



**HAL**  
open science

## Etat de la contamination en éléments traces des sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto (Togo)

Koudjo Adje, Kamilou Ouro-Sama, Hodabalo Dheoulaba Solitoke, Gnon  
Tanouayi, Sadikou Agbere, Tchaa Ezzo-Essinam Badassan, Housseni Ahoudi,  
Kissao Gnandi

► **To cite this version:**

Koudjo Adje, Kamilou Ouro-Sama, Hodabalo Dheoulaba Solitoke, Gnon Tanouayi, Sadikou Agbere, et al.. Etat de la contamination en éléments traces des sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto (Togo). 2021. hal-03182947v1

**HAL Id: hal-03182947**

**<https://hal.science/hal-03182947v1>**

Preprint submitted on 26 Mar 2021 (v1), last revised 18 Nov 2021 (v4)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1 **Etat de la contamination en éléments traces des sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto**  
2 **(Togo).**

3 **State of trace element contamination of sediments from the Nangbéto hydroelectric dam lake (Togo)**

4 Koudjo ADJE<sup>1,2</sup>, Kamilou OURO-SAMA<sup>1</sup>, Hodabalo Dheoulaba SOLITOKÉ<sup>1</sup>, Gnon TANOUAYI<sup>1</sup>, Sadikou AGBERE<sup>1</sup>,  
5 Tchaa Ezzo-Essinam BADASSAN<sup>1</sup>, Housseni AHOUDI<sup>1</sup>, Kissao GNANDI<sup>1</sup>.

6 1 Université de Lomé, Faculté Des Sciences, Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets,  
7 Département de Géologie et Environnement, BP : 1515, Lomé-Togo.

8 2 Ecole Normale Supérieure d'Atakpamé, Département Sciences de la Vie et de la Terre, BP : 07, Atakpamé-  
9 Togo

10 \*Auteur correspondant : Koudjo ADJE, adjekoudjo@gmail.com ; Kamilou OURO-SAMA,  
11 ouro\_kamilou@yahoo.fr

12 **Résumé**

13 Le Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto qui constitue un déversoir des résidus des intrants agricoles,  
14 des effluents urbains et industriels présent dans le bassin du Mono est exposé à toutes formes de pollution. Le  
15 but de ce travail est de quantifier les teneurs de sept (7) éléments traces dans les sédiments dudit Lac afin  
16 d'évaluer le risque écologique encouru par la biocénose aquatique et partant par l'homme.

17 Quarante-deux (42) échantillons de sédiments (21 par saison) sont échantillonnés dans différentes zones du  
18 Lac. Le Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, As et Hg sont dosés dans les sédiments par le spectrophotomètre d'absorption  
19 atomique à flamme dans ces échantillons minéralisés. Les résultats montrent des teneurs moyennes variant de  
20 la plus faible teneur 0,04mg/kg pour le Hg à la plus forte (12,15mg/kg) pour le Cu en saison pluvieuse et de 0,03  
21 mg/kg pour le Hg et pour l'As à la plus forte (9,14 mg/kg) pour le Cu en saison sèche. Toutes ces valeurs sont  
22 inférieures aux normes canadiennes de qualité des sédiments. Les plus forts indices de géoaccumulation (Igeo)  
23 moyens sont obtenus chez le Pb avec des valeurs inférieures à 2. Les valeurs moyennes de facteur de  
24 contamination (FC) sont inférieures à 1. Les indices moyens de contamination (Im) sont inférieurs à 2, seuil d'un  
25 début de contamination polymétallique. Le risque écologique (Ri) par rapport à la contamination des sédiments  
26 du Lac en éléments traces est faible en toute saison (Ri < 40) et cela implique un faible risque de contamination  
27 de la biocénose.

28 **Mots-clés** : Eléments traces, Lac, Nangbéto, Sédiments, Togo.

29

30 **Abstract**

31 The Nangbéto hydroelectric dam lake, which is a spillway for agricultural input residues, urban and industrial  
32 effluents present in the Mono basin, is exposed to all forms of pollution. The aim of this work is to estimate the  
33 content of seven trace elements present in the sediments of the aforementioned lake in order to assess the  
34 ecological risk incurred by the aquatic biocenosis and therefore by man.

35 Forty-two sediment samples (21 per season) are realized in different areas of the Lake. Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, As  
36 and Hg are measured out in the sediments by the flame atomic absorption spectrophotometer in these pre-  
37 mineralized samples. The results show average contents varying from the lowest level 0.04 mg / kg for Hg to  
38 the highest 12.15 mg / kg for Cu in the rainy season and from 0.03 mg / kg for Hg and for As to 9.14 mg/kg for  
39 Cu in the dry season. All of these values are below Canadian sediment quality standards. The strongest average  
40 geoaccumulation indices (I<sub>geo</sub>) are obtained for Pb with values less than 2. The mean values of the  
41 contamination factor (FC) are less than 1. The mean indices of contamination (I<sub>m</sub>) are less than 2, threshold d  
42 'an onset of polymetallic contamination. The ecological risk (R<sub>i</sub>) in relation to the contamination of the  
43 sediments of the Lake with trace elements is low in any season (R<sub>i</sub> <40) and this implies a low risk of  
44 contamination of the biocenosis.

45

46 **Keywords:** Trace elements, Lake, Nangbéto, Sediments, Togo.

47

48 **1-Introduction**

49 Né de la construction du barrage, le Lac de Nangbéto (Togo), a un réservoir qui couvre une superficie de 180  
50 Km<sup>2</sup> et hérite de toutes sortes de polluants du fleuve Mono qui l'alimente. Le fleuve Mono, subit des pollutions  
51 dont les origines sont diverses : la pollution industrielle (cas du rejet des effluents de la sucrerie d'Anié dans la  
52 rivière Anié, affluent du fleuve Mono) ; la pollution agricole par les pesticides et les engrais chimiques (cas des  
53 pesticides et engrais utilisés à des fins agricoles dans le bassin du Mono) et la pollution d'origine tellurique  
54 (érosion des sols et des roches du bassin) (Dahri et *al.*, 2018). Dans les systèmes aquatiques, l'étude des  
55 sédiments tire leur intérêt du fait qu'ils sont indicateurs de contamination du milieu, à cause de leur capacité  
56 de fixation des polluants, surtout les éléments traces. En ce sens, ils constituent un réservoir et une source  
57 potentielle de contamination pour les eaux. Les sédiments, compartiment d'accumulation pour les polluants  
58 métalliques, peuvent également se comporter comme des sources endogènes de contamination, par remise en

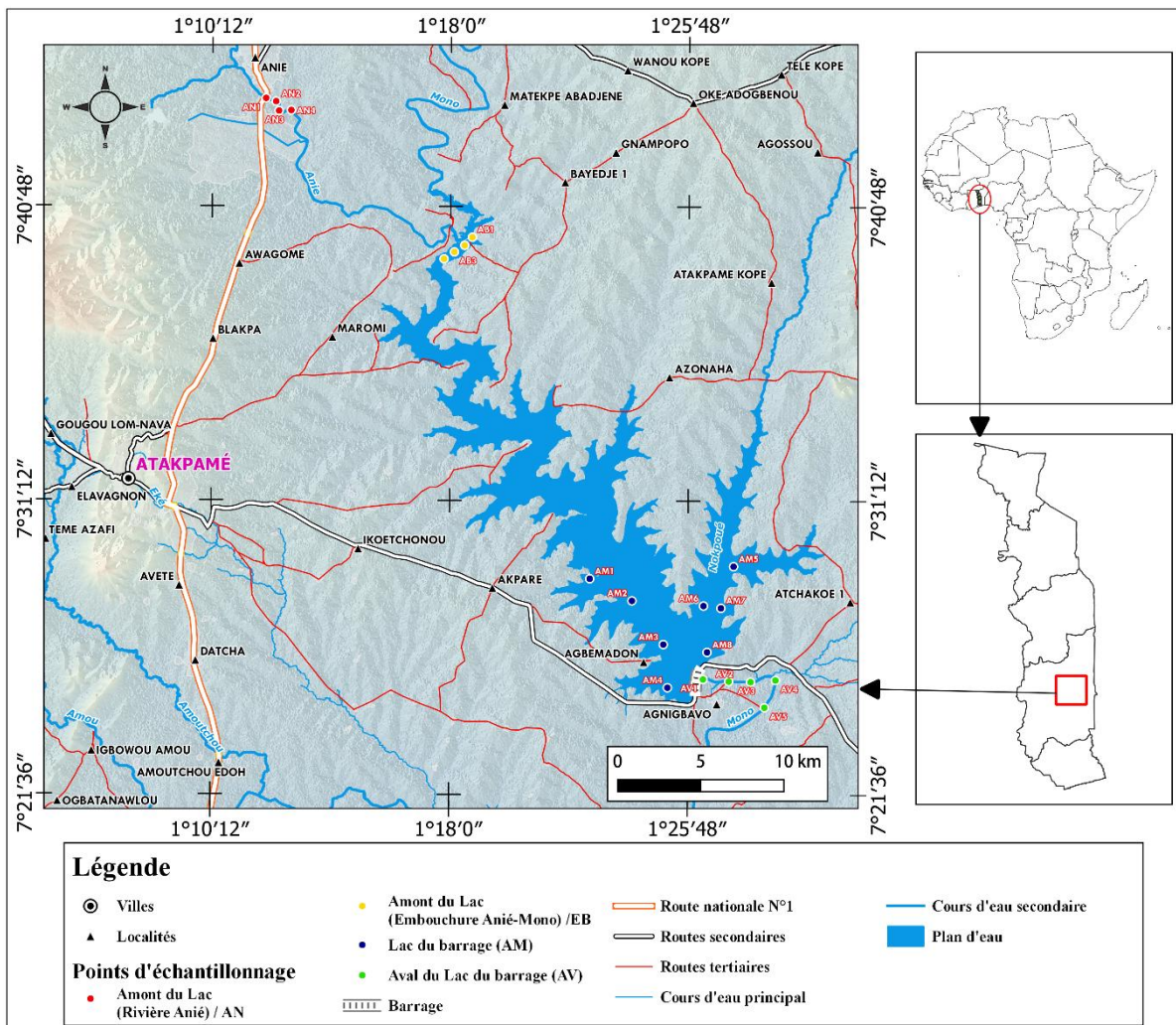
59 suspension (crues, bioturbation) ou par évolution de la spéciation des éléments traces, laquelle va également  
60 jouer sur leur biodisponibilité (Benguedda, 2012). Les sédiments sont alors, singulièrement intéressants  
61 lorsqu'il s'avère indispensable de prendre des mesures adéquates pour une gestion durable d'un écosystème  
62 aquatique (Djeddi *et al.*, 2018). Les éléments traces, sont considérés comme des polluants les plus dangereux  
63 de l'environnement aquatique, à cause de leur rémanence et leur tendance à être bioaccumulés dans les  
64 organismes aquatiques (Aydin-Onen *et al.*, 2014 ). Le Lac de Nangbéto via le fleuve Mono étant exposé et étant  
65 donné que les sédiments jouent un rôle de réservoir et source endogène de pollution, et vu la dangerosité des  
66 éléments traces, la présente étude a pour objectif de contribuer, à une gestion durable du Lac de Nangbéto en  
67 quantifiant les teneurs de quelques éléments traces dans ses sédiments.

68

## 69 **2- Matériel et méthodes**

### 70 **2-1. Zone d'étude**

71 Le Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto (Figure 1), est situé à une quarantaine de kilomètres  
72 d'Atakpamé, et à 160 km de Lomé. Il présente un réservoir qui occupe une superficie de 180 km<sup>2</sup>. Construit sur  
73 le fleuve Mono, à 180 km de l'embouchure, le Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto est alimenté par le  
74 bassin versant du Mono. Le bassin du Mono, est situé entre les latitudes de 9° 20' Nord à la source et 6° 174'  
75 Nord à l'embouchure dans le Golfe du Bénin ; puis entre 0° 41' et 1° 45' de longitude Est. Le fleuve Mono,  
76 prend sa source dans le massif de Tchaoudjo, dans la région centrale du Togo, près de la frontière béninoise  
77 dans les monts Alédjo, et s'étire sur environ 528 km de long. Ses principaux affluents sont l'Ogou, l'Atalé et le  
78 Noukpoué, sur la rive gauche et sur la rive droite, on retrouve l'Anié, le Yoro, l'Amou et le Chra (UNESCO,  
79 2008).



80

81 Figure 1 : Carte de la zone d'étude montrant les sites de prélèvements des sédiments.

82 **2-2. Echantillonnage, traitement et analyse des sédiments**

83 Les sédiments de 0 à 5 cm de profondeur, ont été raclés par les plongeurs au fond du Lac à l'aide récipient en  
 84 polyéthylène. Vingt et un (21) échantillons de sédiments, sont prélevés saisonnièrement aux mêmes sites, mis  
 85 dans des sachets en polyéthylène, étiquetés, placés dans une glacière puis transportés au laboratoire (Djeddi et  
 86 al, 2018; NF EN ISO 5667-15, 2009). Ces sédiments ont été séchés à l'air libre au laboratoire à l'abri de la  
 87 poussière, broyés et tamisés au travers à 63  $\mu\text{m}$  (Toure *et al.* 2018). Ensuite, 2g de sédiment sont minéralisés  
 88 dans des tubes en téflon à chaud à 120°C par attaque de diacide : l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ , 65%) et l'acide  
 89 chlorhydrique ( $\text{HCl}$ , 36%) dans les proportions de 1V/3V (AFNOR NF X31-151, 1993) sur une plaque chauffante.  
 90 Après refroidissement à l'air ambiant, le minéralisât est récupéré avec de l'eau distillée, puis filtré dans un tube  
 91 en polypropylène selon les normes NF ISO 11466 de Juin 1995 et NF X 31-147 de juillet 1996. Les éléments  
 92 traces (Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, As et Hg), sont dosés dans les minéralisât à l'aide d'un Spectromètre d'Absorption

93 Atomique (SAA) à flamme, de marque Thermo Electron Corporation S, séries. Ce spectromètre est couplé à un  
94 générateur d'hydrures et de vapeurs froides (Thermo Scientific VP100) pour le dosage de l'As avec flamme et  
95 pour le Hg sans flamme. La validité des méthodes analytiques est vérifiée par un contrôle interne via des blancs  
96 de procédure et des solutions étalons.

97 Le pH des sédiments est mesuré dans le surnageant d'un mélange de 10 g de sédiments et de 25 ml d'eau  
98 distillée après agitation à l'aide d'un agitateur magnétique pendant une minute suivie de 2 heures de repos. Le  
99 pH est mesuré selon la norme NFT 90-008 à l'aide d'un pH-mètre de marque Crison BASIC 20+ alors que la  
100 conductivité électrique (CE) est déterminée à l'aide d'un multi paramètre de type Knick Portamess selon la  
101 norme NF EN 27888.

### 102 **2-3. Estimation de l'intensité de la contamination**

103 L'indice de géoaccumulation (I<sub>géo</sub>), les facteurs de contaminations (FC), l'indice moyen de contamination (Im)  
104 et l'indice de risque écologique (Ri) ont été utilisé pour évaluer l'intensité de la pollution des sédiments en  
105 éléments traces.

#### 106 - **Indice de Géo-accumulation (I-géo)**

107 Cet indice, établi par Müller (1969), compare une concentration d'un sédiment donné à une valeur considérée  
108 comme bruit de fond géochimique. Le bruit du fond géochimique dans la présente étude est représenté par  
109 des valeurs moyennes de croûte continentale déterminées par Rudnick et Gao (Rudnick et Gao, 2003).

110 L'indice de géoaccumulation a été selon l'équation suivante :

$$I_{\text{géo}} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1,5B_n} \right)$$

111 Où **I-geo** = Indice de géo-accumulation; **log2** = logarithme de base 2; **n** = élément considéré; **C** = concentration  
112 mesurée dans l'échantillon; **B** = fond géochimique; **1.5** = facteur normalisant les fluctuations naturelles du fond  
113 géochimique. Les résultats sont interprétés selon Müller (1969) comme suit : I<sub>géo</sub> < 0 (classe 0) : sans  
114 contamination ; 0-1 (1) : sans à légère contamination ; 1-2 (2) : contamination modérée ; 2-3 (3) :  
115 contamination modérée à forte ; 3-4 (4) : forte contamination ; 4-5 (5) : Forte à extrême contamination et I<sub>géo</sub>  
116 > 5 (6) traduit une contamination

#### 117 - **Le facteur de contamination (FC) et l'indice moyen de contamination (Im).**

118 Le facteur de contamination est déterminé par la formule suivante :

$$FC = \frac{\text{Concentration de l'élément trace dans le sidement}}{\text{Concentration de références}}$$

119 Les concentrations de références, sont celles des normes canadiennes de pollution en éléments traces des  
 120 sédiments (Long *et al.*, 1995). Les valeurs des FC ont été interprétés selon Hakanson (1980) où :  $FC \leq 1$  indique  
 121 une faible contamination ;  $1 \leq FC < 3$  est la contamination modérée ;  $3 \leq FC < 6$  est une contamination  
 122 importante ; et  $FC \geq 6$  est une très forte contamination.

123 L'indice moyen de contamination (Im) quant à lui a été calculé par la formule suivante :

$$Im = \frac{1}{n} \sum FC$$

124 Ou **n** est le nombre d'éléments analysés, FC le facteur de contamination.

125 Il y a contamination à partir de  $Im > 2$  (Nadem et al 2015)

126 - **L'indice de risque écologique (Ri)** est établi par Hakanson (1980). Cet indice est utilisé pour évaluer le  
 127 risque écologique des sédiments. Il est repris par d'autres auteurs pour déterminer le risque  
 128 écologique des contaminants tels que les métaux dans le sol et les sédiments (Yi *et al.* 2011).

$$Ri = \sum_{i=1}^i E_r^i \text{ avec } E_r^i = T_r \times FC$$

129 Où Ri est l'indice de risque écologique ; Tr est le facteur de la réaction toxique ; FC est le facteur de  
 130 contamination ; Er est le risque écologique potentiel de chaque métal. Les facteurs de la réaction toxique (Tr)  
 131 des éléments traces étudiés (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, et du Ni) selon Hilton *et al.*, (1985) sont respectivement de  
 132 10 ; 30 ; 5 ; 2 ; 40 ; 5 ; 6.

133 L'interprétation des valeurs des risques écologiques des sédiments selon Hakanson (1980) sont consignés dans  
 134 le tableau 1 suivant :

135 **Tableau 1.** Caractérisation du risque écologique potentiel (Er) et de l'indice de risque écologique (Ri) selon  
 136 Hakanson (1980).

Valeur d'Er	Risque écologique potentiel	Valeur de Ri	Indice de risque écologique
$Er < 40$	Faible	$Ri < 95$	Faible
$40 \leq Er < 80$	Modéré	$95 \leq Ri < 190$	Modéré
$80 \leq Er < 160$	Considérable	$190 \leq Ri < 380$	Considérable
$160 \leq Er < 320$	Elevé	$380 \geq Ri$	Très élevé
$320 \geq Er$	Très élevé		

137

138 **2-4 Analyses statistiques des données**

139 Une Analyse des Composantes Principales(ACP) a été réalisée afin de mettre en évidence les relations entre les  
 140 paramètres physico-chimiques et les concentrations des éléments traces des sédiments d'une part, et d'autres  
 141 parts entre les différents sites de prélèvements (Djeddi, et *al.*, 2018). Le test **t** de Student au seuil de 5% a été  
 142 utilisé pour comparer la variabilité saisonnière des paramètres physico-chimiques et des concentrations des  
 143 éléments traces et avec la norme de la qualité. Les relations entre les éléments analysés ont été testées en  
 144 utilisant le coefficient de Pearson avec un seuil de signification fixé à  $p < 0,05$ . Les analyses ont été réalisées à  
 145 l'aide du logiciel STASTICA.

### 146 3-Resultats et Discussion

#### 147 3-1. Variabilité saisonnière du pH et de la conductivité des sédiments

148 Le tableau 2 présente les valeurs moyennes du pH et de la Conductivité.

149 **Tableau 2** : Paramètres physico-chimiques des sédiments en saison sèche et en saison pluvieuse.

Paramètres	pH		CE ( $\mu\text{m}/\text{cm}$ )	
	SP	SS	SP	SS
n = 21				
Minimum	5,49	5,49	35,6	23,3
Maximum	7,13	6,89	277	160,7
Moyenne	6,46	5,98	86,08	85,17
Ecart-type	0,62	0,35	49,42	39,81
CV(%)	9,58	5,93	57,41	46,74
Test t (t ; p)	3,05 ; 0,0040		0,07 ; 0,9479	

150 **SP** : Saison pluvieuse ; **SS** : Saison sèche ; **CV** : Coefficient de variation ; **n** : nombre d'échantillons.

151 Les valeurs de pH vont du 5,49 à 7,13, avec une valeur moyenne de  $6,46 \pm 0,62$  en saison pluvieuse et de 5,49 à  
 152 6,89, avec une moyenne de  $5,98 \pm 0,35$  en saison sèche. Il apparait une différence significative entre les  
 153 moyennes saisonnières des pH ( $t = 3,05$  ;  $p = 0,0040$ ) avec le pH le plus élevé en saison pluvieuse. L'on note une  
 154 répartition homogène entre ces valeurs en saison pluvieuse ( $CV = 9,58\%$ ) et en saison sèche ( $CV = 5,93\%$ ).  
 155 L'analyse des valeurs du pH des sédiments étudiés montre qu'elles ont une tendance acide ( $6,46 \pm 0,62$ ) à  
 156 neutre en saison pluvieuse à cause de la nature des sols de la région et du socle qui est granitique et gneissique  
 157 (LCHF, 1982). En effet, les pH des sols en Moyen Mono tout comme à Glei, localités toutes situées dans le  
 158 bassin du Mono, oscillent entre 4,3 et 6,7 (Rapport sur les ressources en sols du monde, 2000) ; ainsi, les  
 159 sédiments qui résultent de ces roches via toutes les formes d'érosions expliqueraient ces valeurs acides de pH.  
 160 En saison sèche, l'on observe des pH purement acides. Ces valeurs de pH sont dues, non seulement au  
 161 caractère acide du sol et de la roche mère comme susmentionné, mais également à l'absence des eaux



162 pluviales qui diluent l'acidité. Aussi la décomposition des plantes aquatiques et litières déposées pendant la  
163 saison précédente produit-elle une fertilisation acidifiante en cette période de forte chaleur par apport d'azote  
164 sous forme d'ammonium (Razaie-Boroon et *al.*, 2011). Ces résultats sont contraires aux pH observés dans les  
165 sédiments du barrage Béni Haroun, Nord-Est de l'Algérie qui varient de 7,56 à 8,73 (Djeddi, et *al.*, 2018). Ces  
166 derniers résultats contraires sont dus à l'influence de la mer, à causes de leurs proximités. Le pH est le facteur  
167 le plus important influençant la solubilité et la spéciation du métal et donc sa toxicité (Badawy et *al.*, 2002).  
168 Ainsi le pH acide des sédiments de la présente étude influencerait la solubilité des éléments traces (ET)  
169 présents.

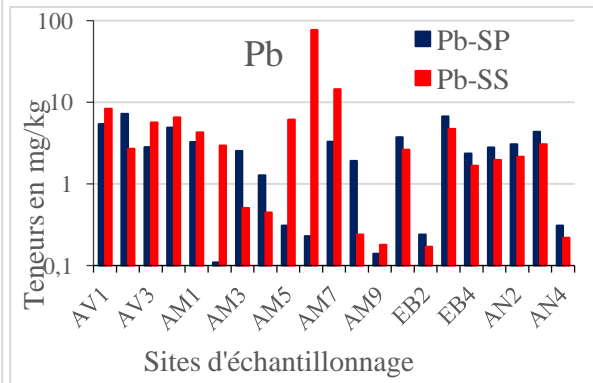
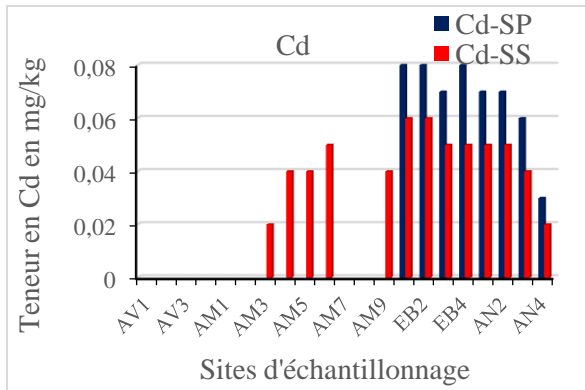
170 Les conductivités varient de 35,6 à 277 mS/cm en saison pluvieuse et de 23,3 à 160,7 mS/cm en saison sèche.  
171 L'on note une hétérogénéité entre les valeurs de la conductivité en saison pluvieuse (CV = 57,41%) et une  
172 homogénéité en saison sèche (CV = 46,74%). Des moyennes saisonnières de 86,08±49,42 mS/cm en saison  
173 pluvieuse et de 85,17±39,81 mS/cm en saison sèche ne montrent aucune différence significative ( $t = 0,07$  ;  $p =$   
174  $0,9479$ ). Ces valeurs de conductivité sont typiques de celle des sédiments des eaux douces continentales qui  
175 varient entre 100 et 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elles sont inférieures aux valeurs enregistrées par Djeddi et *al.*, (2018) dans le  
176 barrage Béni-Haroun en Algérie. Ces valeurs fortes observées en saison pluvieuse traduisent une minéralisation  
177 assez élevée due certainement aux rejets urbains, industriels (sucrierie d'Anié), aux eaux qui ruissellent des  
178 champs agricoles où les pesticides et les engrais sont utilisés dans la localité.

### 179 **3-2. Teneurs des éléments traces dans les sédiments**

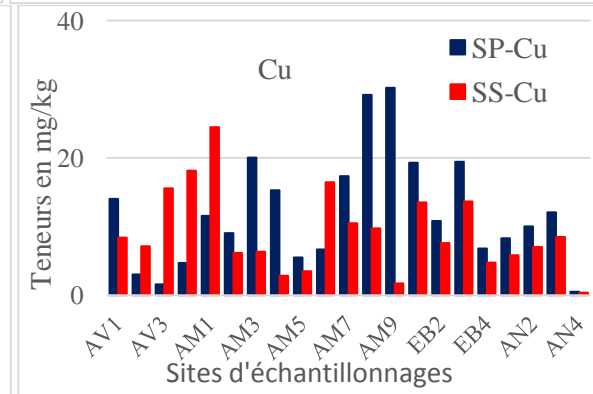
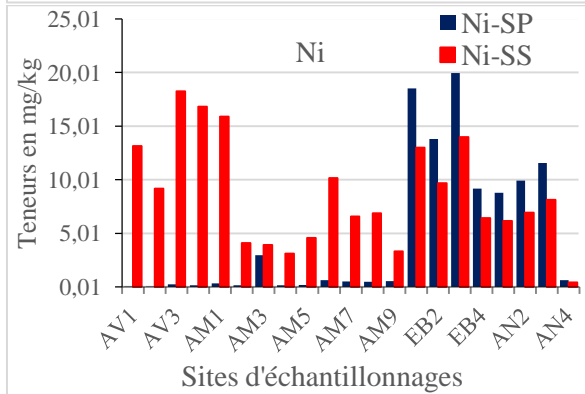
#### 180 **3-2-1. Distribution saisonnières des éléments traces dans les sédiments**

181 Les concentrations des éléments traces des sédiments (figure 2) affichent des fluctuations saisonnières  
182 irrégulières. Les concentrations du Cd varient de 0,03 à 0,08 mg/kg et de 0,02 à 0,06 mg/kg respectivement en  
183 saison pluvieuse et en saison sèche avec des moyennes respectives de 0,07±0,02 mg/Kg et 0,04±0,01 mg/kg  
184 (Tableau3). Par ailleurs, les teneurs des différents sites en saison pluvieuse comme en saison sèches, sont  
185 homogènes (CV = 24,73 ; 28,76%). En saison pluvieuse, les sites, enregistrent des teneurs plus élevées qu'en  
186 saison sèche. La variation intersites montre que les sites de l'embouchure Anié-Mono (EB) et de la rivière Anié  
187 (AN) en saison pluvieuse, avaient de fortes teneurs alors que les sites du Lac du barrage (AM) et en aval du  
188 barrage AV), avaient des teneurs inférieures à la limite de détection.

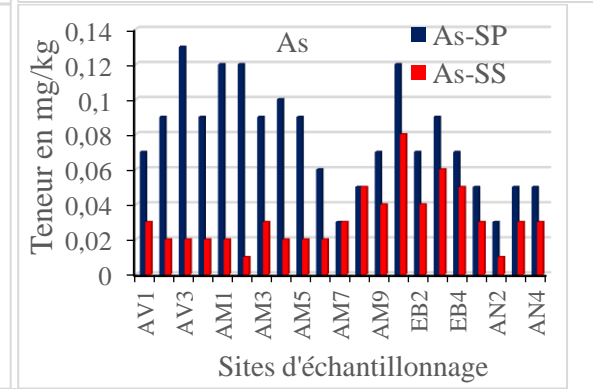
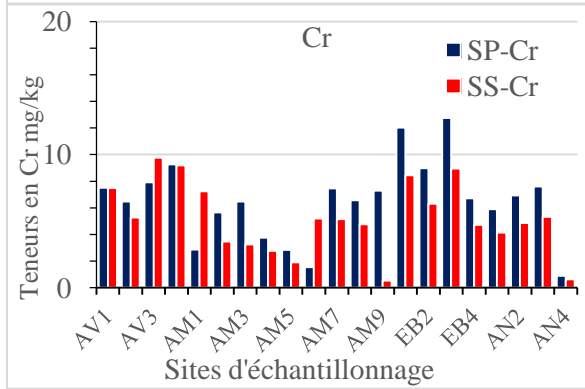
189



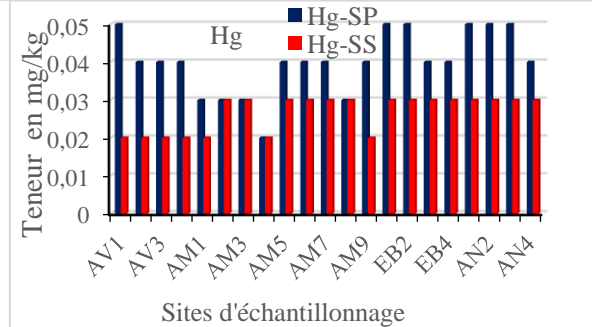
190



191



192



193

**Figure 2** : Variations saisonnières des teneurs des éléments traces dans les sédiments des différents sites.

194

En saison sèche, alors que quelques sites du Lac du barrage (AM) et les sites d'embouchure Anié-Mono (EB) et

195

ceux de la rivière Anié AN) ont enregistré des teneurs en cadmium, les sites d'aval avaient des teneurs en

196

dessous de détection. Les fortes teneurs du Cd des sites de l'embouchure Anié-Mono et de la rivière Anié en

197

saison pluvieuse et aussi en saison sèche et les valeurs nulles en amont et en aval montrent que la zone d'Anié

198 en amont du Lac et de l'embouchure Anié-Mono avec leurs activités anthropiques jouent un rôle prépondérant  
199 dans la pollution du Lac en Cd. En effet, l'on note la présence de l'industrie de sucrerie d'Anié et ses vastes  
200 champs de cannes à sucre, les apports des effluents des grandes villes traversées par le Mono et des résidus  
201 des intrants agricoles.

202 Les teneurs en Pb varient de 0,11 à 7,21 mg/kg en saison pluvieuse avec une moyenne de  $2,72 \pm 2,16$  mg/kg  
203 (tableau 3). En saison sèche, ces teneurs varient de 0,17 à 76,70 mg/kg avec une moyenne  $6,95 \pm 16,35$  mg/kg.  
204 Il n'apparaît aucune différence entre les valeurs moyennes en Pb ( $p = 0,2472$ ) (tableau 3). Dans cette figure 2,  
205 l'on relève, 57,14% (12/21) des sites de la saison pluvieuse ont des teneurs en Pb supérieures à celles de la  
206 saison sèche. Les sites de l'aval (AV) et de la rivière Anié (AN) ont chacun des teneurs plus ou moins homogènes  
207 par rapport à ceux du Lac du barrage (AM) qui sont très hétérogènes. Cette dernière zone a enregistré les plus  
208 fortes teneurs en saison sèche. L'homogénéité des valeurs des teneurs du Pb des sites de l'aval et de l'amont  
209 dans la zone de l'Anié et sans aucune variation particulière exprime l'origine diversifiée de pollution de cet  
210 élément.

211 Les teneurs en Ni oscillent entre 0,03 et 19,95 mg/kg et entre 0,43 et 18,27 mg/kg respectivement en saison  
212 pluvieuse et en saison sèche, avec des teneurs moyennes respectives de  $4,70 \pm 6,61$  mg/kg et  $8,61 \pm 4,96$  mg/kg  
213 (Tableau 3). Il apparaît une différence significative entre les teneurs moyennes saisonnières ( $p = 0,0362$ ). La  
214 figure 2 met en exergue la supériorité des teneurs moyennes en Ni de la saison pluvieuse par rapport à celles  
215 de la saison sèche dans la zone rivière Anié (AN) et dans les sites de l'embouchure (EB). Mais dans les zones du  
216 Lac (AM) et de l'aval du barrage (AV), ce sont plutôt les teneurs en Ni en saison sèche qui sont largement  
217 supérieures à celles de la saison pluvieuse quasi inexistantes. Les teneurs des sites de l'embouchure Anié-Mono  
218 et de la rivière d'Anié ont des concentrations plus fortes que celles du Lac et aval en saison pluvieuse. En saison  
219 sèche, les teneurs de la zone de l'aval sont supérieures à celles des autres zones.

220 Les teneurs en Cu varient de 0,48 à 30,21 mg/kg en saison pluvieuse et de 0,34 à 24,48 mg/kg en saison sèche,  
221 avec des moyennes saisonnières respectives de  $12,15 \pm 8,20$  mg/kg et  $9,14 \pm 5,98$  mg/kg. Aucune différence  
222 significative ne se dégage entre les teneurs moyennes saisonnières du Cu ( $p = 0,1822$ ). La figure 2 montre que  
223 71,43% (15/21) des sites ont des teneurs moyennes en saison pluvieuse supérieures à celles de la saison sèche.  
224 En saison pluvieuse, les fortes concentrations sont observées dans le Lac alors qu'en saison sèche, ce sont des  
225 sites de l'aval qui enregistrent des fortes concentrations.

226 Les teneurs en Cr varient de 0,90 à 12,76 mg/kg en saison pluvieuse alors qu'en saison sèche ces teneurs  
 227 varient de 0,53 à 9,76 mg/kg. Les teneurs moyennes de la saison pluvieuse et sèche sont respectivement de  
 228 6,54±3,01 mg/kg et 5,21±2,65 mg/kg. Aucune différence significative ne se dégage de ces valeurs moyennes  
 229 saisonnières (p = 0,1341). La figure 2 montre que 80,95 % (17/21) des sites ont des teneurs moyennes en Cr en  
 230 saison pluvieuse plus fortes que celles de la saison sèche. En saison pluvieuses, ce sont des sites de  
 231 l'embouchure Anié-Mono qui ont enregistré les plus fortes concentrations moyennes alors qu'en saison sèche  
 232 ce sont des sites de l'aval qui se distinguent par les plus fortes teneurs.

233 La supériorité des teneurs moyennes en Ni, Cu, Cr des sites de l'embouchure Anié-Mono et de la rivière d'Anié  
 234 sur celles du Lac et de l'aval du barrage en saison pluvieuse prouve une fois encore que les Zones de l'amont du  
 235 Lac (zone d'Anié et de l'embouchure Anié-Mono) sont des greniers des polluants pour le Lac. En saison sèche,  
 236 ces éléments vont être accumulés dans le Lac du barrage ou en aval. Cela explique parfois des teneurs élevées  
 237 en aval et dans le Lac en saison sèche par rapport à la zone de la rivière Anié et de l'embouchure Anié-Mono.

238 Les teneurs en As des sédiments varient de 0,03 à 0,13 mg/kg en saison pluvieuse et de 0,01 à 0,08mg/kg en  
 239 saison sèche, avec des moyennes respectives de 0,08±0,03mg/kg et 0,03±0,02 mg/kg. Ces teneurs moyennes  
 240 saisonnières présentent une différence significative (p = 0,0001). Les sites ont des teneurs moyennes en As plus  
 241 élevées en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Les plus fortes teneurs en saison pluvieuse sont localisées dans  
 242 les zones Aval et dans le Lac alors qu'en saison sèche, c'est la zone de l'embouchure Anié-Mono qui présente  
 243 les fortes teneurs moyennes en As (Figure 2).

244 Les teneurs en Hg oscillent entre 0,02 et 0,5 mg/kg et entre 0,02 et 0,03 mg/kg respectivement en saison  
 245 pluvieuse et en saison sèche. Avec des teneurs moyennes respectives de 0,04±0,01 mg/kg et 0,03±0,00 mg/kg,  
 246 il apparait une différence très significative entre les teneurs moyennes saisonnières (p = 0,0001). La figure 2  
 247 met en exergue la supériorité des teneurs en Hg de la saison pluvieuse par rapport à celles de la saison sèche.

248 Les plus fortes teneurs en As en saison pluvieuse dans les zones de l'aval et du Lac, et des fortes teneurs dans la  
 249 zone de l'embouchure Anié-Mono en saison sèche, montre que cet élément aurait (tout comme le Hg avec des  
 250 teneurs homogènes pour presque tous les sites) des origines diversifiées (naturelle comme anthropique).

251 **Tableau 3** : Teneurs moyennes saisonnières en éléments traces des sédiments.

Paramètres Statistiques	Éléments traces (mg/kg)						
	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg
	<b>Saison pluvieuse (n = 21)</b>						
<b>Minimum</b>	0,03	0,11	0,03	0,48	0,90	0,03	0,02

<b>Maximum</b>	0,08	7,21	19,95	30,21	12,76	0,13	0,05
<b>Moyenne</b>	0,07	2,72	4,70	12,15	6,54	0,08	0,04
<b>Ecart-type</b>	0,02	2,16	6,61	8,20	3,01	0,03	0,01
<b>Saison sèche (n = 21)</b>							
<b>Minimum</b>	0,02	0,17	0,43	0,34	0,53	0,01	0,02
<b>Maximum</b>	0,06	76,70	18,27	24,48	9,76	0,08	0,03
<b>Moyenne</b>	0,04	6,95	8,61	9,14	5,21	0,03	0,03
<b>Ecart-type</b>	0,01	16,35	4,96	5,98	2,65	0,02	0,00
<b>Test t (p)</b>	0,1287	0,2472	0,0362	0,1822	0,1341	0,0000	0,0000

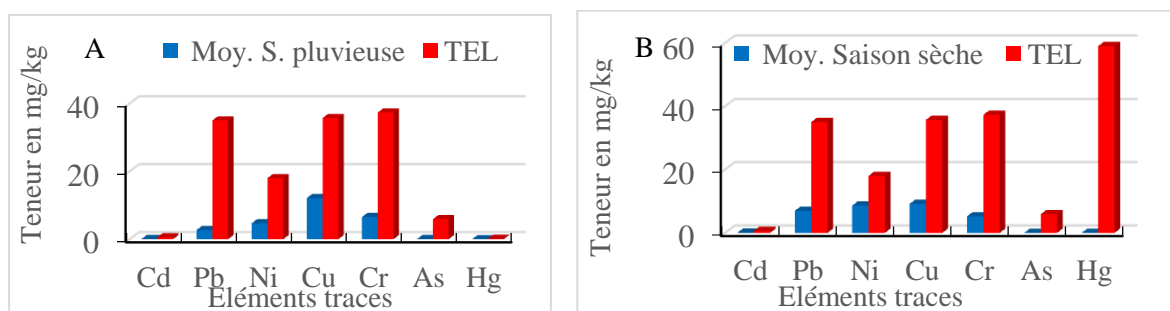
252 **n** : Nombre d'échantillons ; **CV** : Coefficient de variation.

253 Dans l'ensemble, les concentrations des éléments traces des sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de  
254 Nangbéto ont montré globalement des fluctuations spatiales et temporelles parfois très importante ; cela  
255 montre la diversification dans l'apport des éléments traces du Lac. Pour l'ensemble des éléments traces  
256 étudiés, les teneurs moyennes de la majorité (cinq éléments sur sept) obtenues en saison pluvieuse sont  
257 supérieures aux teneurs moyennes obtenues en saison sèche (tableau 3). Ces fortes teneurs en saison  
258 pluvieuse par rapport la saison sèche, obtenues aussi par Rashed dans le Lac Nasser en Egypte, peuvent  
259 s'expliquer par un apport et une sédimentation plus abondante dus aux faibles cours fluviaux en juillet, en  
260 saison pluvieuse et aussi à un caractère récent de pollution en ces éléments traces (Rashed, 2001). En outre, le  
261 pH plus acide des sédiments, en saison sèche, explique le caractère moins pollué en éléments traces de ces  
262 sédiments en cette période, car l'acidité élevée conduit à la solubilité des ET des sédiments entraînant leurs  
263 libérations dans les eaux (Smith *et al* 2003). Les principaux éléments traces connus pour être influencés par le  
264 pH sont l'arsenic, le cadmium, le chrome, le mercure, le plomb et le zinc (Environnement Canada, 2007). Par  
265 ailleurs, les résultats de l'ACP et de corrélation ont montré des corrélations entre le pH, le Cd, et le Ni en saison  
266 pluvieuse ; cela prouve qu'il existe une affinité ou interrelation entre ces paramètres. Les polluants du Lac de  
267 Nangbéto, en effet, proviennent essentiellement des pesticides et engrais utilisés pour la culture du coton, de  
268 la canne à sucre, des cultures céréales ; ils proviennent également des rejets de l'usine de sucrerie d'Anié, des  
269 eaux usées des villes d'Atakpamé, de Sokodé, de Sotouboua et d'Anié. En effet, l'on note la présence de vaste  
270 domaine de canne à sucre à Anié, des cultures des champs de cotonniers et des cultures vivrières dans le bassin  
271 du Mono. Non seulement les activités sont pratiquées principalement en saison pluvieuse mais c'est également  
272 la période de grand drainage des polluants via des eaux de ruissellements vers les affluents du Mono, ensuite  
273 du Mono lui-même vers le Lac. C'est ainsi que l'écosystème du Lac de Nangbéto en saison pluvieuse enregistre  
274 plus de polluants que la saison sèche appauvrie en apport des polluants. Les deux éléments (Pb et Ni) dont les

275 teneurs moyennes de la saison pluvieuse restent inférieures à celles de la saison sèche sont des polluants dont  
 276 l'utilisation est très diversifiée, abondante et très lointaine. Ainsi, ces polluants sont permanents dans le Lac.  
 277 Leurs teneurs sont diluées en saison pluvieuse par augmentation du niveau d'eau et concentrées en saison  
 278 sèche par diminution du niveau d'eau. De plus, en saison sèche, le faible écoulement permet une grande  
 279 sédimentation des sédiments et partant des éléments traces (Ali *et al.*, 2016). Les résultats enregistrés dans  
 280 cette étude, comparés à d'autres, montrent que les teneurs moyennes en Cd, Pb, Ni, Cu et Cr sont inférieures à  
 281 celles obtenues dans le Lac Yilong en Chine qui sont respectivement pour ces éléments de 0,76 ; 53,19 ; 81,42 ;  
 282 57,13 ; 51,57 mg/kg (Baie *et al.*, 2011); dans la Lagune Ebrié en Côte d'Ivoire qui est pour le Cd, le Ni, et le Cu  
 283 respectivement de 2,92 ; 105,3 et de 116,49 mg/kg (Wognin *et al.*, 2017) ; dans le Complexe Lac Togo-Lagune  
 284 d'Aného (Togo) qui sont de 0,60 et 11,38 mg/kg (Ouro-Sama *et al.*, 2021). Les différences de teneurs observées  
 285 entre différentes régions d'étude résultent des types d'activités (agricole, industrielle ou extraction minière)  
 286 pratiquées dans la zone, de l'intensité et de l'étendue de ces activités. Aussi, la nature pétrographique  
 287 traversée par les eaux de ruissellement influence ces teneurs. Les zones liées aux extractions minières ont de  
 288 fortes teneurs en éléments traces que d'autres.

### 289 3-2-2. Qualité des sédiments étudiés en rapport aux normes de qualité des sédiments en éléments traces

290 La figure 3 montre que les teneurs de tous les éléments étudiés du Lac de Nangbéto sont inférieures aux  
 291 normes canadiennes de qualité (TEL: *Threshold Effect Level.* ou en français Teneurs seuils conduisant un effet)  
 292 fixées pour ces différents éléments (CCME, 2001 ; Long *et al.*, 1995), aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison  
 293 sèche L'on déduit de cette évaluation que les sédiments étudiés n'auraient aucun effet néfaste direct sur leur  
 294 biocénose lié aux éléments traces étudiés (CCME, 2001).



296 **Figure 3** : Teneurs moyennes des éléments traces des sédiments en saison pluvieuse (A) et en saison saiche (B)  
 297 par rapport aux normes canadiennes.

298

### 299 3-2-3. Analyse de la matrice de corrélation

300 Les résultats de l'analyse de corrélation de Pearson (Tableau 4) montrent qu'en saison pluvieuse, le pH est  
 301 corrélé positivement au Cd et au Ni ; le Cd est corrélé positivement au Ni, au Cr et au Hg; le Pb corrélé  
 302 positivement au Cr ; enfin le Ni est corrélé positivement au Cr et au Hg. Alors qu'en saison sèche le Pb est  
 303 corrélé positivement à la conductivité (CE) ; le Cu est corrélé positivement au Ni; le Cr est corrélé positivement  
 304 au Ni et au Cu ; le Hg est corrélé positivement corrélé au Cd.

305 **Tableau : 4** Corrélation de Pearson saisonniers des éléments traces et de quelques paramètres physico-  
 306 chimiques des sédiments.

		Saison pluvieuse								
		pH	CE	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg
Saison sèche	pH	1	-0,25	0,70**	-0,10	0,63**	0,06	0,15	0,05	0,07
	CE	-0,30	1	0,05	0,21	0,03	0,03	0,26	-0,41	0,35
	Cd	0,23	-0,13	1	0,13	0,91**	-0,04	0,46*	-0,24	0,62**
	Pb	-0,28	0,48*	0,13	1	0,28	-0,03	0,56**	0,07	0,26
	Ni	-0,45	0,26	-0,21	0,15	1	0,17	0,66**	-0,06	0,53*
	Cu	-0,46	0,34	-0,27	0,35	0,86**	1	0,37	-0,13	-0,19
	Cr	-0,40	0,30	-0,15	0,08	0,95**	0,79**	1	0,14	0,40
	As	-0,17	-0,16	0,41	-0,18	0,12	0,02	0,24	1	-0,38
	Hg	0,25	0,11	0,48*	0,13	-0,41	-0,25	-0,23	0,30	1

307 \*\* La corrélation est significative au niveau 0.01 ; \* La corrélation est significative au niveau 0.05 ; CE :  
 308 Conductivité

309 **3-2-4. Analyse en composantes principales**

310 **Tableau 5 :** Résultats des valeurs propres, pourcentage de variances totales et cumulées.  
 311

	Saison pluvieuse				Saison sèche			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
<b>Valeurs propres</b>	3,23	1,76	1,54	1,17	3,74	1,56	1,49	0,79
<b>% Variance totale</b>	35,90	19,62	17,10	13,05	41,53	17,32	16,60	8,80
<b>Cumule valeur propre</b>	3,23	5,00	6,54	7,71	3,74	5,30	6,79	7,58
<b>% Variance cumulée</b>	35,90	55,53	72,63	85,67	41,53	58,84	75,44	84,24

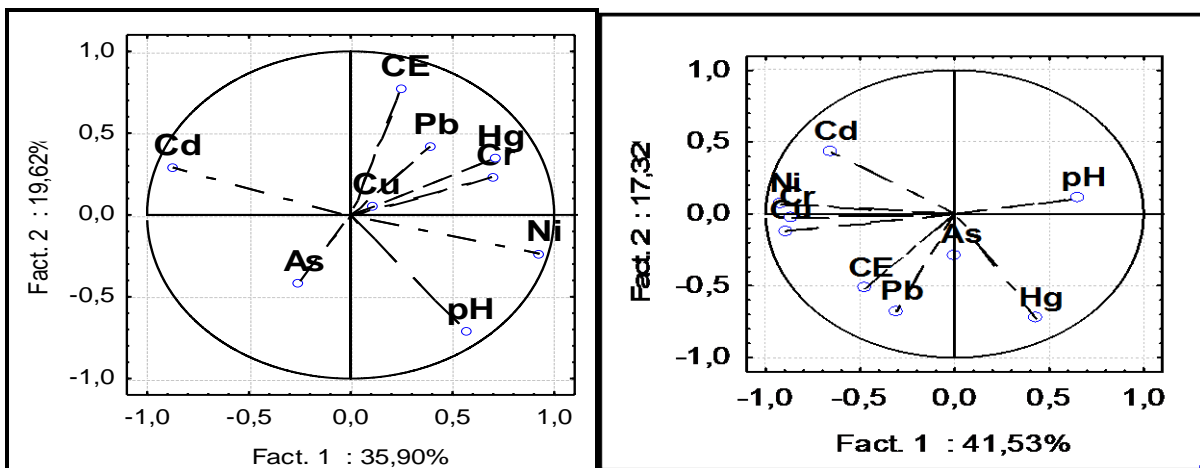
312  
 313 Les résultats des valeurs propres, pourcentage de variances totales et cumulées exprimées (Tableau 5)  
 314 montrent qu'en saison pluvieuse les quatre (4) premiers facteurs donnent 80,86% de la variance cumulée : F1 =

315 35,90% ; F2 = 19,62% ; F3 = 17,10% ; F4 = 13,05% ; alors qu'en saison sèche ils donnent 84,24% de la variance  
 316 totale cumulée dont :  
 317 F1 = 41,53% ; F2 = 17,32% ; F3 = 16,60% ; F4 = 8,80%. Le plan factoriel (F1 x F2) donne 55,53% en saison  
 318 pluvieuse et 58,84% en saison sèche.

319 **Tableau 6** : Coordonnées factorielles des variables saisonnières

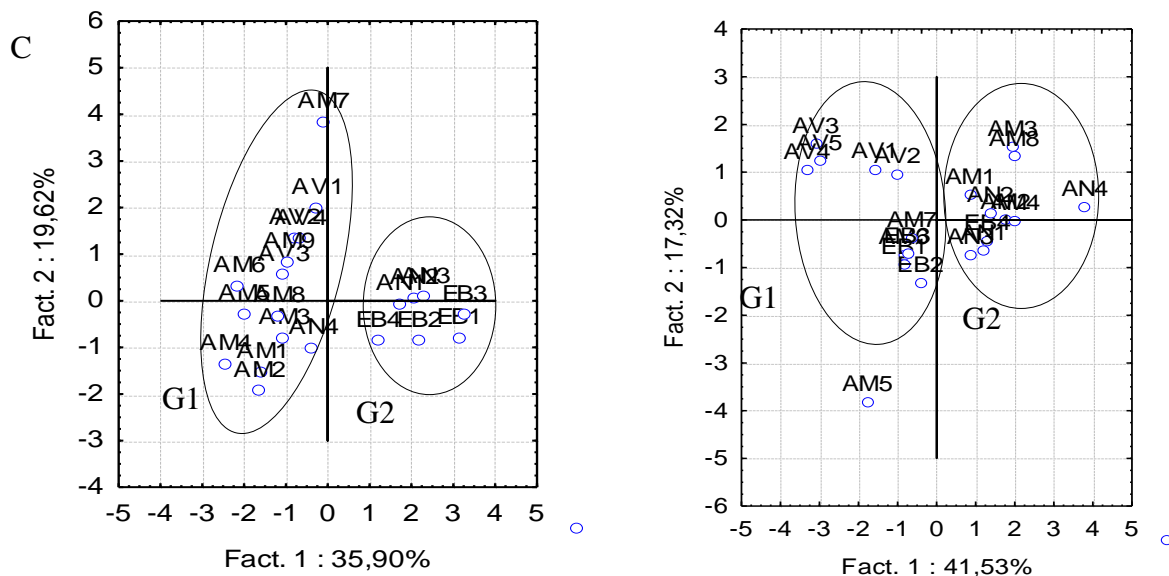
	Saison pluvieuse				Saison Sèche			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
pH	<b>0,57</b>	<b>-0,71</b>	0,09	-0,12	<b>0,65</b>	0,11	0,01	<b>-0,69</b>
CE	0,25	<b>0,77</b>	0,17	-0,12	-0,47	<b>-0,52</b>	0,44	0,07
Cd	<b>-0,87</b>	0,29	-0,35	-0,04	<b>-0,65</b>	0,43	0,32	0,24
Pb	0,40	0,42	<b>-0,51</b>	0,39	-0,31	<b>-0,68</b>	0,44	-0,06
Ni	<b>0,93</b>	-0,24	-0,13	-0,04	<b>-0,92</b>	0,06	-0,26	-0,24
Cu	0,10	0,05	-0,44	<b>-0,87</b>	<b>-0,89</b>	-0,12	-0,09	-0,23
Cr	<b>0,69</b>	0,23	<b>-0,61</b>	-0,05	<b>-0,86</b>	-0,03	-0,37	-0,24
As	-0,25	-0,42	<b>-0,66</b>	0,42	0,00	-0,29	<b>-0,87</b>	0,29
Hg	<b>0,71</b>	0,35	0,32	0,23	0,43	<b>-0,73</b>	-0,19	-0,04

320 La projection des variables (Tableau 6) dans le plan factoriel F1 X F2 est présentée par la figure 11. En saison  
 321 pluvieuse, l'axe F1 (35,90%) figure 4A est défini négativement par le Cd et positivement par le pH, Ni, Cr et le  
 322 Hg. L'axe F2 (19,62%) est défini dans sa partie positive par CE puis dans sa partie négative par le pH. En saison  
 323 sèche (Figure 4B), l'axe F1 (41,53%) est défini dans sa partie positive par le pH et dans sa partie négative par le  
 324 Cd, Ni, Cu, et le Cr. L'axe F2 (17,32%) est défini dans sa partie négative par la CE, le Pb et le Hg.



325





326  
 327 **Figure 7 : Plan factoriel F1 x F2 des variables (A : saison pluvieuse ; B : saison sèche) et des sites**  
 328 **d'échantillonnages (C : saison pluvieuse ; D : saison sèche).**  
 329

330 Les Figures 4C et D présentent la projection des sites d'échantillonnages des sédiments dans le plan factoriel F1  
 331 X F2. Elle dessine deux types de sédiments en saison pluvieuse (figure 4C). Le premier groupe G1 de sédiments  
 332 regroupant majoritairement les sites de la zone du Lac (AM) et de l'aval (AV) du barrage est plus contaminé en  
 333 Cd et en As, moins minéralisées et avec un pH faible. Le deuxième groupe G2 des sédiments est formé des sites  
 334 de la rivière d'Anié (AN) et d'embouchure Anié-Mono (EB). Les sédiments de ce dernier groupe ont un pH qui  
 335 est pratiquement neutre, sont plus minéralisés et ont des teneurs élevées en Ni, Cr, Pb et en Hg. En saison  
 336 sèche (figure 4D), on peut également distinguer deux groupes. Les sédiments du groupe G1 regroupent les sites  
 337 de la zone de l'aval (AV) du barrage. Ces sédiments sont acides et plus contaminés en Cd, Ni, Cr et Cu. Le  
 338 groupe G2 regroupant les sites de la rivière d'Anié (AN) et d'embouchure Anié-Mono (EB) est caractérisé par  
 339 des sédiments moins acides ayant des teneurs plus élevées en Hg, en Pb et en As.

340 **3-3. Evaluation du degré de contamination des sédiments par les éléments traces**

341 **3-3-1. Indice de géo-accumulation (I<sub>géo</sub>)**

342 Les valeurs d'indices de géo-accumulation des éléments traces des sédiments sont consignées dans le tableau  
 343 9.

344 **Tableau 7 : Indices de géo-accumulation saisonnières des éléments traces dans les sédiments.**

Indice de géo-accumulation (I <sub>géo</sub> )	
Saison pluvieuse	Saison sèche

N°	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg
Min	-11,57	-3,37	-10,71	-6,34	-6,98	-7,28	0,76	-2,17	-2,75	-6,87	-6,84	-7,75	-8,86	0,81
Max	-10,16	2,66	-1,33	-0,37	-3,16	-5,16	2,08	-0,59	6,07	-1,46	-0,67	-3,55	-5,86	1,40
Moyenne	-10,46	0,42	-5,72	-2,14	-4,34	-6,01	1,72	-1,11	0,90	-2,88	-2,51	-4,75	-7,40	1,20
Ecart type	0,47	1,97	3,03	1,42	0,94	0,61	0,34	0,51	2,28	1,20	1,36	1,13	0,76	0,28
<b>Val.CT</b>	<b>0,061</b>	<b>0,76</b>	<b>33,5</b>	<b>26</b>	<b>76</b>	<b>3,1</b>	<b>0,008</b>	<b>0,061</b>	<b>0,76</b>	<b>33,5</b>	<b>26</b>	<b>76</b>	<b>3,1</b>	<b>0,008</b>

345 **Val.CT** : Valeurs des Croûtes terrestres en mg/kg (Rudnick et Gao, 2003)

346 En saison pluvieuse comme en saison sèche, les valeurs d'Igéo de tous les sites pour les éléments Cd, Ni, Cu, Cr,  
347 As sont inférieures à 0 indiquant le caractère de non contamination des sédiments en ces éléments. Quant au  
348 Pb, ses valeur d'Igéo moyennes les deux saisons indiquent qu'il est sans contamination à légère contamination  
349 ( $0 \leq I_{geo} < 1$ ) ; le Hg pour les deux saisons est modérément contaminé ( $1 \leq I_{geo} < 2$ ). Il ressort que le Pb est  
350 l'élément qui a plus contaminé les sédiments suivi du mercure.

### 351 3-3-2 Facteur de contamination (FC) et indice moyen de contamination (Im)

352 Les valeurs des facteurs de contamination (FC) et indice moyen de contamination (Im) saisonniers des éléments  
353 traces des sédiments de chaque site, sont consignées dans le tableau 8.

354 **Tableau 8** : FC et Im saisonniers des éléments traces.

Statistiques	Facteur de contamination							
	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg	Im
<b>Saison pluvieuse (n = 21)</b>								
<b>Minimum</b>	0,050	0,003	0,002	0,013	0,024	0,005	0,118	<b>0,054</b>
<b>Maximum</b>	0,133	0,206	1,108	0,846	0,342	0,022	0,294	<b>0,365</b>
<b>Moyenne</b>	0,113	0,078	0,261	0,340	0,175	0,013	0,235	<b>0,164</b>
<b>Ecart-type</b>	0,028	0,062	0,367	0,230	0,081	0,005	0,049	<b>0,087</b>
<b>Saison sèche (n = 21)</b>								
<b>Minimum</b>	0,033	0,005	0,024	0,010	0,014	0,002	0,118	<b>0,039</b>
<b>Maximum</b>	0,100	2,191	1,015	0,686	0,262	0,014	0,176	<b>0,517</b>
<b>Moyenne</b>	0,073	0,198	0,478	0,256	0,140	0,005	0,157	<b>0,183</b>
<b>Ecart-type</b>	0,021	0,467	0,275	0,168	0,071	0,003	0,028	<b>0,106</b>

355  
356 En saison pluvieuse, le tableau 8 montre que toutes les valeurs de FC des sédiments de tous les éléments traces  
357 sont inférieurs à 1 sauf le Ni a enregistré un maximum de 1,11 et une moyenne de 0,26. Donc tous les  
358 sédiments sont faiblement contaminés. Les FC en Cd varient de 0,050 à 0,133 ; ceux du Pb oscillent entre 0,003  
359 et 0,206 ; les FC du Ni partent de 0,002 à 1,108; ceux du Cu sont cadrés entre 0,013 et 0,846 ; ceux du Cr  
360 varient de 0,024 à 0,342 ; ceux de l'As restent entre 0,005 et 0,022 et les FC du Hg vont de 0,118 à 0,294.

361 En saison sèche, les résultats montrent également que toutes les valeurs de FC des sédiments pour tous les  
 362 éléments traces sont inférieures à 1, sauf les éléments Pb et Ni ont des facteurs de contaminations maximums  
 363 respectifs de 2,19 et 1,02. Les moyennes restent toutes inférieures à 1. Tous les sédiments sont donc  
 364 faiblement contaminés. Les FC en cette saison varient de 0,033 à 0,100 pour le Cd; ceux du Pb vont de 0,005 à  
 365 2,191 ; les FC du Ni oscillent entre 0,024 et 1,015 ; ceux du Cu se situent entre 0,010 et 0,686 ; ceux du Cr  
 366 tendent de 0,014 à 0,262 ; ceux d'As vont de 0,002 à 0,014 et enfin les FC du Hg fluctuent entre 0,118 et 0,176.  
 367 En saison pluvieuse, les Im varient de 0,054 à 0,365, alors qu'en saison sèche, ils varient entre 0,039 et 0,517.  
 368 Pour toutes les deux saisons, aucun site n'a un Im supérieur à 2 qui est le seuil d'un début de contamination,  
 369 alors les sédiments étudiés ne souffrent pas de dégradation de qualité métallique.

### 370 3-3-3. Indice de risque écologique (Ri)

371 Les valeurs des facteurs de risque potentiel (ER) et d'indice de risque écologique (Ri) saisonniers des éléments  
 372 traces des sédiments sont consignées dans le tableau 9

373 Tableau 9: Facteurs de risque potentiel (ER) et indice de risque écologique (Ri) saisonniers des sédiments.

Statistiques	ER							Ri
	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg	
<b>Saison Pluvieuse</b>								
<b>Minimum</b>	0,00	0,02	0,01	0,07	0,05	0,05	2,57	<b>4,01</b>
<b>Maximum</b>	4,00	1,03	6,65	4,23	0,68	0,22	6,85	<b>21,02</b>
<b>Moyenne</b>	3,38	0,39	1,57	1,70	0,35	0,13	4,88	<b>10,31</b>
<b>Ecart-type</b>	1,75	0,31	2,20	1,15	0,16	0,05	1,47	<b>5,32</b>
<b>Saison sèche</b>								
<b>Minimum</b>	0,00	0,02	0,14	0,05	0,03	0,02	4,71	<b>8,17</b>
<b>Maximum</b>	3,00	10,96	6,09	3,43	0,52	0,14	7,06	<b>26,52</b>
<b>Moyenne</b>	1,36	0,99	2,87	1,28	0,28	0,05	6,27	<b>13,11</b>
<b>Ecart-type</b>	1,20	2,34	1,65	0,84	0,14	0,03	1,14	<b>4,06</b>

374 Les résultats de l'évaluation de l'indice de risque écologique par rapport à la contamination des sédiments en  
 375 éléments traces montrent les valeurs des facteurs de risque potentiel (Er) qui varient de la plus faible valeur (0)  
 376 pour le Cd à la plus forte valeur (6,85) pour l'As en saison pluvieuse et de la plus faible valeur (0) pour le Cd à la  
 377 plus forte valeur (10,96) pour le Pb en saison sèche. Ces valeurs ont conduit en saison pluvieuse, à la plus forte  
 378 valeur de Ri à 21,02 alors qu'elle est de 26,52 en saison sèche. Ces facteurs de risque potentiel impliquent des  
 379 risques écologiques faibles aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche (Ri < 40) (Hakason, 1980).

### 381 4-Conclusion

382 Les résultats de cette étude montrent que les sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto sont  
 383 acides et moyennement minéralisés. La répartition spatiale et saisonnière des teneurs en éléments traces dans

384 les sédiments révèle une distribution hétérogène. De fortes teneurs dans les zones de la rivière Anié et de  
385 l'embouchure Anié-Mono ; de fortes teneurs en saison pluvieuse qui résultent des activités anthropiques, des  
386 eaux de ruissellement et au lessivage des surfaces agricoles et industrielles. L'évaluation du degré de  
387 contamination des sédiments en éléments traces via l'Igéo, les FC, l'indice moyen de contamination (Im) et  
388 l'indice de risque écologique (Ri) indiquent un risque écologique faible, aussi bien en saison pluvieuse qu'en  
389 saison sèche (Ri < 40). La qualité des sédiments du biotope du Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto est  
390 donc considérée comme acceptable pour la biocénose.

#### 391 **5-Remerciement.**

392 L'étude présente a eu l'appui partiel financière de la compagnie électrique du Bénin (CEB), à laquelle nous  
393 adressons nos profondes gratitude.

#### 394 **6-Références**

- 395 AFNOR. (1993). Qualité des sols. Sols, sédiments, boues de station d'épuration - Mise en solution d'éléments  
396 métalliques en traces (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) par attaques acides. NF X 31-151.
- 397 Ali M. M., Ali M. L., Islam M. S. et Rahman M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and  
398 sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environment Nanotechnology, Monitoring and Management*, **5** : 27-  
399 35, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- 400 Aydin-Onen S., Kucuksezgin F., Kocak F., Açik S. (2014). Assessment of heavy metal contamination in Hediste  
401 diversicolor (O.F. Müller, 1776), *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern  
402 Aegean). *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/2Fs11356-014-4047-5>
- 403 Badawy S. H., Helal M. I. D., Chaudri A. M., Lawlor K. and McGrath S. P. (2002). Soil solid phase controls lead  
404 activity in soil solution, *J Environ. Qual.* **31** :162-67, <https://doi.org/10.2134/jeq2002.1620>
- 405 Bai J., Cui B., Chen B., Zhang K., Deng W., Gao H. et Xiao R. (2011). Spacial distribution ecological assessment of  
406 heavy meatal in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling*,  
407 **222**(2): 301-306, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.002>
- 408 Benguedda-rahah W. (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et  
409 différents maillons de la chaine trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de doctorat, Univ. Tlemcen,  
410 Algérie, 149 p.

411 CCME. (2001). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables.  
412 Updates. In: Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), (Ed.). *Canadian sediment quality*  
413 *guidelines*. Environment Canada, Winnipeg, Canada: 1-5.

414 Chen B., Liang X., Xu W., Huang X. et Li X. (2012). The changes in trace metal contamination over the last  
415 decade in surface sediments of the Pearl River Estuary, South China. *Science of the total environment*,  
416 **439** :141-149,  
417 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.025>

418 Dahri, N., Atoui, A., Ellouze, M., et Abida, H. (2018). Assessment of streambed sediment contamination by  
419 heavy metals: The case of the Gabes Catchment, South-eastern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*. **140**:  
420 29-41, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.033>

421 Djeddi H., Nacereddine S. K., Keddari D., & Afri-Mehennaoui F.-Z. (2018). Teneurs des éléments traces  
422 métalliques Cu, Zn Et Pb des sédiments du barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie) *European Scientific*  
423 *Journal* **14**(15): 269, <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p26>

424 Environnement Canada et ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec,  
425 2007. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention,  
426 dragage et restauration. 39 p.

427 Hakanson L. (1980). Ecological risk index for aquatic pollution control of sediment ecological approach. *Water*  
428 *Research*, **14**(5): 975-1001, <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p269>

429 Hilton J., Davison W. et Ochsenein U. (1985). A mathematical model for analysis of sediment coke data.  
430 *Chemical Geology*, **48**: 281-291, <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7885-2>

431 Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF). (1982). Stratégie d'Aménagement des Eaux

432 Long E.R. MacDonald D. D., Smith S. L. et Calder F. D. (1995). Incidence of adverse biological effects within  
433 ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environment Management*, **19** : 81-97,  
434 <https://doi.org/10.1007/BF02472006>

435 Nadem S., El Baghdadi M., Rais J. et Barakat A. (2015). Evaluation de la contamination en métaux lourds des  
436 sédiments de l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique, Maroc). *J. Mater. Environ. Sci*, **6**(11) : 3338-3345.

437 Ouro-Sama K., Solitoke H. D., Tanouayi G., Lazar I. M., Bran P., Nadejde M., Badassan T. E.-E., Ahoudi H.,  
438 Nyametso A. Y., Gnandi K., Lazar G. O. (2021). Spatial and seasonal variation of trace elements contamination in

439 the sediments of a tropical lagoon system: The Lake Togo-Lagoon of Aného complex (southern Togo).  
440 *Environmental Earth Sciences*, **80**(154):1-22, <https://www.x-mol.com/paperRedirect/1359655914572124160>  
441 Rapport sur les ressources en sols du monde. (2000). Quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre  
442 africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres.  
443 Rashed M.N. (2001). Monitoring of Environmental heavy metals in fish from Nasser Lake, Egypt. *Environment*  
444 *Internationa*, **127**: 27-33, [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00050-2)  
445 Rezaie-Boroon M. H., Gnandi K. et Tomety Mensah K. F. (2011). Presence and distribution of toxic trace  
446 elements in water and sediments of the southern Togo Rivers watershed, West Africa. *Fresenius Environmental*  
447 *Bulletin*, **20**(7a) : 1853-1865.  
448 Rudnick R., Gao S., 2003. Composition of the Continental Crust. *Treatise Geochem* 3: 1-64  
449 Smith W. and Javad H. (2003). *Foundations of Materials Science and Engineering*. Edition McGraw-Hill  
450 Professional. ISBN : 0-07-292194-3, p223.  
451 Toulon et mécanismes contrôlant leur mobilité. Thèse de doctorat en science. Université de Toulon, 292p.  
452 Toure M., N'guessan A. Y., et Konan E. K. (2018). Etude géochimique des sédiments superficiels d'une baie  
453 lagunaire et son impact sur l'environnement : Cas de la baie d'Abouabou (lagune Ebrié; Côte d'Ivoire). *Int. J.*  
454 *Biol. Chem. Sci.* **12**(5): 2371-2380, <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.35>  
455 Traore A., Soro G., Kouadio E. K, Bamba B.S., Oga MS, et Soro N. et Biemi J. (2014). Niveau de contamination en  
456 métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune ghien (Sud-Est de la Cote d'Ivoire. *Afrique*  
457 *Sciences Revue Internationale et Technologie*, **10**(3) : 73-88.  
458 UNESCO. (2008). Programme PPCP : Potential Conflit to Coopération Potent, cas du bassin du Mono.  
459 Wognin A. V., N'guessan Y. M., Assalé F. J. P., Aka A. M., Coulibaly A. S., Monde S. et Aka K. (2017). Les éléments  
460 traces métalliques dans la lagune Ebrié : distribution saisonnière, niveau de contamination et qualité  
461 environnementale des sédiments. *International Journal of Biological and Chemical Science*, **11**(2):911-923,  
462 <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.30>  
463 Yi Y., Yang Z. et Zhand S., (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk  
464 assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environ.*  
465 *Pollut.*, **159**(10): 2575–2585, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>