



**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-03182947v2

**HAL Id: hal-03182947**

**<https://hal.science/hal-03182947v2>**

Preprint submitted on 4 Jun 2021 (v2), 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 : 80, 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

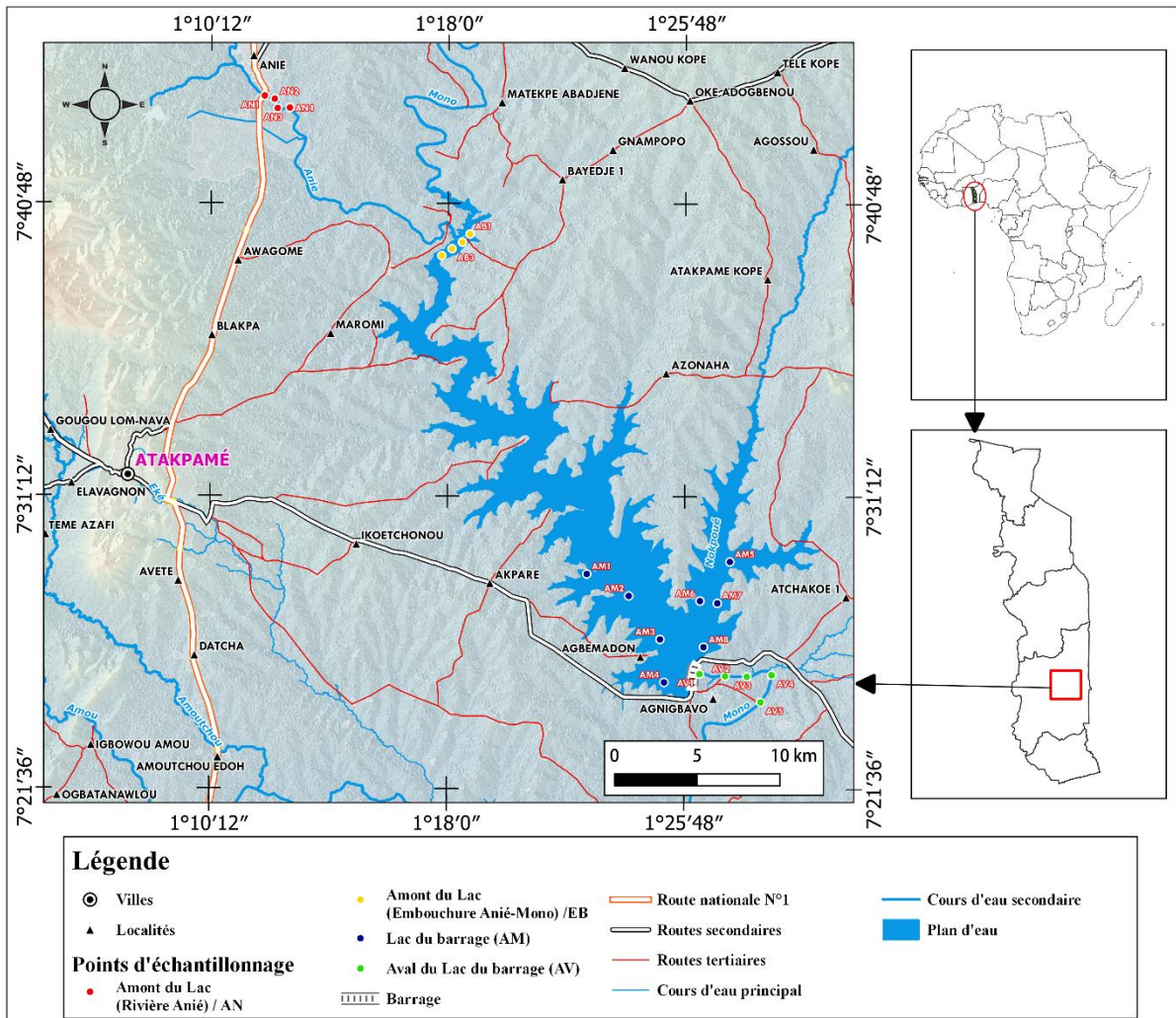
59 suspension (crues, bioturbation) ou par évolution de la spéciation des éléments traces, laquelle va également  
60 jouer sur leur biodisponibilité (Benguedda-**rahal**, 2012). Les sédiments sont alors, singulièrement intéressants  
61 lorsqu'il s'avère indispensable de prendre des mesures adéquates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

69

## 70 **2- Matériel et méthodes**

### 71 **2-1. Zone d'étude**

72 Le Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto (Figure 1), est situé à une quarantaine de kilomètres  
73 d'Atakpamé et à 160 km de Lomé. Il présente un réservoir qui occupe une superficie de 180 km<sup>2</sup>. Construit sur  
74 le fleuve Mono à 180 km de l'embouchure, le Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto est alimenté par le  
75 bassin versant du Mono. Le bassin du Mono, est situé entre les latitudes de 9° 20' Nord à la source et 6° 174'  
76 Nord à l'embouchure dans le Golfe du Bénin ; puis entre 0° 41' et 1° 45' de longitude Est. Le fleuve Mono prend  
77 sa source dans le massif de Tchaoudjo, dans la région centrale du Togo près de la frontière béninoise dans les  
78 monts Alédjo, et s'étire sur environ 528 km de long. Ses principaux affluents sont l'Ogou, l'Atalé et le  
79 Noukpoué, sur la rive gauche et sur la rive droite, on retrouve l'Anié, le Yoro, l'Amou et le Chra (UNESCO,  
80 2008).



81

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

83 **2-2. Echantillonnage, traitement et analyse des sédiments**

84 Les sédiments de 0 à 5 cm de profondeur, ont été raclés par les plongeurs au fond du Lac à l'aide récipient en  
 85 polyéthylène. Vingt et un (21) échantillons de sédiments, sont prélevés **saisonnièrement en saison pluvieuse**  
 86 **(27 juillet 2018)** et **en saison sèche le (22 mars 2019)** aux mêmes sites, mis dans des sachets en polyéthylène,  
 87 étiquetés, placés dans une glacière puis transportés au laboratoire (Djeddi et al, 2018; NF EN ISO 5667-15,  
 88 2009). Ces sédiments ont été séchés à l'air libre au laboratoire à l'abri de la poussière, broyés et tamisés au  
 89 travers à 63 µm (Toure *et al.* 2018). Ensuite, 2g de sédiment sont minéralisés dans des tubes en téflon à chaud  
 90 à 120°C par attaque de diacide : l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>, 65%) et l'acide chlorhydrique (HCl, 36%) dans les  
 91 proportions de 1V/3V (AFNOR NF X31-151, 1993) sur une plaque chauffante. Après refroidissement à l'air  
 92 ambiant, le minéralisé **la solution minéralisée** est récupéré avec de l'eau distillée, puis filtré dans un tube en  
 93 polypropylène selon les normes NF ISO 11466 de Juin 1995 et NF X 31-147 de juillet 1996. Les éléments traces

94 (Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, As et Hg), sont dosés dans les minéralisat **la solution minéralisée** à l'aide d'un Spectromètre  
95 d'Absorption Atomique (SAA) à flamme, de marque Thermo Electron Corporation S, séries. Ce spectromètre est  
96 couplé à un générateur d'hydrures et de vapeurs froides (Thermo Scientific VP100) pour le dosage de l'As avec  
97 flamme et pour le Hg sans flamme. La validité des méthodes analytiques est vérifiée par un contrôle interne via  
98 des blancs de procédure et des solutions étalons.

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

### 104 **2-3. Estimation de l'intensité de la contamination**

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

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

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

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

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

113 Où **I-géo** = Indice de géoaccumulation; **log<sub>2</sub>** = logarithme de base 2; **n** = élément considéré; **C** = concentration  
114 mesurée dans l'échantillon; **B** = fond géochimique; **1.5** = facteur normalisant les fluctuations naturelles du fond  
115 géochimique. Les résultats sont interprétés selon Müller (1969) comme suit : I-géo < 0 (classe 0) : sans  
116 contamination ; 0-1 (1) : sans à légère contamination ; 1-2 (2) : contamination modérée ; 2-3 (3) :  
117 contamination modérée à forte ; 3-4 (4) : forte contamination ; 4-5 (5) : Forte à extrême contamination et I-géo  
118 > 5 (6) traduit une contamination

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

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

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

121 Les concentrations de références, sont celles des normes canadiennes de pollution en éléments traces des  
122 sédiments (CCME, 2001 Long et al., 1995). Les valeurs des FC ont été interprétés selon Hakanson (1980) où :  
123  $FC \leq 1$  indique une faible contamination ;  $1 \leq FC < 3$  est la contamination modérée ;  $3 \leq FC < 6$  est une  
124 contamination importante ; et  $FC \geq 6$  est une très forte contamination.

Eléments traces	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg
SQG (CCME, 2001)	0,6	35	18	35,7	37,3	5,9	0,17

125 **Tableau 1 : Valeurs normes canadiennes de pollution en éléments traces des sédiments**

126 SQG = Sediment Quality Guidelines

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

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

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

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

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

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

133 Où Ri est l'indice de risque écologique ; Tr est le facteur de la réaction toxique ; FC est le facteur de  
134 contamination ; Er est le risque écologique potentiel de chaque métal. Les facteurs de la réaction toxique (Tr)  
135 des éléments traces étudiés (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, et du Ni) selon Hilton et al, (1985) sont respectivement de  
136 10 ; 30 ; 5 ; 2 ; 40 ; 5 ; 6.

137 L'interprétation des valeurs des risques écologiques des sédiments selon Hakanson (1980) sont consignés dans  
138 le tableau 2 suivant :

139 **Tableau 2.** Caractérisation du risque écologique potentiel (Er) et de l'indice de risque écologique (Ri) selon  
140 Hakanson (1980).

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

141

## 142 2-4 Analyses statistiques des donnés

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

## 150 3-Resultats et Discussion

### 151 3-1. Variabilité saisonnière du pH et de la conductivité des sédiments

152 Le tableau 3 présente les valeurs moyennes du pH et de la Conductivité.

153 **Tableau 3** : Paramètres physico-chimiques des sédiments en saison sèche et en saison pluvieuse.

Paramètres	pH		CE ( $\mu\text{m/cm}$ $\mu\text{S/cm}$ )	
	SP	SS	SP	SS
n = 21				
Minimum	5,5	5,5	35,6	23,3
Maximum	7,1	7,0	277	160,7
Moyenne	6,5	6,0	86,08	85,17
Ecart-type	0,6	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	

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

155 Les valeurs de pH vont du 5,49 à 7,13. Les valeurs de pH varient entre 5,5 et 7,1, avec une valeur moyenne de  
 156 6,46  $\pm 0,6$  en saison pluvieuse et de 5,49  $\pm 0,5$  à 6,9  $\pm 0,35$ , avec une moyenne de 5,98  $\pm 0,4$  en saison sèche.  
 157 Il apparait une différence significative entre les moyennes saisonnières des pH ( $t = 3,05$  ;  $p = 0,0040$ ) avec le pH  
 158 le plus élevé en saison pluvieuse. L'on note une répartition homogène entre ces valeurs en saison pluvieuse  
 159 (CV =9,58%) et en saison sèche (CV = 5,93%). L'analyse des valeurs du pH des sédiments étudiés montre qu'elles



160 ont une tendance acide ( $6,546 \pm 0,62$ ) à neutre en saison pluvieuse à cause de la nature des sols de la région et  
161 du socle qui est granitique et gneissique (LCHF, 1982). En effet, les pH des sols en Moyen Mono tout comme à  
162 Glej, localités toutes situées dans le bassin du Mono, oscillent entre 4,3 et 6,7 (Rapport sur les ressources en  
163 sols du monde, 2000) ; ainsi, les sédiments qui résultent de ces roches via toutes les formes d'érosions  
164 expliqueraient ces valeurs acides de pH. En saison sèche, l'on observe des pH purement acides. Ces valeurs de  
165 pH ~~sont~~ **seront** dues, non seulement au caractère acide du sol et de la roche mère comme susmentionné, mais  
166 également à l'absence des eaux pluviales qui diluent l'acidité. Aussi la décomposition des plantes aquatiques et  
167 litières déposées pendant la saison précédente ~~produit~~ **produirait**-elle une fertilisation acidifiante en cette  
168 période de forte chaleur par apport d'azote sous forme d'ammonium (Razaie-Boroon et *al.*, 2011). Ces résultats  
169 sont contraires aux pH observés dans les sédiments du barrage Béni Haroun, Nord-Est de l'Algérie qui varient  
170 de 7,6 à 8,7 (Djeddi, et *al.*, 2018 ). Ces derniers résultats contraires sont dus à l'influence de la mer, à causes de  
171 leurs proximités. Le pH est le facteur le plus important influençant la solubilité et la spéciation du métal et donc  
172 sa toxicité (Badawy et *al.*, 2002). Ainsi le pH acide des sédiments de la présente étude influencerait la solubilité  
173 des éléments traces (ET) présents.

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

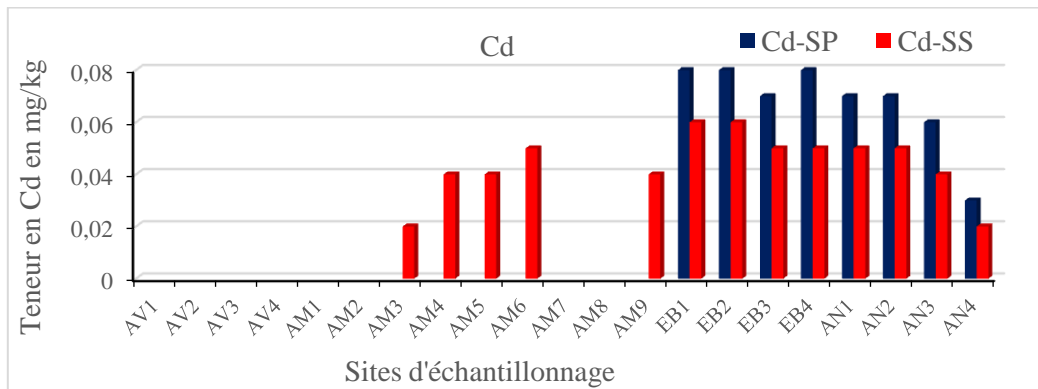
### 183 **3-2. Teneurs des éléments traces dans les sédiments**

#### 184 **3-2-1. Distribution saisonnières des éléments traces dans les sédiments**

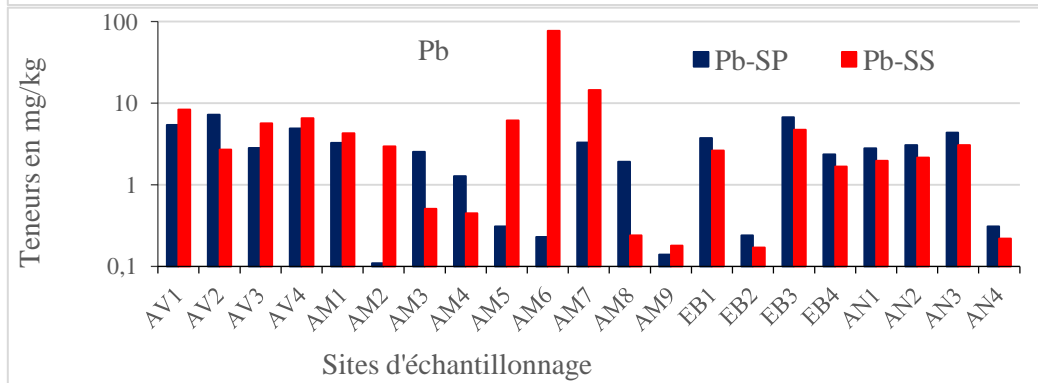
185 Les concentrations des éléments traces des sédiments (figure 2) affichent des fluctuations saisonnières  
186 irrégulières. Les concentrations du Cd varient de 0,03 à 0,08 mg/kg et de 0,02 à 0,06 mg/kg respectivement en  
187 saison pluvieuse et en saison sèche avec des moyennes respectives de  $0,07 \pm 0,02$  mg/Kg et  $0,04 \pm 0,01$  mg/kg  
188 (Tableau4). Par ailleurs, les teneurs des différents sites en saison pluvieuse comme en saison sèches, sont

189 homogènes (CV = 24,73 ; 28,76%). En saison pluvieuse, les sites, enregistrent des teneurs plus élevées qu'en  
 190 saison sèche. La variation intersites montre que les sites de l'embouchure Anié-Mono (EB) et de la rivière Anié  
 191 (AN) en saison pluvieuse, avaient de fortes teneurs alors que les sites du Lac du barrage (AM) et en aval du  
 192 barrage AV), avaient des teneurs inférieures à la limite de détection (0,0005 mg/l).

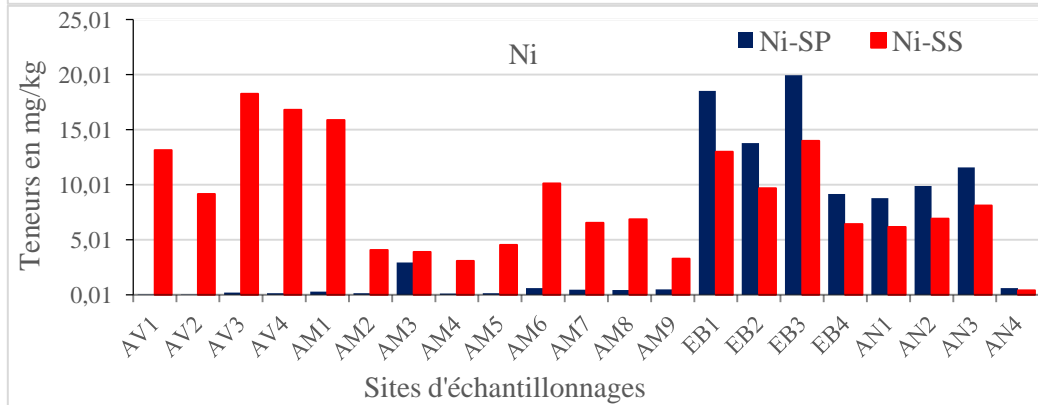
193



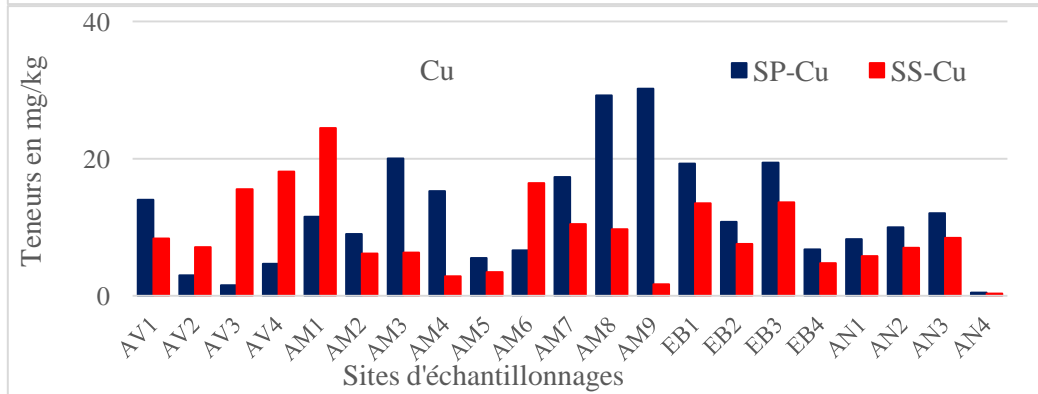
194

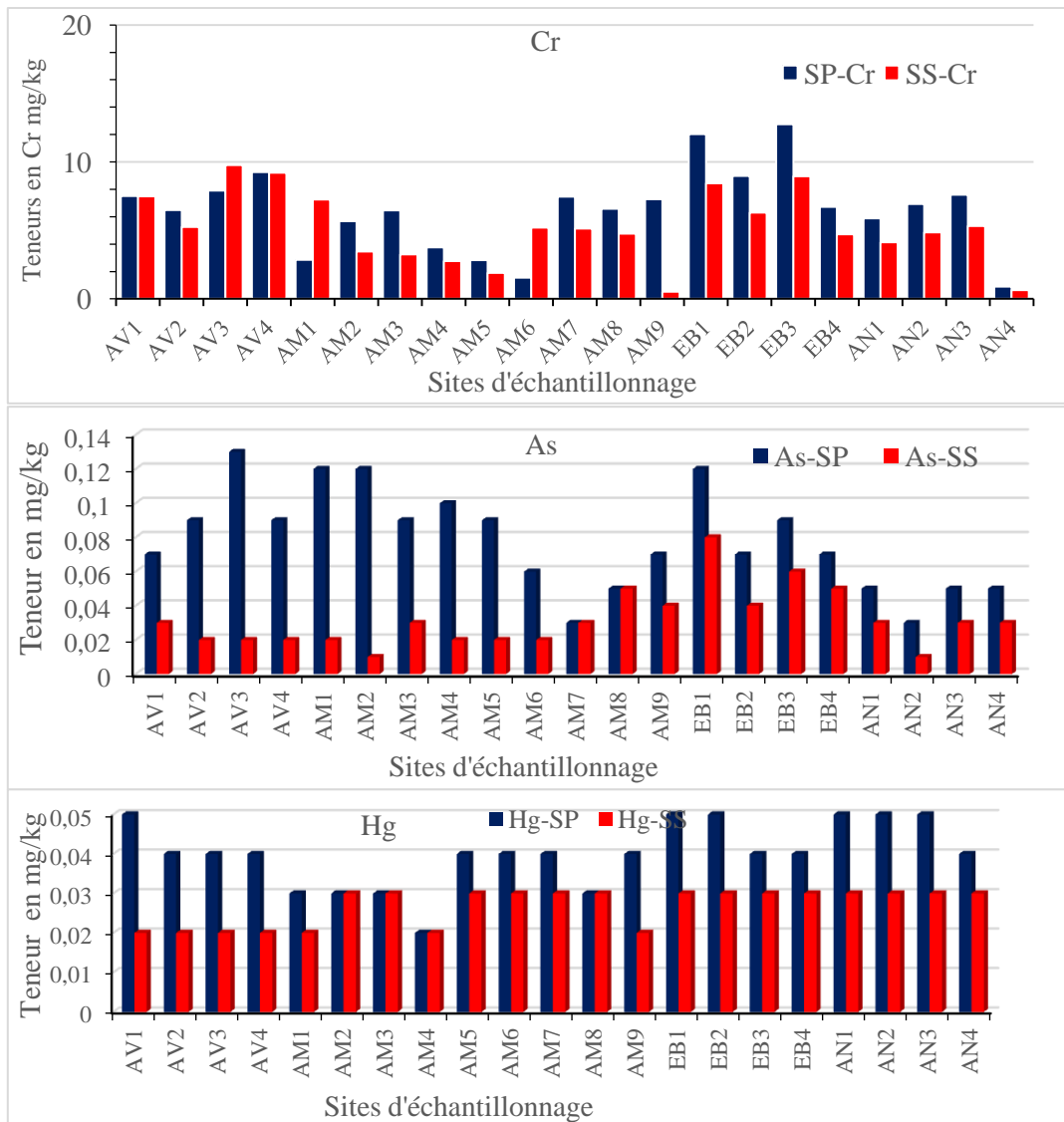


195



196





197

198

199

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

201 En saison sèche, alors que quelques sites du Lac du barrage (AM) et les sites d'embouchure Anié-Mono (EB) et  
 202 ceux de la rivière Anié AN) ont enregistré des teneurs en cadmium, les sites d'aval avaient des teneurs en  
 203 dessous de détection. Les fortes teneurs du Cd des sites de l'embouchure Anié-Mono et de la rivière Anié en  
 204 saison pluvieuse et aussi en saison sèche et les valeurs nulles **inférieures à la limite de détection** en amont et  
 205 en aval montrent que la zone d'Anié en amont du Lac et de l'embouchure Anié-Mono avec leurs activités  
 206 anthropiques jouent un rôle prépondérant dans la pollution du Lac en Cd. En effet, l'on note la présence de  
 207 l'industrie de sucrerie d'Anié et ses vastes champs de cannes à sucre, les apports des effluents des grandes  
 208 villes traversées par le Mono et des résidus des intrants agricoles.

209 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  
 210 (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.

211 Il n'apparaît aucune différence entre les valeurs moyennes en Pb ( $p = 0,2472$ ) (tableau 3). Dans cette figure 2,  
212 l'on relève, 57,14% (12/21) des sites de la saison pluvieuse ont des teneurs en Pb supérieures à celles de la  
213 saison sèche. Les sites de l'aval (AV) et de la rivière Anié (AN) ont chacun des teneurs plus ou moins homogènes  
214 par rapport à ceux du Lac du barrage (AM) qui sont très hétérogènes. Cette dernière zone a enregistré les plus  
215 fortes teneurs en saison sèche. L'homogénéité des valeurs des teneurs du Pb des sites de l'aval et de l'amont  
216 dans la zone de l'Anié et sans aucune variation particulière exprime l'origine diversifiée de pollution de cet  
217 élément.

218 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  
219 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  
220 (Tableau 4). Il apparaît une différence significative entre les teneurs moyennes saisonnières ( $p = 0,0362$ ). La  
221 figure 2 met en exergue la supériorité des teneurs moyennes en Ni de la saison pluvieuse par rapport à celles  
222 de la saison sèche dans la zone rivière Anié (AN) et dans les sites de l'embouchure (EB). Mais dans les zones du  
223 Lac (AM) et de l'aval du barrage (AV), ce sont plutôt les teneurs en Ni en saison sèche qui sont largement  
224 supérieures à celles de la saison pluvieuse quasi inexistantes. Les teneurs des sites de l'embouchure Anié-Mono  
225 et de la rivière d'Anié ont des concentrations plus fortes que celles du Lac et aval en saison pluvieuse. En saison  
226 sèche, les teneurs de la zone de l'aval sont supérieures à celles des autres zones.

227 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,  
228 avec des moyennes saisonnières respectives de  $12,15 \pm 8,20$  mg/kg et  $9,14 \pm 5,98$  mg/kg. Aucune différence  
229 significative ne se dégage entre les teneurs moyennes saisonnières du Cu ( $p = 0,1822$ ). La figure 2 montre que  
230 71,43% (15/21) des sites ont des teneurs moyennes en saison pluvieuse supérieures à celles de la saison sèche.  
231 En saison pluvieuse, les fortes concentrations sont observées dans le Lac alors qu'en saison sèche, ce sont des  
232 sites de l'aval qui enregistrent des fortes concentrations.

233 Les teneurs en Cr varient de 0,90 à 12,76 mg/kg en saison pluvieuse alors qu'en saison sèche ces teneurs  
234 varient de 0,53 à 9,76 mg/kg. Les teneurs moyennes de la saison pluvieuse et sèche sont respectivement de  
235  $6,54 \pm 3,01$  mg/kg et  $5,21 \pm 2,65$  mg/kg. Aucune différence significative ne se dégage de ces valeurs moyennes  
236 saisonnières ( $p = 0,1341$ ). La figure 2 montre que 80,95 % (17/21) des sites ont des teneurs moyennes en Cr en  
237 saison pluvieuse plus fortes que celles de la saison sèche. En saison pluvieuses, ce sont des sites de  
238 l'embouchure Anié-Mono qui ont enregistré les plus fortes concentrations moyennes alors qu'en saison sèche  
239 ce sont des sites de l'aval qui se distinguent par les plus fortes teneurs.

240 La supériorité des teneurs moyennes en Ni, Cu, Cr des sites de l’embouchure Anié-Mono et de la rivière d’Anié  
 241 sur celles du Lac et de l’aval du barrage en saison pluvieuse prouve une fois encore que les Zones de l’amont du  
 242 Lac (zone d’Anié et de l’embouchure Anié-Mono) sont des **zones de sources** greniers des polluants pour le Lac.  
 243 En saison sèche, ces éléments vont être accumulés dans le Lac du barrage ou en aval. Cela explique parfois des  
 244 teneurs élevées en aval et dans le Lac en saison sèche par rapport à la zone de la rivière Anié et de  
 245 l’embouchure Anié-Mono.

246 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  
 247 saison sèche, avec des moyennes respectives de 0,08±0,03mg/kg et 0,03±0,02 mg/kg. Ces teneurs moyennes  
 248 saisonnières présentent une différence significative (p = 0,0001). Les sites ont des teneurs moyennes en As plus  
 249 élevées en saison pluvieuse qu’en saison sèche. Les plus fortes teneurs en saison pluvieuse sont localisées dans  
 250 les zones Aval et dans le Lac alors qu’en saison sèche, c’est la zone de l’embouchure Anié-Mono qui présente  
 251 les fortes teneurs moyennes en As (Figure 2).

252 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  
 253 pluvieuse et en saison sèche. Avec des teneurs moyennes respectives de 0,04±0,01 mg/kg et 0,03±0,00 mg/kg,  
 254 il apparait une différence très significative entre les teneurs moyennes saisonnières (p = 0,0001). La figure 2  
 255 met en exergue la supériorité des teneurs en Hg de la saison pluvieuse par rapport à celles de la saison sèche.

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

259 **Tableau 4 :** Teneurs moyennes saisonnières en éléments traces des sédiments.

Paramètres	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

---

LD(mg/l)	0,0005	0,01	0,004	0,001	0,002	0,14	0,17
----------	--------	------	-------	-------	-------	------	------

---

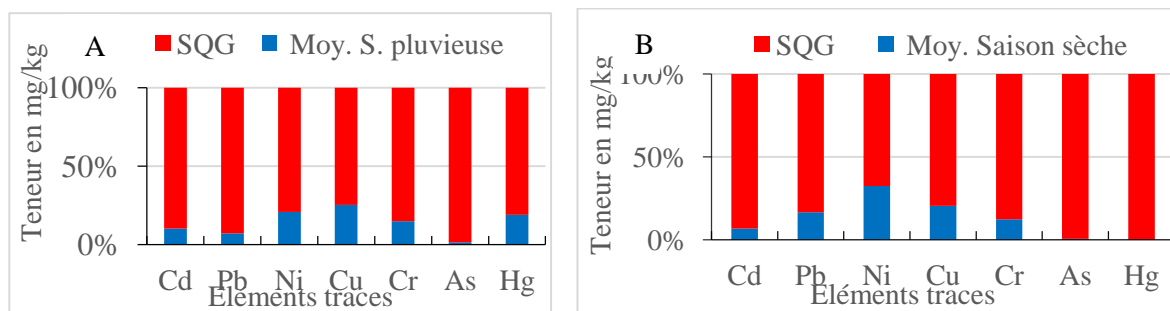
260 n : Nombre d'échantillons ; CV : Coefficient de variation ; LD : limites de détection.

261 Dans l'ensemble, les concentrations des éléments traces des sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de  
262 Nangbéto ont montré globalement des fluctuations spatiales et temporelles parfois très importantes ; cela  
263 montre la diversification dans l'apport des éléments traces du Lac. Pour l'ensemble des éléments traces  
264 étudiés, les teneurs moyennes de la majorité (cinq éléments sur sept) obtenues en saison pluvieuse sont  
265 supérieures aux teneurs moyennes obtenues en saison sèche (tableau 4). Ces fortes teneurs en saison  
266 pluvieuse par rapport la saison sèche, obtenues aussi par Rashed dans le Lac Nasser en Egypte, peuvent  
267 s'expliquer par un apport et une sédimentation plus abondante dus aux faibles cours fluviaux en juillet, en  
268 saison pluvieuse et aussi à un caractère récent de pollution en ces éléments traces (Rashed, 2001). En outre, le  
269 pH plus acide des sédiments, en saison sèche, explique le caractère moins pollué en éléments traces de ces  
270 sédiments en cette période, car l'acidité élevée conduit à la solubilité des ET des sédiments entraînant leurs  
271 libérations dans les eaux (Smith *et al* 2003). Les principaux éléments traces connus pour être influencés par le  
272 pH sont l'arsenic, le cadmium, le chrome, le mercure, le plomb et le zinc (Environnement Canada, 2007). Par  
273 ailleurs, les résultats de l'ACP et de corrélation ont montré des corrélations entre le pH, le Cd, et le Ni en saison  
274 pluvieuse ; cela prouve indique qu'il existe une affinité ou interrelation entre ces paramètres. Les polluants du  
275 Lac de Nangbéto, en effet, proviennent essentiellement des pesticides et engrais utilisés pour la culture du  
276 coton, de la canne à sucre, des cultures céréales ; ~~ils proviennent également~~ et aussi des rejets de l'usine de  
277 sucrerie d'Anié, des eaux usées des villes d'Atakpamé, de Sokodé, de Sotouboua et d'Anié. En effet, l'on note la  
278 présence de vaste domaine de canne à sucre à Anié, des cultures des champs de cotonniers et des cultures  
279 vivrières dans le bassin du Mono. Non seulement les activités sont pratiquées principalement en saison  
280 pluvieuse mais c'est également la période de grand drainage des polluants via des eaux de ruissellements vers  
281 les affluents du Mono, ensuite du Mono lui-même vers le Lac. C'est ainsi que l'écosystème du Lac de Nangbéto  
282 en saison pluvieuse enregistre plus de polluants que la saison sèche appauvrie en apport des polluants. Les  
283 deux éléments (Pb et Ni) dont les teneurs moyennes de la saison pluvieuse restent inférieures à celles de la  
284 saison sèche sont des polluants dont l'utilisation est très diversifiée, abondante et très lointaine. Ainsi, ces  
285 polluants sont permanents dans le Lac. Leurs teneurs sont diluées en saison pluvieuse par augmentation du  
286 niveau d'eau et concentrées en saison sèche par diminution du niveau d'eau. De plus, en saison sèche, le faible  
287 écoulement permet une grande sédimentation des sédiments et partant des éléments traces (Ali *et al.*, 2016).

288 Les résultats enregistrés dans cette étude, comparés à d'autres, montrent que les teneurs moyennes en Cd, Pb,  
 289 Ni, Cu et Cr sont inférieures à celles obtenues dans le Lac Yilong en Chine qui sont respectivement pour ces  
 290 éléments de 0,76 ; 53,19 ; 81,42 ; 57,13 ; 51,57 mg/kg (Baie *et al.*, 2011); dans la Lagune Ebrié en Côte d'Ivoire  
 291 qui est pour le Cd, le Ni, et le Cu respectivement de 2,92 ; 105,3 et de 116,49 mg/kg (Wognin *et al.*, 2017) ; dans  
 292 le Complexe Lac Togo-Lagune d'Aného (Togo) qui sont de 0,60 et 11,38 mg/kg (Ouro-Sama *et al.*, 2021). Les  
 293 différences de teneurs observées des **éléments traces étudiés** entre différentes régions d'étude résultent des  
 294 types d'activités (agricole, industrielle ou extraction minière) pratiquées dans la zone, de l'intensité et de  
 295 l'étendue de ces activités. Aussi, la nature pétrographique traversée par les eaux de ruissellement influence ces  
 296 teneurs. Les zones liées aux extractions minières ont de fortes teneurs en éléments traces que d'autres.

### 297 3-2-2. Qualité des sédiments étudiés en rapport aux normes de qualité des sédiments en éléments traces

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



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

### 309 3-2-3. Analyse de la matrice de corrélation

310 Les résultats de l'analyse de corrélation de Pearson (Tableau 4) montrent qu'en saison pluvieuse, le pH est  
 311 corrélé positivement au Cd et au Ni ; le Cd est corrélé positivement au Ni, au Cr et au Hg; le Pb corrélé  
 312 positivement au Cr ; enfin le Ni est corrélé positivement au Cr et au Hg. Alors qu'en saison sèche le Pb est

313 corrélé positivement à la conductivité (CE) ; le Cu est corrélé positivement au Ni; le Cr est corrélé positivement  
 314 au Ni et au Cu ; le Hg est corrélé positivement corrélé au Cd.

315 **Tableau : 4** Corrélations de Pearson saisonnières des éléments traces et de quelques paramètres physico-  
 316 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

317 \*\* La corrélation est significative au niveau 0.01 ; \* La corrélation est significative au niveau 0.05 ; CE :

318 Conductivité

319 **3-2- 3. Analyse en composantes principales**

320

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

	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>Cumul des valeurs propres</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

322

323 Les résultats des valeurs propres, pourcentage de variances totales et cumulées exprimées (Tableau 5)

324 montrent qu'en saison pluvieuse les quatre (4) premiers facteurs donnent 80,86% de la variance cumulée : F1 =

325 35,90% ; F2 = 19,62% ; F3 = 17,10% ; F4 = 13,05% ; alors qu'en saison sèche ils donnent 84,24% de la variance

326 totale cumulée dont :

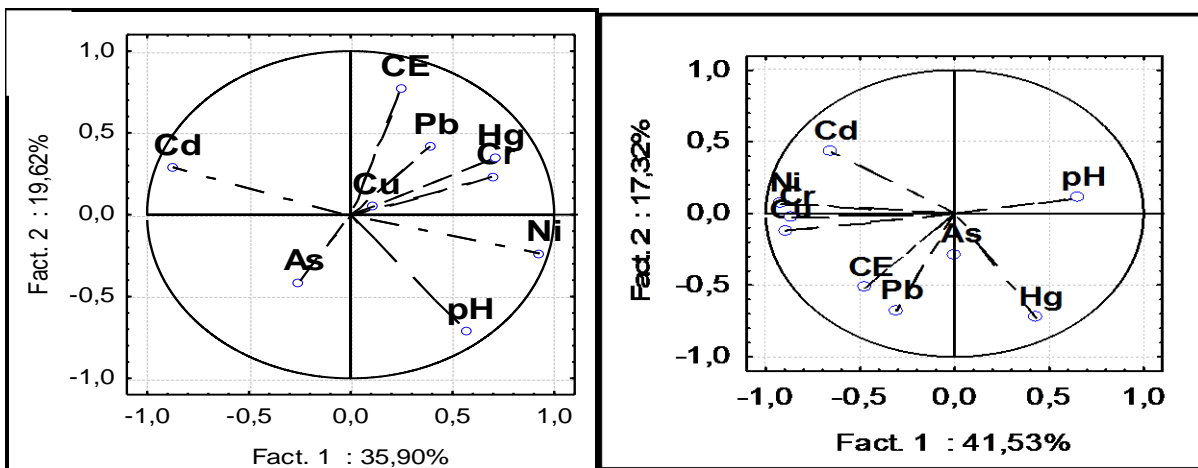


327 F1 = 41,53% ; F2 = 17,32% ; F3 = 16,60% ; F4 = 8,80%. Le plan factoriel (F1 x F2) donne 55,53% en saison  
 328 pluvieuse et 58,84% en saison sèche.

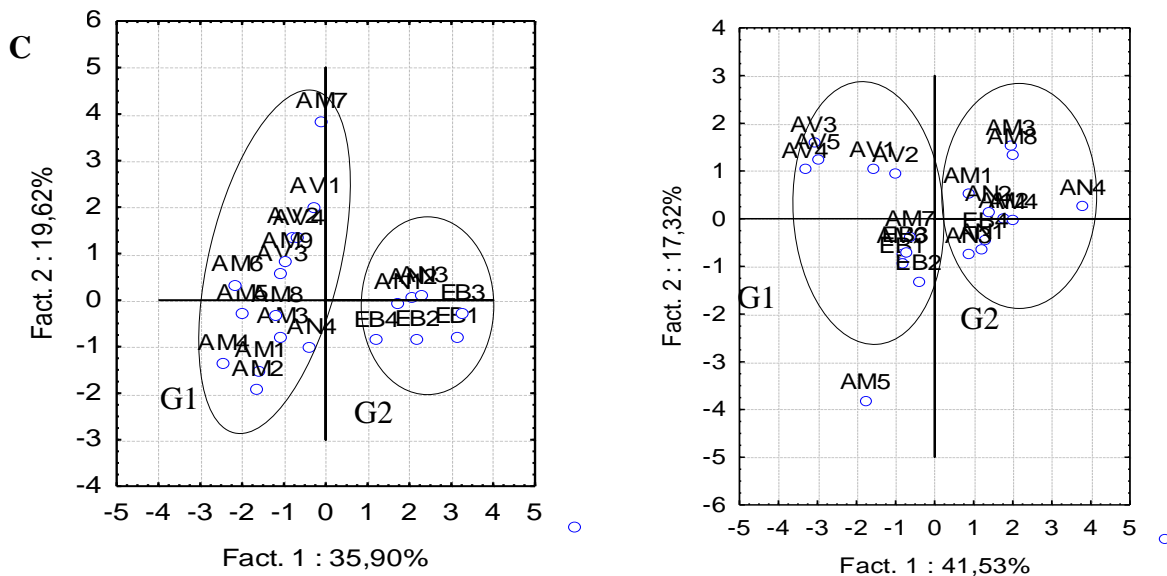
329 **Tableau 6** : Coordonnées factorielles des variables saisonnières

	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

330 La projection des variables (Tableau 6) dans le plan factoriel F1 X F2 est présentée par la figure 4. En saison  
 331 pluvieuse, l'axe F1 (35,90%) figure 4A est défini négativement par le Cd et positivement par le pH, Ni, Cr et le  
 332 Hg. L'axe F2 (19,62%) est défini dans sa partie positive par CE puis dans sa partie négative par le pH. En saison  
 333 sèche (Figure 4B), l'axe F1 (41,53%) est défini dans sa partie positive par le pH et dans sa partie négative par le  
 334 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.



335



336  
 337 **Figure 7** : Plan factoriel F1 x F2 des variables (A : saison pluvieuse ; B : saison sèche) et des sites  
 338 d'échantillonnages (C : saison pluvieuse ; D : saison sèche).  
 339

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

350 **3-3. Evaluation du degré de contamination des sédiments par les éléments traces**

351 **3-3-1. Indice de géo-accumulation (I<sub>géo</sub>)**

352 Les valeurs d'indices de géo-accumulation des éléments traces des sédiments sont consignées dans le tableau  
 353 6.

354 **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>

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

356 En saison pluvieuse comme en saison sèche, les valeurs d'Igéo de tous les sites pour les éléments Cd, Ni, Cu, Cr,

357 As sont inférieures à 0 indiquant le caractère de non contamination des sédiments en ces éléments. Quant au

358 Pb, ses valeur d'Igéo moyennes les deux saisons indiquent qu'il est sans contamination à légère contamination

359 ( $0 \leq I_{geo} < 1$ ) ; le Hg pour les deux saisons est modérément contaminé ( $1 \leq I_{geo} < 2$ ). Il ressort que le Pb est

360 l'élément qui a plus contaminé les sédiments suivi du mercure.

### 361 3-3-2 Facteur de contamination (FC) et indice moyen de contamination (Im)

362 Les valeurs des facteurs de contamination (FC) et indice moyen de contamination (Im) saisonniers des éléments

363 traces des sédiments de chaque site, sont consignées dans le tableau 8.

364 **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>

365

366 En saison pluvieuse, le tableau 8 montre que toutes les valeurs de FC des sédiments de tous les éléments traces

367 sont inférieurs à 1 ~~sauf le Ni a enregistré un maximum de~~ **sauf le Ni ayant enregistré un maximum de** 1,11 et

368 une moyenne de 0,26. Donc tous les sédiments sont faiblement contaminés. Les FC en Cd varient de 0,050 à

369 0,133 ; ceux du Pb oscillent entre 0,003 et 0,206 ; les FC du Ni partent de 0,002 à 1,108; ceux du Cu sont cadrés

370 entre 0,013 et 0,846 ; ceux du Cr varient de 0,024 à 0,342 ; ceux de l'As restent entre 0,005 et 0,022 et les FC  
 371 du Hg vont de 0,118 à 0,294.

372 En saison sèche, les résultats montrent également que toutes les valeurs de FC des sédiments pour tous les  
 373 éléments traces sont inférieurs à 1, sauf les éléments Pb et Ni ont des facteurs de contaminations maximums  
 374 respectifs de 2,19 et 1,02. Les moyennes restent toutes inférieures à 1. Tous les sédiments sont donc  
 375 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  
 376 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  
 377 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.

378 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.  
 379 Pour toutes les deux saisons, aucun site n'a un Im supérieur à 2 qui est le seuil d'un début de contamination,  
 380 alors les sédiments étudiés ne souffrent pas de dégradation de qualité métallique.

### 381 3-3-3. Indice de risque écologique (Ri)

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

384 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>

385 Les résultats de l'évaluation de l'indice de risque écologique par rapport à la contamination des sédiments en  
 386 éléments traces montrent les valeurs des facteurs de risque potentiel (Er) qui varient de la plus faible valeur (0)  
 387 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  
 388 plus forte valeur (10,96) pour le Pb en saison sèche. Ces valeurs ont conduit en saison pluvieuse, à la plus forte  
 389 valeur de Ri à 21,02 alors qu'elle est de 26,52 en saison sèche. Ces facteurs de risque potentiel impliquent des  
 390 risques écologiques faibles aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche (Ri < 40) (Hakason, 1980).

### 392 4-Conclusion

393 Les résultats de cette étude montrent que les sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto sont  
394 acides et moyennement minéralisés ont souvent une tendance à l'acidité et sont le plus souvent moyennement  
395 minéralisés. La répartition spatiale et saisonnière des teneurs en éléments traces dans les sédiments révèle une  
396 distribution hétérogène. De fortes teneurs dans les zones de la rivière Anié et de l'embouchure Anié-Mono ; de  
397 fortes teneurs en saison pluvieuse qui résultent des activités anthropiques, des eaux de ruissellement et au  
398 lessivage des surfaces agricoles et industrielles. L'évaluation du degré de contamination des sédiments en  
399 éléments traces via l'Igéo, les FC, l'indice moyen de contamination (Im) et l'indice de risque écologique (Ri)  
400 indiquent un risque écologique faible, aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche (Ri < 40). En se  
401 limitant à l'étude des éléments traces de la présente étude, la qualité des sédiments du biotope du Lac du  
402 barrage hydroélectrique de Nangbéto est donc considérée comme acceptable pour la biocénose. Cependant  
403 l'étude présente évalue le risque pour chaque polluant pris indépendamment. Du coup, on ne prend pas en  
404 compte l'effet "cocktail" lié à la présence d'un mélange de polluants dans les sédiments tels que les HAP, les  
405 solvants chlorés, les pesticides ou les résidus pharmaceutiques...

#### 406 5-Remerciement.

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

#### 409 6-Références

- 410 AFNOR. (1993). Qualité des sols. Sols, sédiments, boues de station d'épuration - Mise en solution d'éléments  
411 métalliques en traces (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) par attaques acides. NF X 31-151.
- 412 Ali M. M., Ali M. L., Islam M. S. et Rahman M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and  
413 sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environment Nanotechnology, Monitoring and Management*, **5** : 27-  
414 35, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- 415 Aydin-Onen S., Kucuksezgin F., Kocak F., Açik S. (2014). Assessment of heavy metal contamination in Hediste  
416 diversicolor (O.F. Müller, 1776), *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern  
417 Aegean). *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/2Fs11356-014-4047-5>
- 418 Badawy S. H., Helal M. I. D., Chaudri A. M., Lawlor K. and McGrath S. P. (2002). Soil solid phase controls lead  
419 activity in soil solution, *J Environ. Qual.* **31** :162-67, <https://doi.org/10.2134/jeq2002.1620>

420 Bai J., Cui B., Chen B., Zhang K., Deng W., Gao H. et Xiao R. (2011). Spatial distribution ecological assessment of  
421 heavy metal in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling*,  
422 **222**(2): 301-306, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.002>

423 Benguedda-rahah W. (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et  
424 différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de doctorat, Univ. Tlemcen,  
425 Algérie, 149 p.

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

429 Chen B., Liang X., Xu W., Huang X. et Li X. (2012). The changes in trace metal contamination over the last  
430 decade in surface sediments of the Pearl River Estuary, South China. *Science of the total environment*,  
431 **439** :141-149,  
432 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.025>

433 Dahri, N., Atoui, A., Ellouze, M., et Abida, H. (2018). Assessment of streambed sediment contamination by  
434 heavy metals: The case of the Gabes Catchment, South-eastern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*. **140**:  
435 29-41, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.033>

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

439 Environnement Canada et ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec,  
440 2007. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention,  
441 dragage et restauration. 39 p.

442 ~~Hakanson L. (1980). Ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. of~~  
443 ~~sediment ecological approach. *Water Research*, **14**(5): 975-1001,~~  
444 ~~<https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p269>~~ **Hakanson L. (1980). An ecological risk index aquatic pollution**  
445 **control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14:975-1001.**  
446 **[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)**

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

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

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

453 Müller G. 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, **2**:  
454 108-118.

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

457 Ouro-Sama K., Solitoke H. D., Tanouayi G., Lazar I. M., Bran P., Nadejde M., Badassan T. E.-E., Ahoudi H.,  
458 Nyametso A. Y., Gnandi K., Lazar G. O. (2021). Spatial and seasonal variation of trace elements contamination in  
459 the sediments of a tropical lagoon system: The Lake Togo-Lagoon of Aného complex (southern Togo).  
460 *Environmental Earth Sciences*, **80**(154):1-22, <https://www.x-mol.com/paperRedirect/1359655914572124160>

461 Rapport sur les ressources en sols du monde. (2000). Quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre  
462 africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres.

463 Rashed M.N. (2001). Monitoring of Environmental heavy metals in fish from Nasser Lake, Egypt. *Environment*  
464 *Internationa*, **1** **27**: 27-33, [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00050-2)

465 Rezaie-Boroon M. H., Gnandi K. et Tomety Mensah K. F. (2011). Presence and distribution of toxic trace  
466 elements in water and sediments of the southern Togo Rivers watershed, West Africa. *Fresenius Environmental*  
467 *Bulletin*, **20**(7a) : 1853-1865.

468 Rudnick R., Gao S., 2003. Composition of the Continental Crust. *Treatise Geochem* 3: 1-64

469 Smith W. and Javad H. (2003). *Foundations of Materials Science and Engineering*. Edition McGraw-Hill  
470 Professional. ISBN : 0-07-292194-3, p223.

471 ~~Toulon et mécanismes contrôlant leur mobilité. Thèse de doctorat en science. Université de Toulon, 292p.~~

472 Toure M., N'guessan A. Y., et Konan E. K. (2018). Etude géochimique des sédiments superficiels d'une baie  
473 lagunaire et son impact sur l'environnement : Cas de la baie d'Abouabou (lagune Ebrié; Côte d'Ivoire). *Int. J.*  
474 *Biol. Chem. Sci.* **12**(5): 2371-2380, <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.35>

475 Traore A., Soro G., Kouadio E. K, Bamba B.S., Oga MS, et Soro N. et Biemi J. (2014). Niveau de contamination en  
476 métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune ghien (Sud-Est de la Cote d'Ivoire. Afrique  
477 *Sciences Revue Internationale et Technologie*, **10**(3) : 73-88.

478 UNESCO. (2008). Programme PPCP : Potential Conflit to Coopération Potent, cas du bassin du Mono.

479 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  
480 traces métalliques dans la lagune Ebrié : distribution saisonnière, niveau de contamination et qualité  
481 environnementale des sédiments. *International Journal of Biological and Chemical Science*, **11**(2):911-923,  
482 <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.30>

483 Yi Y., Yang Z. et Zhand S., (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk  
484 assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environ.*  
485 *Pollut.*, **159**(10): 2575–2585, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>