traitement des résultats

Un traitement statistique a été appliqué à l'aide des logiciels Excel et Sigma plot, sur les données brutes afin de permettre une meilleure exploitation. La moyenne (moy), le minimum (min), le maximum (max), les écart-types ont été obtenus.

L'analyse en composantes principales (ACP) a été également utilisée (Statistica) pour fournir une description mathématique d'ensemble, plus riche en informations et mettre en évidence les corrélations entre les variables étudiées sur le système ouvert étudié : système lagunaire.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats des concentrations du mercure total (HgT) et des paramètres physiques mesurés

Dans le tableau A1 (Annexe), sont présentés les résultats obtenus en fonction de la profondeur dans la colonne d'eau sur chaque site d'étude.

3.2. Discussion

3.2.1. Distribution du mercure total (HgT) en fonction des sites d'étude

La concentration du mercure (HgT) est faible sur les sites de Bingerville et M'badon (LDM= 0,02 ng/L). En revanche, on observe la

présence de mercure sur les sites de Koumassi avec une moyenne de $0,75 \pm 0,03$ ng/L (min : $0,13 \pm 0,01$ ng/L – max : $1,80 \pm 0,05$ ng/L), et de Biétri $1,90 \pm 0,03$ ng/L (min : $0,56 \pm 0,03$ ng/L – max : $4,80 \pm 0,06$ ng/L). Des concentrations importantes ont été trouvées sur les sites d'Adiopodoumé 1 avec une moyenne de $2,00 \pm 0,05$ ng/L (min : $0,60 \pm 0,02$ ng/L - max : $4,10 \pm 0,03$ ng/L), et Adiopodoumé 2 avec une moyenne de $3,03 \pm 0,01$ ng/L (min : $0,52 \pm 0,02$ ng/L – max : $7,10 \pm 0,05$ ng/L). Les écart-types obtenus (Figure 2) montrent bien cette différence entre les différents sites.

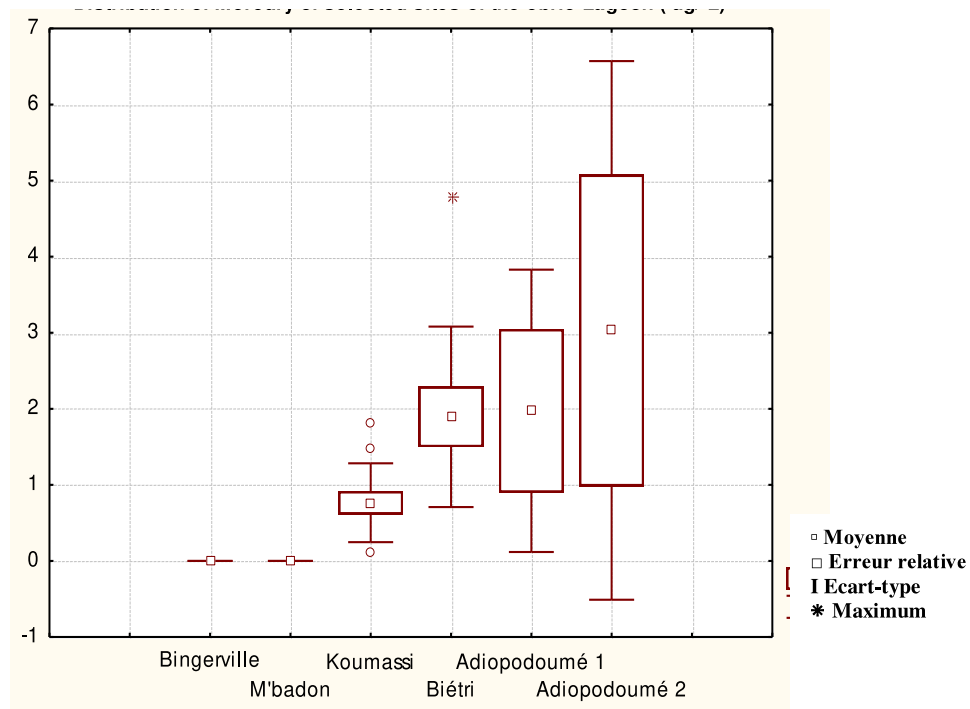


Fig. 2. Distribution du HgT (ng/L) en fonction des sites.

3.3. Evolution de la concentration du mercure (HgT) en fonction de la profondeur

L'évolution de la concentration du mercure (HgT) en fonction de la profondeur est illustrée par la figure 3. Sur les sites de M'badon et de Bingerville la concentration du mercure est pratiquement du niveau de la limite de détection (0,02 ng/L) de la surface au (0,5m). Sur le site d'Adiopodoumé 2, on note une valeur importante de $7,10 \pm 0,05$ ng/L en surface (0,5 m) qui passe ensuite aux valeurs $1,50 \pm 0,03$ ng/L et $0,52 \pm 0,02$ ng/L à 2 m de profondeur. Sur le site d'Adiopodoumé 1, on note une valeur de $1,30 \pm 0,04$ ng/L en surface (0,5 m de profondeur) puis augmente à $4,10 \pm 0,03$ ng/L à 1 m de profondeur puis diminue à $0,20 \pm 0,01$ ng/L à 2 m de profondeur. Sur le site de Biétri, on note une évolution faible de la concentration du mercure (HgT) qui oscille entre $0,50 \pm 0,03$ ng/L et $2,00 \pm 0,02$ ng/L.

Sur le site de Koumassi, la concentration du mercure est faible tout au long de la profondeur et oscille entre $0,50 \pm 0,01$ ng/L et $2,00 \pm 0,05$ ng/L.

Les concentrations en surface sont plus importantes. Entre la surface et le fond, l'évolution de la concentration de HgT dans la masse d'eau est irrégulière.

3.4. Concentration du mercure en fonction des paramètres physicochimiques

L'ACP a été appliqué sur les concentrations du mercure et des variables mesurées dans 38 échantillons d'eau prélevés

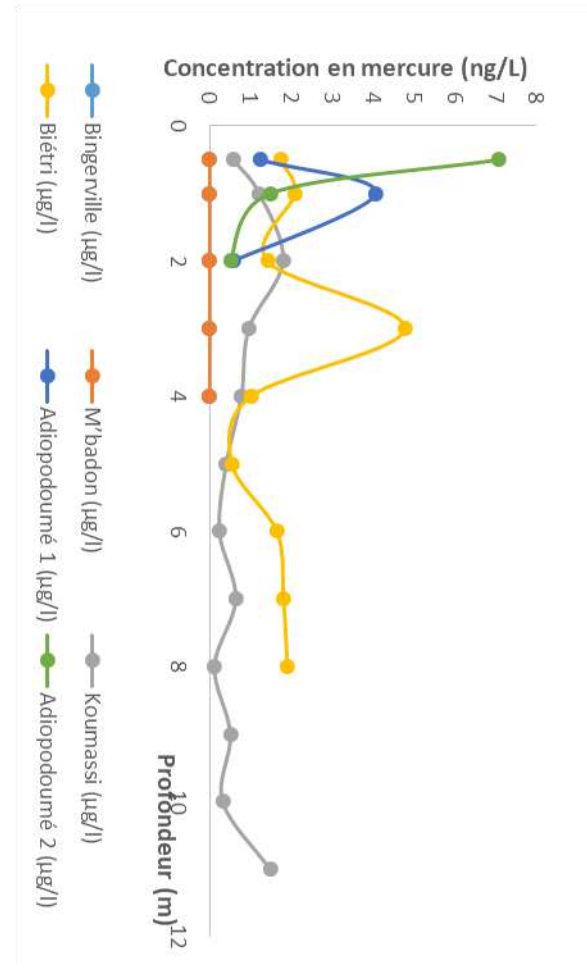


Fig. 3. Evaluation du taux de mercure (Hg) en fonction de la profondeur.

sur les six sites étudiés. La profondeur a été considérée comme une variable supplémentaire. On dénombre neuf (09) variables avec sept (08) variables actives qui sont : mercure total (HgT), Température, pH, Salinité, Solides Totaux

Dissous (TDS), Oxygène dissous, Résistivité, (R), le potentiel rédox (E°) et la variable supplémentaire (la profondeur). L'objectif est de rechercher une corrélation ou non entre ces variables.

La figure 4 des valeurs propres et des résultats de l'ACP révèle que les axes, F1 (45,39%), F2 (30,50%) et F3 (12,64 %) expriment 88,53% de la contribution totale en valeurs cumulées.

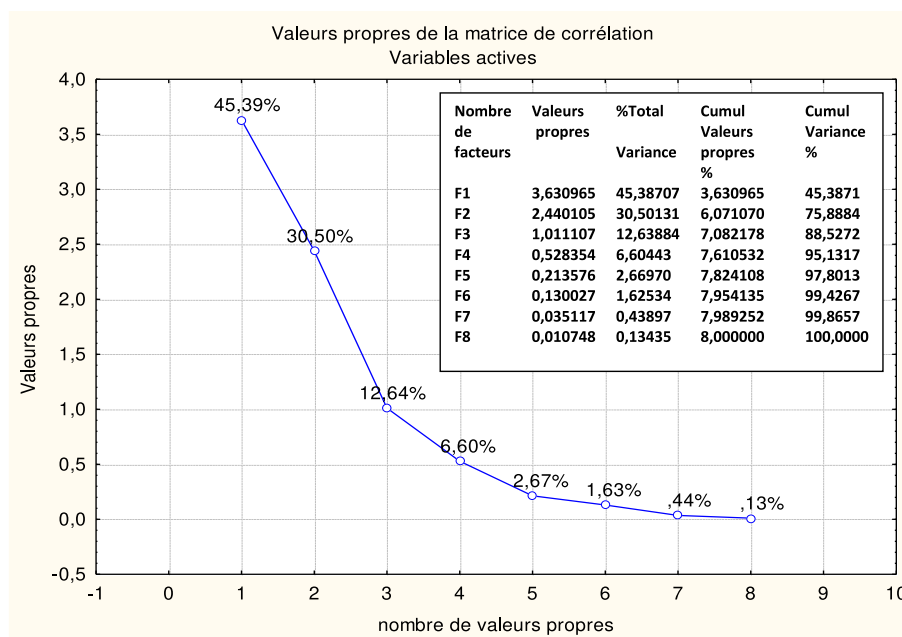


Fig. 4. Valeurs propres de la matrice de corrélation des variables actives.

L'analyse du tableau 1 des corrélations entre les variables (les concentrations du mercure et des paramètres de physiques) et la figure 4 du plan

(Facteur 1 et Facteur 2) des variables actives et supplémentaires permettent de révéler les niveaux de corrélation.

Tableau 1

Valeurs propres de la matrice de corrélation Variables

Variable	Corrélation des facteurs-variables variables actives et supplémentaires							
	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Facteur 4	Facteur 5	Facteur 6	Facteur 7	Facteur 8
T	0,835888	0,205561	-0,048462	--0,405939	-0,322816	0,1150981	-0,006619	-0,002065
pH	0,440710	0,825686	0,106489	0,215505	0,814045	0,203166	-0,064637	0,019697
Sal	0,913601	-0,262715	0,022202	0,268904	-0,057878	0,096722	-0,086992	-0,056912
TDS	0,919232	-0,325094	-0,006284	0,173629	-0,043854	0,104645	-0,012100	0,078235
Ox	-0,343883	0,885497	-0,086813	-0,191782	-0,023462	0,214168	-0,081484	0,016268
R	-0,853122	0,051539	-0,185906	0,367529	-0,309268	0,058272	-0,026095	0,012817
E°	-0,421501	-0,865749	0,066266	-0,209920	0,052874	0,0718620	-0,125837	0,023740
HgT	0,186127	-0,071444	-0,974884	0,18651	0,093302	0,027787	-0,005112	-0,001825
Prof	0,496555	-0,174647	0,254455	-0,133804	-0,249848	0,251259	-0,154763	-0,083623

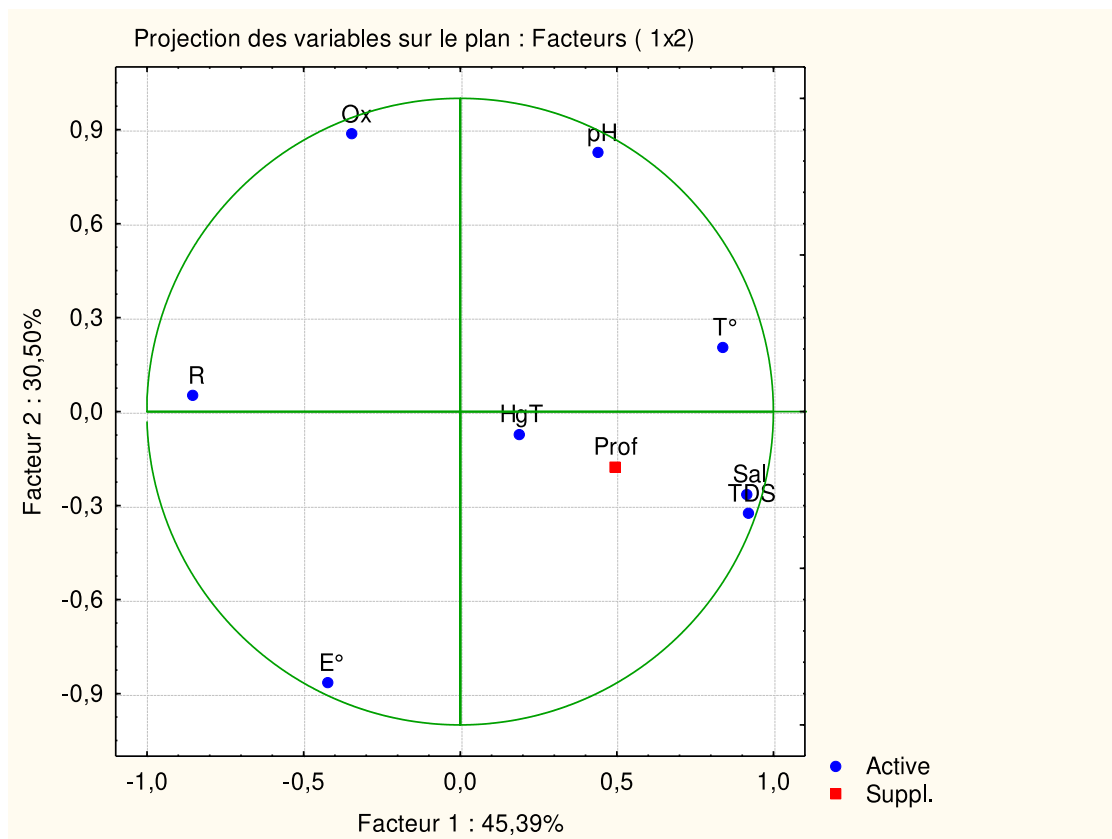


Fig. 5. Plan ACP Facteur 1 -Facteur 2 de HgT et des paramètres physiques.

Les deux premiers axes (Facteur 1 et Facteur 2) ont été extraits avec une contribution totale de 75,89 %.

Par rapport à l'axe Facteur 1 représentant 45,56% de la variabilité totale de la présence du mercure et des paramètres physiques du milieu. Le mercure (Hg) est médiocrement représenté avec un coefficient α faible: 0,19. Quant au groupe formé par les variables physiques telles la Température, la Salinité, TDS et la Résistivité, les coefficients α respectifs sont de 0,84 ; 0,91 ; 0,92, -0,85 supérieurs à 0,7. Ces variables sont par conséquent, bien représentées et sont bien distinguées. Ce qui signifie que, à l'exception de HgT, ces variables sont fortement corrélées à

l'axe. La Résistivité apparaît inversement corrélée. La contribution de la profondeur est passable avec un coefficient $\alpha = 0,50$.

Par rapport à l'axe Facteur 2 représentant 30,50 % de la variabilité, Hg est aussi médiocrement représenté avec $\alpha = - 0,07$. Oxygène et E° formant le deuxième groupe, apparaissent avec des coefficients α respectifs de 0,83 ; 0,88 supérieurs à 0,7. Ce qui signifie que ces variables sont fortement corrélées à l'axe. E° est inversement corrélée aux deux autres. La contribution de la profondeur est faible avec un coefficient $\alpha = 0,17$.

Les deux axes (Facteur1 et Facteur 3) ont été extraits avec une contribution totale de 58,0%.

Par rapport à l'axe Facteur 3 représentant 12,64% de la variabilité on note que seul HgT est bien représenté avec un coefficient α de 0,9 contrairement aux paramètres physiques qui sont mal représentés. Ce qui signifie que l'influence de ces paramètres est faible sur la concentration du mercure total.

Les observations précédentes montrent que les concentrations en HgT en surface sont plus importantes et marquées par une distribution irrégulière dans la colonne d'eau et plus faibles au fond. La littérature indique une solubilité du mercure (HgT) dans l'eau de 0,02 mg/L à 0,6 mg/L [13], ce qui indique que le mercure (HgT) peut se trouver dans la colonne d'eau. Aussi, le mercure présent dans la phase dissoute représente une faible part du mercure total, de 2% [14] à 10% [15]. Il apparaît dans les résultats de cette étude que la teneur de mercure total déterminées dans l'eau est indépendante des paramètres physiques étudiés. De toute évidence, ces résultats ne sont pas en contradiction avec le rôle joué par ces paramètres physiques dans les processus de transformations chimiques et biologiques. Si la spéciation du mercure en différentes formes élémentaires, ioniques et organiques dépend des facteurs physiques et biologiques on remarque que les paramètres physiques étudiés n'influencent pas la concentration du mercure total. La littérature rapporte toutefois que le pH, la température et le potentiel d'oxydoréduction influencent les différentes transformations du mercure (Hg) (la réduction, l'oxydation, la méthylation...) [16].

Les valeurs de potentiel d'oxydoréduction et de températures élevées des eaux peuvent également accélérer les processus photochimiques et de photoréduction du mercure (Hg).

Si les paramètres physiques ont peu d'influence sur les concentrations du mercure total HgT, alors la concentration totale du mercure pourrait être influencée par d'autres facteurs tels que les apports d'eau de pluie et de crue des fleuves chargés d'effluents de l'orpaillage. En outre, les effluents domestiques et industriels jouent un rôle important quand on sait que la zone Abidjanaise concentre à elle seule 80% des industries en Côte d'Ivoire (chimiques, agrochimies, phytosanitaires, etc.). On peut supposer qu'une partie du mercure disparaît par volatilisation dans l'atmosphère [17], et par gravitation et dépôt dans les sédiments. Ce qui peut jouer un rôle dans la distribution du mercure.

4. Conclusion

Au terme de cette étude, on note que la colonne d'eau des sites étudiés de la lagune Ebrié contient du mercure total. Les concentrations du mercure (Hg) varient selon le site d'étude de l'ordre de LDM = 0,02 ng/L pour les plus faibles concentrations, à $7,10 \pm 0,05$ ng/L pour les plus importantes. Les résultats n'ont pas mis en évidence une influence significative des paramètres physiques étudiés sur le mercure total dans la colonne d'eau.

Les amplitudes des paramètres physiques confirment le caractère tropical de la zone étudiée. Une bonne corrélation existe entre les paramètres physiques. Les résultats vont servir à s'intéresser à la fois au HgT, et aux différentes formes chimiques du mercure dans l'eau. Ceci pour mieux comprendre les équilibres chimiques et le bilan de concentrations entre les différentes formes chimiques du mercure.

Références bibliographiques

- [1] <https://news.un.org/fr/story/2017/08/362602-un-traite-international-contre-les-effets-nefastes-du-mercure-entre-en-vigueur>. (Consulté le 05/12/2021).
- [2] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/les-affaires-internationales/dossiers/lutte-contre-le-mercure.html>. (Consulté le 5/01/2022).
- [3] Rapport annuels d'activité Centre ivoirien anti-Pollution (Ciapol) (2019).
- [4] M. Marchand, J.-L. Martin, Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanogr. trop.* 20(1) (1985) 25-39.
- [5] M. Touré, A. Y. N'guessan et E. K. Konan, Etude géochimique des sédiments superficiels d'une baie lagunaire et son impact sur l'environnement : Cas de la baie d'Abouabou (lagune Ebrié; Côte d'Ivoire), *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(5) (2018) 2371-2380.
- [6] PNUE, Côte d'Ivoire évaluation environnemental post-conflit (2015).
- [7] A. Gueu, S.K. Ouffoué, B.Z. Digbéhi, Mercury Concentration Profile in Sediment Cores of a Tropical Lagoon under High Anthropogenic Activities around an Urban City-Abidjan, Côte d'Ivoire, *Journal of Geoscience and Environment Protection* 9 (2021) 83-94.
- [8] R.P. Mason, Mercury Emissions from Natural Sources and their Importance in the Global Mercury cycle. In: *Mercury fate and transport in the Global atmosphere: Measurements, models and policy implications* (N. Pirrone and R. Mason Eds), UNEP (2008).
- [9] J.P. Tastet, Environnement sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du golfe de Guinée (Cote d'Ivoire, Togo, Bénin), Thèse doct. Etat, Univ. Bordeaux 1 (1974).
- [10] J.M. Verstraete, L'oxygène au large de Grand Bassam, *Doc. Scient. Cent. Rech. Oceanogr. Abidjan-1* 3 (1978) 13-35.
- [11] P.H. Dufour, Les frontières naturelles et humaines du système lagunaire Ebrié, Incidences sur l'hydroclimat, *Hydrobiologia* 94 (1982) 105-120.
- [12] H.V. Mel, K.S. Ouffoue, K. Bamba, R.S.P. Zoakouma, D. Diabagaté, N. Ziao, L. Ouattara, Etude de la qualité de l'eau de la lagune d'Ebrié et proposition de structures de toxines en relation avec les efflorescences d'algues, *International Journal of Pure and Applied Chemistry* (2021) 1-18. DOI: 10.9734/iripac/2021/v22i730417.
- [13] J.F. Thomassin, S. Touze, Ph. Baranger, Le mercure et ses composés. Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments, *BRGM/RP-51890-FR* (2003) 20.
- [14] L.A. Nelson, Mercury in thames estuary, *Environ. Technol. Lett.* 2 (1981) 225-232.
- [15] D. Cossa, A. Ficht, La dynamique du mercure, Fascicule programme scientifique Seine-Aval n°11 (1999).
- [16] Record, État de l'art concernant la mesure des émissions et le traitement des métaux dans les fumées. Cas du cadmium, du mercure et du plomb, n°00-0220/1A (2002).
- [17] A.L.M Ethier, D. Mackay, L. Toose-Reid, N.J. O'Driscoll, A.M. Scheuhammer, D.R.S. Lean, The development and application of a mass balance model for mercury (total, elemental and methyl) using data from a remote Lake (Big Dam West, Nova Scotia, Canada) and the multi-species multiplier method, *Appl. Geochem.* 23 (2008) 467-481.

Annexe

Tableau A1

Résultats des analyses des paramètres physicochimiques et du mercure Total

n°	Nom du site (n=3)	Coordonnées GPS	Profondeur (m)	T (°C)	pH	Sal (‰)	TDS (g/L)	Ox (mg/L)	R (Ω..Cm)	Pot red (mV)	Hg (µg/L)
1	Adiopodoumé 1	5°20'04''N / 3°53'39''W	0,5	28,0 ± 0,5	7,3 ± 0,3	3,1 ± 0,1	6 ± 2	9 ± 1	175 ± 3	- 6,5 ± 0,4	1,30 ± 0,04
2	Adiopodoumé 1	5°20'04''N / 3°53'39''W	1	27,5 ± 0,5	7,0 ± 0,3	3,1 ± 0,1	14 ± 2	5 ± 1	74 ± 3	11,2 ± 0,4	4,1 ± 0,3
3	Adiopodoumé 1	5°20'04''N / 3°53'39''W	2	28,1 ± 0,5	7,0 ± 0,3	3,2 ± 0,1	16 ± 2	3 ± 1	69 ± 3	18,0 ± 0,4	0,60 ± 0,02
4	Adiopodoumé 2	5°20'02''N / 4°07'25''W	0,5	26,4 ± 0,5	7,3 ± 0,3	1,4 ± 0,1	3 ± 2	8 ± 1	370 ± 3	- 7,0 ± 0,4	7,1 ± 0,5
5	Adiopodoumé 2	5°20'02''N / 4°07'25''W	1	27,0 ± 0,5	7,4 ± 0,3	7,0 ± 0,1	12 ± 2	8 ± 1	83 ± 3	-10,1 ± 0,4	1,50 ± 0,03
6	Adiopodoumé 2	5°20'02''N / 4°07'25''W	2	27,1 ± 0,5	7,0 ± 0,3	10,3 ± 0,1	17 ± 2	5 ± 1	57 ± 3	17,0 ± 0,4	0,52 ± 0,02
7	Bingerville	5°19'30''N / 3°53'39''W	0,5	26,0 ± 0,5	7,5 ± 0,3	1,5 ± 0,1	3 ± 2	7 ± 1	340 ± 3	- 10,0 ± 0,4	0,02 ^(*)
8	Bingerville	5°19'30''N / 3°53'39''W	1	26,0 ± 0,5	7,5 ± 0,3	1,5 ± 0,1	3 ± 2	8 ± 1	340 ± 3	- 11,2 ± 0,4	0,02 ^(*)
9	Bingerville	5°19'30''N / 3°53'39''W	2	26,0 ± 0,5	7,5 ± 0,3	1,5 ± 0,1	3 ± 2	8 ± 1	339 ± 3	- 12,4 ± 0,4	0,02 ^(*)
10	Bingerville	5°19'30''N / 3°53'39''W	3	26,1 ± 0,5	8,0 ± 0,3	4,1 ± 0,1	7 ± 2	7 ± 1	136 ± 3	- 15,2 ± 0,4	0,02 ^(*)
11	Bingerville	5°19'30''N / 3°53'39''W	4	26,0 ± 0,5	7,5 ± 0,3	2,0 ± 0,1	7 ± 2	7 ± 1	292 ± 3	- 10,0 ± 0,4	0,02 ^(*)
12	M'Badon	5°19'20''N / 3°56'08''W	0,5	26,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	3,0 ± 0,1	6 ± 2	8 ± 1	179 ± 3	- 21,0 ± 0,4	0,02 ^(*)
13	M'Badon	5°19'20''N / 3°56'08''W	1	26,2 ± 0,5	8,0 ± 0,3	3,0 ± 0,1	5 ± 2	7 ± 1	206 ± 3	- 17,5 ± 0,4	0,02 ^(*)
14	M'Badon	5°19'20''N / 3°56'08''W	2	26,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	3,4 ± 0,1	6 ± 2	7 ± 1	162 ± 3	- 14,6 ± 0,4	0,02 ^(*)
15	M'Badon	5°19'20''N / 3°56'08''W	3	26,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	4,0 ± 0,1	6 ± 2	8 ± 1	154 ± 3	- 17,0 ± 0,4	0,02 ^(*)
16	M'Badon	5°19'20''N / 3°56'08''W	4	26,0 ± 0,5	7,5 ± 0,3	5,0 ± 0,1	8 ± 2	8 ± 1	122 ± 3	- 11,0 ± 0,4	0,02 ^(*)

Tableau A1 (suite et fin)

Résultats des analyses des paramètres physicochimiques et du mercure Total

n°	Nom du site (n=3)	Coordonnées GPS	Profondeur (m)	T (°C)	pH	Sal (‰)	TDS (g/L)	Ox (mg/L)	R(Ω.Cm)	Pot red (mV)	Hg (µg/L)
18	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	0,5	30,0 ± 0,5	9,0 ± 0,3	10,0 ± 0,1	17 ± 2	14 ± 1	60 ± 3	-100,0 ± 0,4	1,75 ± 0,05
19	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	1	29,5 ± 0,5	9,2 ± 0,3	10,4 ± 0,1	17 ± 2	14 ± 1	57 ± 3	-102,5 ± 0,4	2,09 ± 0,04
20	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	2	28,2 ± 0,5	8,0 ± 0,3	17,5 ± 0,1	28 ± 2	6 ± 1	35 ± 3	-30,0 ± 0,4	1,4 ± 0,3
21	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	3	29,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	16,2 ± 0,1	26 ± 2	6 ± 1	38 ± 3	-27,0 ± 0,4	4,80 ± 0,06
22	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	4	28,3 ± 0,5	8,0 ± 0,3	21,0 ± 0,1	33 ± 2	4 ± 1	30 ± 3	-17,3 ± 0,4	1,03 ± 0,05
24	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	5	29,0 ± 0,5	7,5 ± 0,3	21,3 ± 0,1	34 ± 2	4 ± 1	30 ± 3	-16,0 ± 0,4	0,56 ± 0,03
25	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	6	29,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	27,0 ± 0,1	41 ± 2	1,3 ± 1	24 ± 3	-24,0 ± 0,4	1,66 ± 0,02
26	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	7	29,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	21,0 ± 0,1	33 ± 2	1,5 ± 1	30 ± 3	-31,0 ± 0,4	1,82 ± 0,2
27	Bietri	5°16'16''N / 3°57'55''W	8	28,5 ± 0,5	7,5 ± 0,3	27,0 ± 0,1	42 ± 2	1,3 ± 1	24 ± 3	-9,3 ± 0,4	1,92 ± 0,02
28	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	0,5	28,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	7,0 ± 0,1	12 ± 2	6 ± 1	83 ± 3	-17,5 ± 0,4	0,6 ± 0,1
29	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	1	29,1 ± 0,5	8,0 ± 0,3	8,2 ± 0,1	14 ± 2	7 ± 1	71 ± 3	-15,4 ± 0,4	1,23 ± 0,03
30	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	2	27,5 ± 0,5	8,0 ± 0,3	8,0 ± 0,1	13 ± 2	6 ± 1	76 ± 3	-20,0 ± 0,4	1,81 ± 0,05
31	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	3	28,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	8,5 ± 0,1	14 ± 2	7 ± 1	69 ± 3	-21,0 ± 0,4	1,00 ± 0,04
32	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	4	28,4 ± 0,5	8,0 ± 0,3	8,6 ± 0,1	15 ± 2	7 ± 1	68 ± 3	-19,0 ± 0,4	0,80 ± 0,06
33	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	5	29,0 ± 0,5	7,5 ± 0,3	9,0 ± 0,1	15 ± 2	7 ± 1	67 ± 3	-14,1 ± 0,4	0,42 ± 0,03
34	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	6	29,1 ± 0,5	8,0 ± 0,3	9,0 ± 0,1	15 ± 2	7 ± 1	67 ± 3	-22,0 ± 0,4	0,25 ± 0,02
35	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	7	29,4 ± 0,5	8,0 ± 0,3	9,0 ± 0,1	16 ± 2	7 ± 1	61 ± 3	-25,5 ± 0,4	0,65 ± 0,04
36	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	8	29,4 ± 0,5	8,0 ± 0,3	10,0 ± 0,1	17 ± 2	7 ± 1	58 ± 3	-25,5 ± 0,4	0,13 ± 0,01
37	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	9	29,5 ± 0,5	8,0 ± 0,3	10,3 ± 0,1	17 ± 2	7 ± 1	58 ± 3	-25,2 ± 0,4	0,52 ± 0,05
38	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	10	29,5 ± 0,5	8,0 ± 0,3	10,2 ± 0,1	15 ± 2	7,2 ± 1	65 ± 3	-22,0 ± 0,4	0,33 ± 0,03
39	Koumassi	5°18'59''N / 3°56'26''W	11	29,0 ± 0,5	8,0 ± 0,3	9,0 ± 0,1	16 ± 2	7 ± 1	62 ± 3	-18,0 ± 0,4	1,49 ± 0,02

NB. (*) LDM = 0,02 ng, donc les concentrations en mercure (Hg) sur les sites de M'badon et de Bingerville sont égales à la LDM.