



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-03182947v3

HAL Id: hal-03182947

<https://hal.science/hal-03182947v3>

Preprint submitted on 14 Jul 2021 (v3), 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^{1,2}, Kamilou OURO-SAMA¹, Hodabalo Dheoulaba SOLITOKÉ¹, Gnon TANOUAYI¹, Sadikou AGBERE¹,
5 Tchaa Ezzo-Essinam BADASSAN¹, Housseni AHOUDI¹, Kissao GNANDI¹.

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, 200 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. **La présente étude ne porte toutefois que sur les éléments traces métalliques. Elle ne tient**
28 **compte ni des autres polluants, ni des effets "cocktail" potentiels entre eux. Un travail complémentaire devra**
29 **donc être poursuivi dans ce sens pour consolider le faible risque enregistré pour la biocénose.**

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

31

32 **Abstract**

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

37 Forty-two sediment samples (21 per season) are realized in different areas of the Lake. Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, As
38 and Hg are measured out in the sediments by the flame atomic absorption spectrophotometer in these pre-
39 mineralized samples. The results show average contents varying from the lowest level 0.04 mg / kg for Hg to
40 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
41 Cu in the dry season. All of these values are below Canadian sediment quality standards. The strongest average
42 geoaccumulation indices (Igeo) are obtained for Pb with values less than 2. The mean values of the
43 contamination factor (FC) are less than 1. The mean indices of contamination (Im) are less than 2, threshold d
44 'an onset of polymetallic contamination. The ecological risk (Ri) in relation to the contamination of the
45 sediments of the Lake with trace elements is low in any season (Ri <40) and this implies a low risk of
46 contamination of the biocenosis. **However, the present study only deals with metallic trace elements. It does
47 not take into account other pollutants, nor the potential "cocktail" effects between them. Additional work
48 should therefore be continued in this direction to consolidate the low risk recorded for the biocenosis**

49

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

51

52 **1-Introduction**

53 Né de la construction du barrage, le Lac de Nangbéto (Togo) a un réservoir qui couvre une superficie de 180
54 Km² et hérite de toutes sortes de polluants du fleuve Mono qui l'alimente. Le fleuve Mono, subit des pollutions
55 dont les origines sont diverses : la pollution industrielle (cas du rejet des effluents de la sucrerie d'Anié dans la
56 rivière Anié, affluent du fleuve Mono) ; la pollution agricole par les pesticides et les engrais chimiques (cas des
57 pesticides et engrais utilisés à des fins agricoles dans le bassin du Mono) et la pollution d'origine tellurique
58 (érosion des sols et des roches du bassin) (Dahri et *al.*, 2018). Dans les systèmes aquatiques, l'étude des

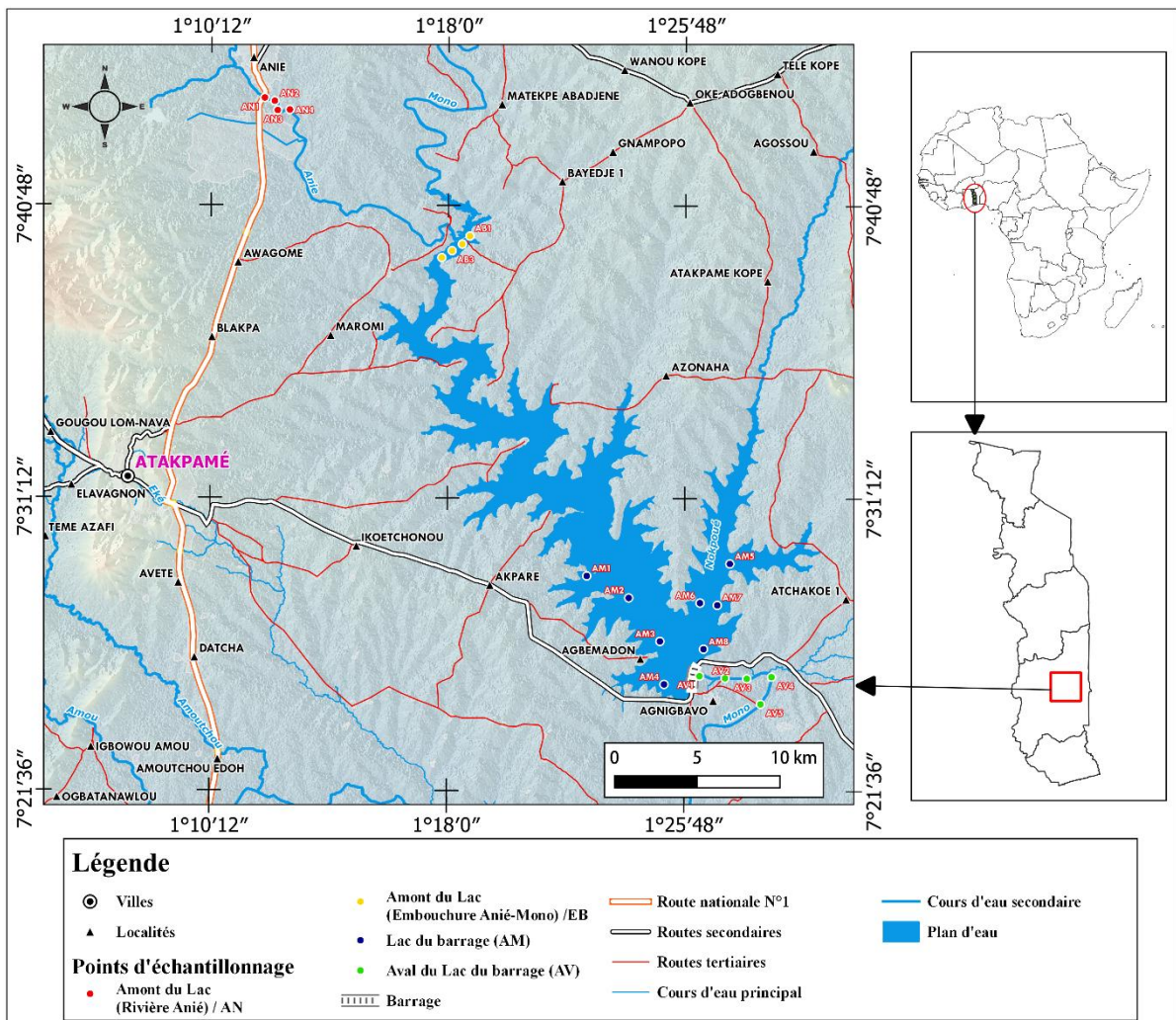
59 sédiments tire leur intérêt du fait qu'ils sont indicateurs de contamination du milieu, à cause de leur capacité
60 de fixation des polluants, surtout les éléments traces. En ce sens, ils constituent un réservoir et une source
61 potentielle de contamination pour les eaux. Les sédiments, compartiment d'accumulation pour les polluants
62 métalliques, peuvent également se comporter comme des sources endogènes de contamination, par remise en
63 suspension (crues, bioturbation) ou par évolution de la spéciation des éléments traces, laquelle va également
64 jouer sur leur biodisponibilité (Benguedda-**rahal**, 2012). Les sédiments sont alors, singulièrement intéressants
65 lorsqu'il s'avère indispensable de prendre des mesures adéquates pour une gestion durable d'un écosystème
66 aquatique (Djeddi et *al.*, 2018). ~~Les éléments traces, sont considérés comme des polluants les plus dangereux~~
67 ~~de l'environnement aquatique~~ **Les éléments traces sont considérés comme des polluants dangereux pour**
68 **l'environnement aquatique**, à cause de leur rémanence et leur tendance à être bioaccumulés dans les
69 organismes aquatiques (Aydin-Onen et *al.*, 2014). Le Lac de Nangbéto via le fleuve Mono étant exposé et étant
70 donné que les sédiments jouent un rôle de réservoir et source endogène de pollution, et vu la dangerosité des
71 éléments traces, la présente étude a pour objectif de contribuer à une gestion durable du Lac de Nangbéto en
72 quantifiant les teneurs de quelques éléments traces dans ses sédiments.

73

74 **2- Matériel et méthodes**

75 **2-1. Zone d'étude**

76 Le Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto (Figure 1), est situé à une quarantaine de kilomètres
77 d'Atakpamé et à 160 km de Lomé. Il présente un réservoir qui occupe une superficie de 180 km². Construit sur
78 le fleuve Mono à 180 km de l'embouchure, le Lac du barrage hydroélectrique de Nangbéto est alimenté par le
79 bassin versant du Mono. Le bassin du Mono, est situé entre les latitudes de 9° 20' Nord à la source et 6° 174'
80 Nord à l'embouchure dans le Golfe du Bénin ; puis entre 0° 41' et 1° 45' de longitude Est. Le fleuve Mono prend
81 sa source dans le massif de Tchaoudjo, dans la région centrale du Togo près de la frontière béninoise dans les
82 monts Alédjo, et s'étire sur environ 528 km de long. Ses principaux affluents sont l'Ogou, l'Atalé et le
83 Noukpoué, sur la rive gauche et sur la rive droite, on retrouve l'Anié, le Yoro, l'Amou et le Chra (UNESCO,
84 2008).



85

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

87 **2-2. Echantillonnage, traitement et analyse des sédiments**

88 Les sédiments de 0 à 5 cm de profondeur, ont été raclés par les plongeurs au fond du Lac à l'aide de récipients
 89 en polyéthylène. Vingt et un (21) échantillons de sédiments, sont prélevés saisonnièrement en saison pluvieuse
 90 (27 juillet 2018) et en saison sèche le (22 mars 2019) aux mêmes sites, mis dans des sachets en polyéthylène,
 91 étiquetés, placés dans une glacière puis transportés au laboratoire (Djeddi et al, 2018; NF EN ISO 5667-15,
 92 2009). Ces sédiments ont été séchés à l'air libre au laboratoire à l'abri de la poussière, broyés et tamisés au
 93 travers à 63 µm (Toure et al. 2018). Ensuite, 2g de sédiment sont minéralisés dans des tubes en téflon à chaud
 94 à 120°C par attaque de diacide : l'acide nitrique (HNO₃, 65%) et l'acide chlorhydrique (HCl, 36%) dans les
 95 proportions de 1V/3V (AFNOR NF X31-151, 1993) sur une plaque chauffante. Après refroidissement à l'air
 96 ambiant, le minéralisé la solution minéralisée est récupérée avec de l'eau distillée, puis filtré dans un tube en
 97 polypropylène selon les normes NF ISO 11466 de Juin 1995 et NF X 31-147 de juillet 1996. Les éléments traces

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

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

108 **2-3. Estimation de l'intensité de la contamination**

109 L'indice de géoaccumulation (I_{géo}), les facteurs de contaminations (FC), l'indice moyen de contamination (Im)
110 et l'indice de risque écologique (Ri) ont été utilisé pour évaluer l'intensité de la pollution des sédiments en
111 éléments traces.

112 - **Indice de Géo-accumulation (I-géo)**

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

116 L'indice de géoaccumulation a été **calculé** selon l'équation suivante :

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

117 Où **I-géo** = Indice de géoaccumulation; **log₂** = logarithme de base 2; **n** = élément considéré; **C** = concentration
118 mesurée dans l'échantillon; **B** = fond géochimique; **1.5** = facteur normalisant les fluctuations naturelles du fond
119 géochimique. Les résultats sont interprétés selon **Müller** (1969) comme suit : I-géo < 0 (classe 0) : sans
120 contamination ; 0-1 (1) : sans à légère contamination ; 1-2 (2) : **Légère** à **Légèrement modérée** à contamination
121 **modérée** ; 2-3 (3) : contamination modérée à **forte** ; 3-4 (4) : **Moyen** à forte contamination ; 4-5 (5) : Forte à
122 **extrême** contamination et I-géo > 5 (6) traduit une contamination **extrême**

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

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

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

125 Les concentrations de références, sont celles des normes canadiennes de pollution en éléments traces des
126 sédiments (CCME, 2001 Long et al., 1995). Les valeurs des FC ont été interprétés selon Hakanson (1980) où :
127 $FC \leq 1$ indique une faible contamination ; $1 \leq FC < 3$ est la contamination modérée ; $3 \leq FC < 6$ est une
128 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

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

130 SQG = Sediment Quality Guidelines

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

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

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

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

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

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

137 Où Ri est l'indice de risque écologique ; Tr est le facteur de la réaction toxique ; FC est le facteur de
138 contamination ; Er est le risque écologique potentiel de chaque métal. Les facteurs de la réaction toxique (Tr)
139 des éléments traces étudiés (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, et du Ni) selon Hilton et al, (1985) sont respectivement de
140 10 ; 30 ; 5 ; 2 ; 40 ; 5 ; 6.

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

143 **Tableau 2.** Caractérisation du risque écologique potentiel (Er) et de l'indice de risque écologique (Ri) selon
144 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		

145

146 2-4 Analyses statistiques des données

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

154 3-Resultats et Discussion

155 3-1. Variabilité saisonnière du pH et de la conductivité des sédiments

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

157 **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	

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

159 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
 160 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.
 161 Il apparait une différence significative entre les moyennes saisonnières des pH ($t = 3,05$; $p = 0,0040$) avec le pH
 162 le plus élevé en saison pluvieuse. L'on note une répartition homogène entre ces valeurs en saison pluvieuse
 163 (CV =9,58%) et en saison sèche (CV = 5,93%). L'analyse des valeurs du pH des sédiments étudiés montre qu'elles

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

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

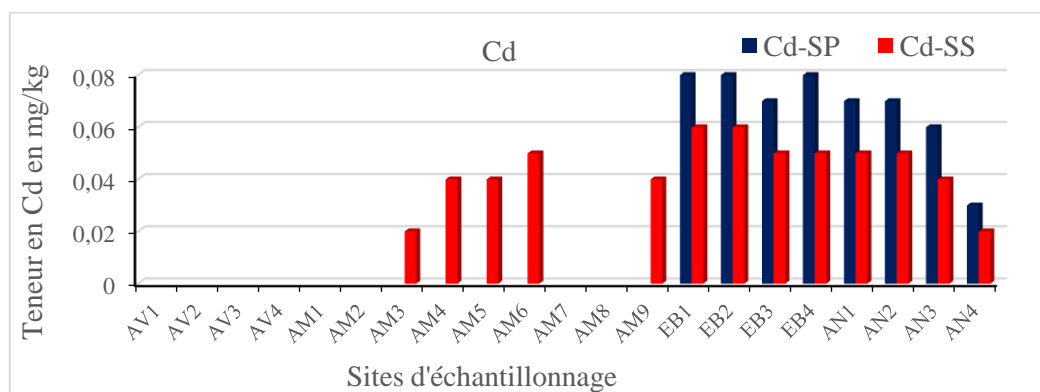
187 **3-2. Teneurs des éléments traces dans les sédiments**

188 **3-2-1. Distribution saisonnière ~~saisonnières~~ des éléments traces dans les sédiments**

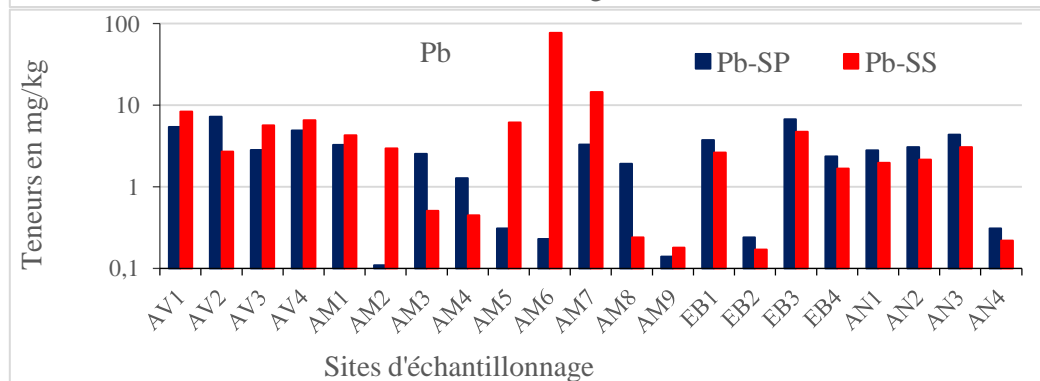
189 Les concentrations des éléments traces des sédiments (figure 2) affichent des fluctuations saisonnières
190 irrégulières. Les concentrations du Cd varient de 0,03 à 0,08 mg/kg et de 0,02 à 0,06 mg/kg respectivement en
191 saison pluvieuse et en saison sèche avec des moyennes respectives de $0,07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

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

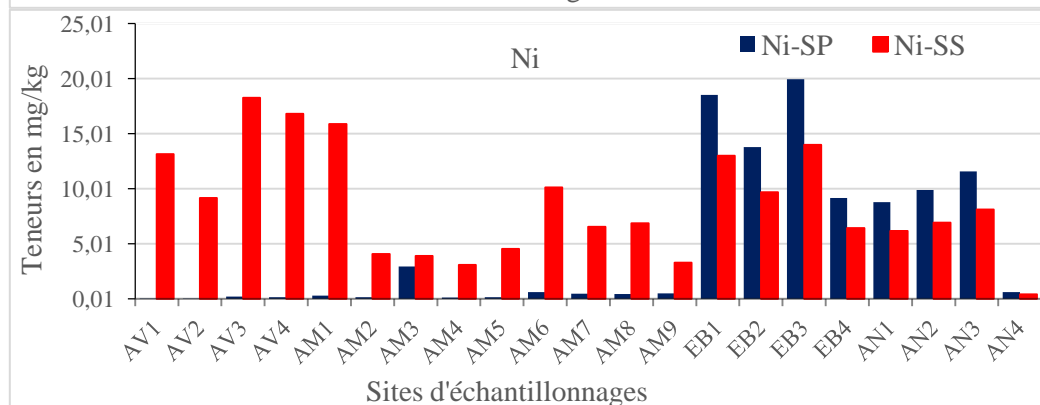
197



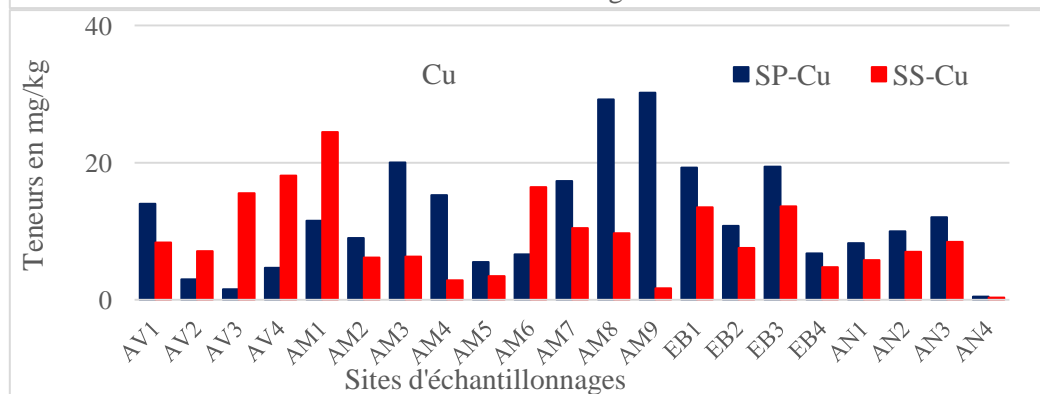
198

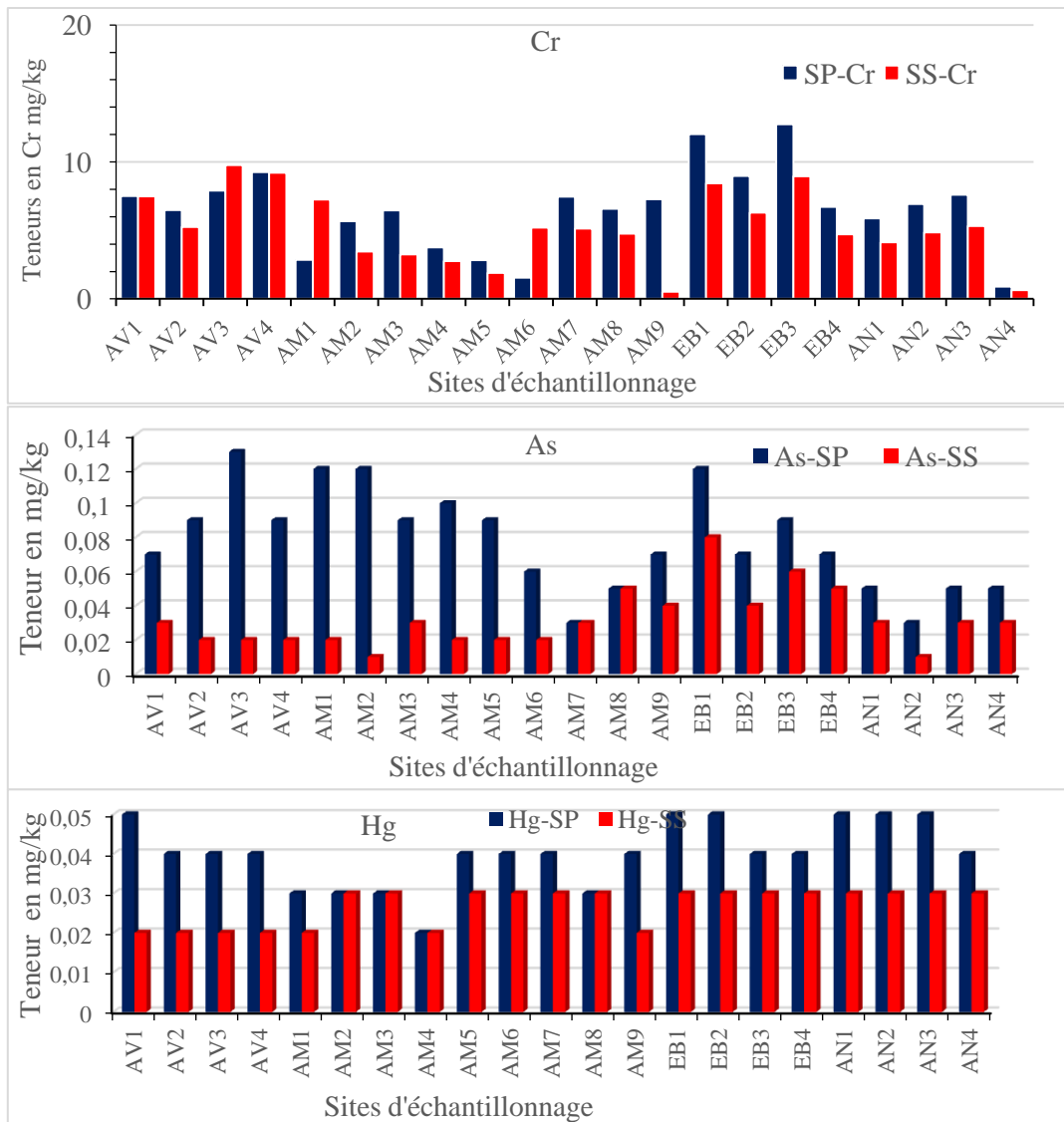


199



200





201

202

203

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

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

213 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
 214 (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.

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

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

231 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,
232 avec des moyennes saisonnières respectives de $12,15 \pm 8,20$ mg/kg et $9,14 \pm 5,98$ mg/kg. Aucune différence
233 significative ne se dégage entre les teneurs moyennes saisonnières du Cu ($p = 0,1822$). La figure 2 montre que
234 71,43% (15/21) des sites ont des teneurs moyennes en saison pluvieuse supérieures à celles de la saison sèche.
235 En saison pluvieuse, les fortes concentrations sont observées dans le Lac alors qu'en saison sèche, ce sont des
236 sites de l'aval qui enregistrent des fortes concentrations.

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

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

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

256 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
 257 pluvieuse et en saison sèche. Avec des teneurs moyennes respectives de $0,04 \pm 0,01$ mg/kg et $0,03 \pm 0,00$ mg/kg,
 258 il apparait une différence très significative entre les teneurs moyennes saisonnières ($p = 0,0001$). La figure 2
 259 met en exergue la supériorité des teneurs en Hg de la saison pluvieuse par rapport à celles de la saison sèche.

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

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

Paramètres	Éléments traces (mg/kg)						
	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr	As	Hg
Saison pluvieuse (n = 21)							
Minimum	0,03	0,11	0,03	0,48	0,90	0,03	0,02
Maximum	0,08	7,21	19,95	30,21	12,76	0,13	0,05
Moyenne	0,07	2,72	4,70	12,15	6,54	0,08	0,04
Ecart-type	0,02	2,16	6,61	8,20	3,01	0,03	0,01
Saison sèche (n = 21)							
Minimum	0,02	0,17	0,43	0,34	0,53	0,01	0,02
Maximum	0,06	76,70	18,27	24,48	9,76	0,08	0,03
Moyenne	0,04	6,95	8,61	9,14	5,21	0,03	0,03
Ecart-type	0,01	16,35	4,96	5,98	2,65	0,02	0,00
Test t (p)	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
	0,00004						0,00006

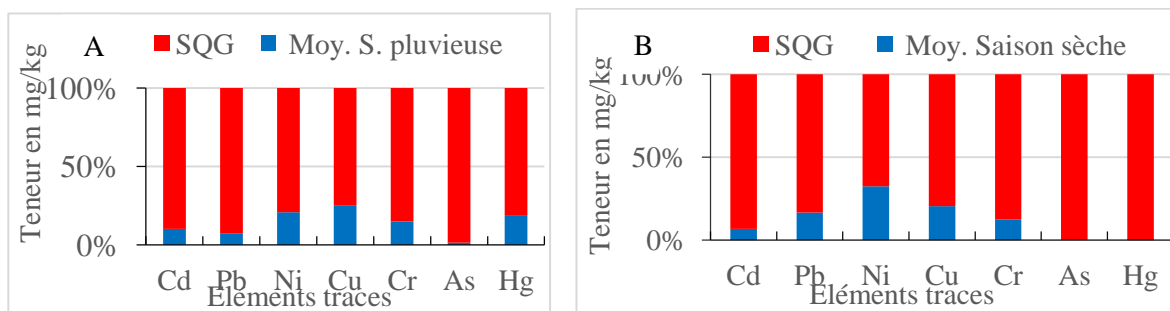
264 n : Nombre d'échantillons ; CV : Coefficient de variation ; LD : limites de détection.

265 Dans l'ensemble, les concentrations des éléments traces des sédiments du Lac du barrage hydroélectrique de
 266 Nangbéto ont montré globalement des fluctuations spatiales et temporelles parfois moins poussées. ~~très~~
 267 ~~importantes~~ ; cela montre la diversification dans l'apport des éléments traces du Lac. Pour l'ensemble des
 268 éléments traces étudiés, les teneurs moyennes de la majorité (cinq éléments sur sept) obtenues en saison
 269 pluvieuse sont supérieures aux teneurs moyennes obtenues en saison sèche (tableau 4). **Cependant, ces**
 270 **supériorités ne sont pas significatives (p-value <0.05).** Ces fortes teneurs **légèrement fortes** en saison pluvieuse
 271 par rapport la saison sèche, obtenues aussi par Rashed dans le Lac Nasser en Egypte, peuvent s'expliquer par
 272 un apport et une sédimentation plus abondante dus aux faibles cours fluviaux en juillet, en saison pluvieuse et
 273 aussi à un caractère récent de pollution en ces éléments traces (Rashed, 2001). En outre, le pH plus acide des
 274 sédiments, en saison sèche, explique le caractère moins pollué en éléments traces de ces sédiments en cette
 275 période, car l'acidité élevée conduit à la solubilité des ET des sédiments entraînant leurs libérations dans les
 276 eaux (Smith *et al* 2003). Les principaux éléments traces connus pour être influencés par le pH sont l'arsenic, le
 277 cadmium, le chrome, le mercure, le plomb et le zinc (Environnement Canada, 2007). Par ailleurs, les résultats
 278 de l'ACP et de corrélation ont montré des corrélations entre le pH, le Cd, et le Ni en saison pluvieuse ; cela
 279 ~~prouve~~ **indique** qu'il existe une affinité ou interrelation entre ces paramètres. Les polluants du Lac de
 280 Nangbéto, en effet, proviennent ~~essentiellement~~ des pesticides et engrais utilisés pour la culture du coton, de
 281 la canne à sucre, des cultures céréales ; ~~ils proviennent également~~ **et aussi** des rejets de l'usine de sucrerie
 282 d'Anié, des eaux usées des villes d'Atakpamé, de Sokodé, de Sotouboua et d'Anié. En effet, l'on note la
 283 présence de vaste domaine de canne à sucre à Anié, des cultures des champs de cotonniers et des cultures
 284 vivrières dans le bassin du Mono. Non seulement les activités sont pratiquées principalement en saison
 285 pluvieuse mais c'est également la période de grand drainage des polluants via des eaux de ruissellements vers
 286 les affluents du Mono, ensuite du Mono lui-même vers le Lac. C'est ainsi que l'écosystème du Lac de Nangbéto
 287 en saison pluvieuse enregistre plus de polluants que la saison sèche appauvrie en apport des polluants. Les
 288 deux éléments (Pb et Ni) dont les teneurs moyennes de la saison pluvieuse restent inférieures à celles de la
 289 saison sèche sont des polluants dont l'utilisation est très diversifiée, abondante et très lointaine. Ainsi, ces
 290 polluants sont permanents dans le Lac. Leurs teneurs sont diluées en saison pluvieuse par augmentation du
 291 niveau d'eau et concentrées en saison sèche par diminution du niveau d'eau. De plus, en saison sèche, le faible

292 écoulement permet une grande sédimentation des sédiments et partant des éléments traces (Ali *et al.*, 2016).
 293 Les résultats enregistrés dans cette étude, comparés à d'autres, montrent que les teneurs moyennes en Cd, Pb,
 294 Ni, Cu et Cr sont inférieures à celles obtenues dans le Lac Yilong en Chine qui sont respectivement pour ces
 295 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
 296 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
 297 le Complexe Lac Togo-Lagune d'Aného (Togo) pour l'As et le Hg qui sont de 0,60 et 11,38 mg/kg (Ouro-Sama *et*
 298 *al.*, 2021). Les différences de teneurs observées des éléments traces étudiés entre différentes régions d'étude
 299 résultent des types d'activités (agricole, industrielle ou extraction minière) pratiquées dans la zone, de
 300 l'intensité et de l'étendue de ces activités. Aussi, la nature pétrographique traversée par les eaux de
 301 ruissellement influence ces teneurs. Les zones liées aux extractions minières ont de fortes teneurs en éléments
 302 traces que d'autres.

303 3-2-2. Qualité des sédiments étudiés en rapport aux normes de qualité des sédiments en éléments traces

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



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

314

315 3-2-3. Analyse de la matrice de corrélation

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

321 **Tableau : 4** Corrélation de Pearson saisonniers des éléments traces et de quelques paramètres physico-
 322 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

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

324 Conductivité

325 **3-2- 3. Analyse en composantes principales**

326 **Tableau 5 :** Résultats des valeurs propres, pourcentage de variances totales et cumulées.
 327

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

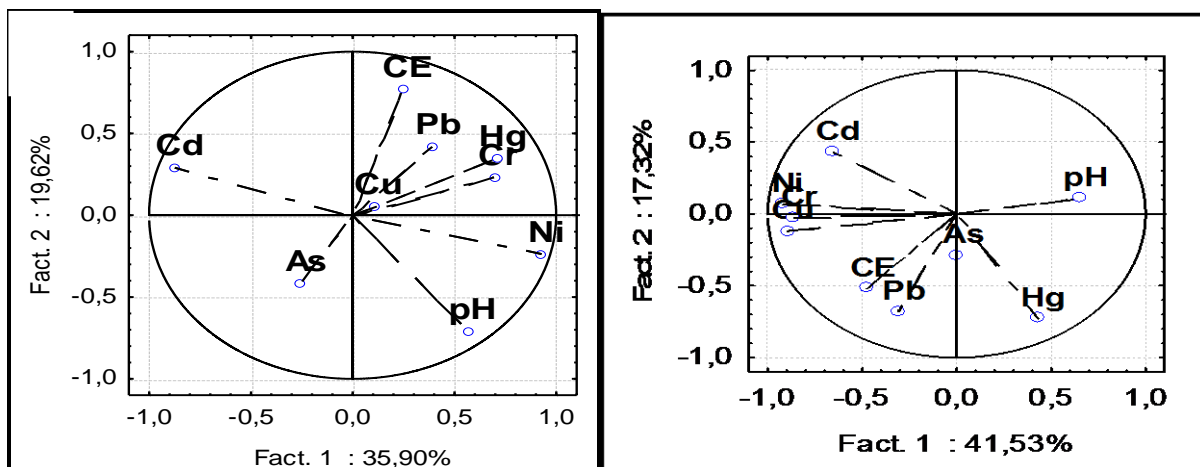
328

329 Les résultats des valeurs propres, pourcentage de variances totales et cumulées exprimées (Tableau 5)
 330 montrent qu'en saison pluvieuse les quatre (4) premiers facteurs donnent 80,86% de la variance cumulée : F1 =
 331 35,90% ; F2 = 19,62% ; F3 = 17,10% ; F4 = 13,05% ; alors qu'en saison sèche ils donnent 84,24% de la variance
 332 totale cumulée dont :
 333 F1 = 41,53% ; F2 = 17,32% ; F3 = 16,60% ; F4 = 8,80%. Le plan factoriel (F1 x F2) donne 55,53% en saison
 334 pluvieuse et 58,84% en saison sèche.

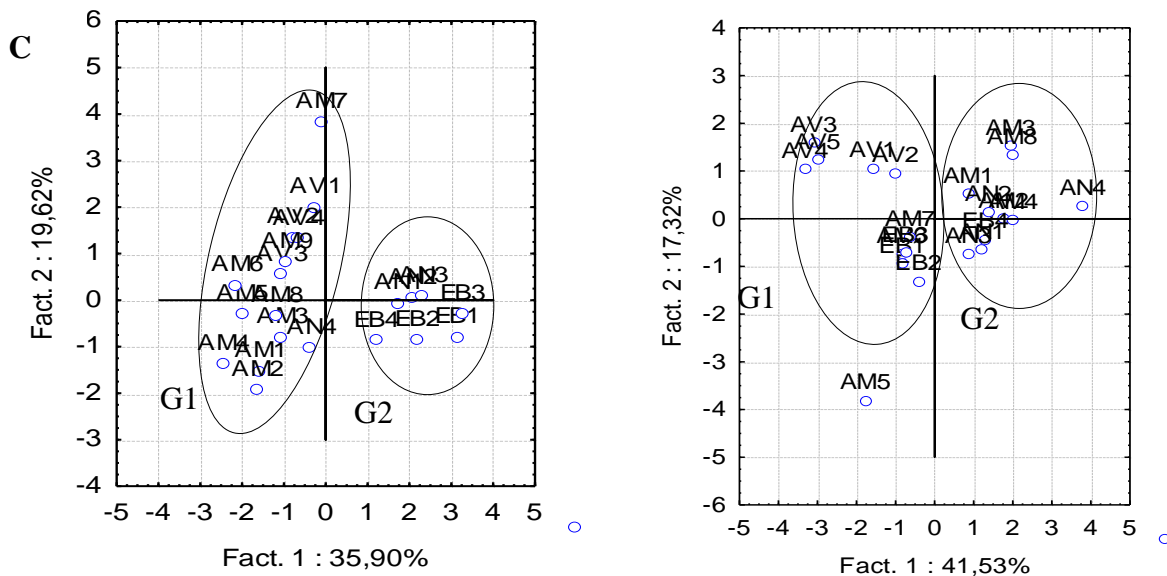
335 **Tableau 6** : Coordonnées factorielles des variables saisonnières

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

336 La projection des variables (Tableau 6) dans le plan factoriel F1 X F2 est présentée par la figure 4. En saison
 337 pluvieuse, l'axe F1 (35,90%) figure 4A est défini négativement par le Cd et positivement par le pH, Ni, Cr et le
 338 Hg. L'axe F2 (19,62%) est défini dans sa partie positive par CE puis dans sa partie négative par le pH. En saison
 339 sèche (Figure 4B), l'axe F1 (41,53%) est défini dans sa partie positive par le pH et dans sa partie négative par le
 340 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.



341



342
 343 **Figure 7 4** : Plan factoriel F1 x F2 des variables (A : saison pluvieuse ; B : saison sèche) et des sites
 344 d'échantillonnages (C : saison pluvieuse ; D : saison sèche).
 345

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

356 3-3. Evaluation du degré de contamination des sédiments par les éléments traces

357 3-3-1. Indice de géo-accumulation (I_{géo})

358 Les valeurs d'indices de géo-accumulation des éléments traces des sédiments sont consignées dans le tableau
 359 6.

360 **Tableau 6 7** : Indices de géo-accumulation saisonnières des éléments traces dans les sédiments.

Indice de géo-accumulation (I _{géo})	
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
Val.CT	0,061	0,76	33,5	26	76	3,1	0,008	0,061	0,76	33,5	26	76	3,1	0,008

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

362 En saison pluvieuse comme en saison sèche, les valeurs d'Igéo de tous les sites pour les éléments Cd, Ni, Cu, Cr,
363 As sont inférieures à 0 indiquant le caractère de non contamination des sédiments en ces éléments. Quant au
364 Pb, ses valeur d'Igéo moyennes les deux saisons indiquent qu'il est sans contamination à légère contamination
365 ($0 \leq I_{geo} < 1$) ; le Hg pour les deux saisons est modérément contaminé ($1 \leq I_{geo} < 2$). Il ressort que le Pb est
366 l'élément qui a plus contaminé les sédiments suivi du mercure.

367 3-3-2 Facteur de contamination (FC) et indice moyen de contamination (Im)

368 Les valeurs des facteurs de contamination (FC) et indice moyen de contamination (Im) saisonniers des éléments
369 traces des sédiments de chaque site, sont consignées dans le tableau 7 8.

370 **Tableau 8 7** : FC et Im saisonniers des éléments traces.

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

371
372 En saison pluvieuse, le tableau 7 8-montre que toutes les valeurs de FC des sédiments de tous les éléments
373 traces sont inférieures à 1 ~~sauf le Ni a enregistré un maximum de~~ **sauf le Ni ayant enregistré un maximum de**
374 1,11 et une moyenne de 0,26. Donc tous les sédiments sont faiblement contaminés. Les FC en Cd varient de
375 0,050 à 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

376 cadrés 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
 377 les FC du Hg vont de 0,118 à 0,294.

378 En saison sèche, les résultats montrent également que toutes les valeurs de FC des sédiments pour tous les
 379 éléments traces sont inférieurs à 1, sauf les éléments Pb et Ni ont des facteurs de contaminations maximums
 380 respectifs de 2,19 et 1,02. Les moyennes restent toutes inférieures à 1. Tous les sédiments sont donc
 381 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
 382 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
 383 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.

384 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.
 385 Pour toutes les deux saisons, aucun site n'a un Im supérieur à 2 qui est le seuil d'un début de contamination,
 386 alors les sédiments étudiés ne souffrent pas de dégradation de qualité métallique.

387 3-3-3. Indice de risque écologique (Ri)

388 Les valeurs des facteurs de risque potentiel (ER) et d'indice de risque écologique (Ri) saisonniers des éléments
 389 traces des sédiments sont consignées dans le tableau 8 9

390 Tableau 8 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
Saison Pluvieuse								
Minimum	0,00	0,02	0,01	0,07	0,05	0,05	2,57	4,01
Maximum	4,00	1,03	6,65	4,23	0,68	0,22	6,85	21,02
Moyenne	3,38	0,39	1,57	1,70	0,35	0,13	4,88	10,31
Ecart-type	1,75	0,31	2,20	1,15	0,16	0,05	1,47	5,32
Saison sèche								
Minimum	0,00	0,02	0,14	0,05	0,03	0,02	4,71	8,17
Maximum	3,00	10,96	6,09	3,43	0,52	0,14	7,06	26,52
Moyenne	1,36	0,99	2,87	1,28	0,28	0,05	6,27	13,11
Ecart-type	1,20	2,34	1,65	0,84	0,14	0,03	1,14	4,06

391
 392 Les résultats de l'évaluation de l'indice de risque écologique par rapport à la contamination des sédiments en
 393 éléments traces montrent les valeurs des facteurs de risque potentiel (Er) qui varient de la plus faible valeur (0)
 394 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
 395 plus forte valeur (10,96) pour le Pb en saison sèche. Ces valeurs ont conduit en saison pluvieuse, à la plus forte
 396 valeur de Ri à 21,02 alors qu'elle est de 26,52 en saison sèche. Ces facteurs de risque potentiel impliquent des
 397 risques écologiques faibles aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche (Ri < 40) (Hakason, 1980).

398 4-Conclusion

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

412 5-Remerciement.

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

415 6-Références

- 416 AFNOR. (1993). Qualité des sols. Sols, sédiments, boues de station d'épuration - Mise en solution d'éléments
417 métalliques en traces (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) par attaques acides. NF X 31-151.
- 418 Ali M. M., Ali M. L., Islam M. S. et Rahman M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and
419 sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environment Nanotechnology, Monitoring and Management*, **5** : 27-
420 35, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- 421 Aydin-Onen S., Kucuksezgin F., Kocak F., Açik S. (2014). Assessment of heavy metal contamination in Hediste
422 diversicolor (O.F. Müller, 1776), *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern
423 Aegean). *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/2Fs11356-014-4047-5>
- 424 Badawy S. H., Helal M. I. D., Chaudri A. M., Lawlor K. and McGrath S. P. (2002). Soil solid phase controls lead
425 activity in soil solution, *J Environ. Qual.* **31** :162-67, <https://doi.org/10.2134/jeq2002.1620>

426 Bai J., Cui B., Chen B., Zhang K., Deng W., Gao H. et Xiao R. (2011). Spatial distribution ecological assessment of
427 heavy metal in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling*,
428 **222**(2): 301-306, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.002>

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

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

435 Chen B., Liang X., Xu W., Huang X. et Li X. (2012). The changes in trace metal contamination over the last
436 decade in surface sediments of the Pearl River Estuary, South China. *Science of the total environment*,
437 **439** :141-149,
438 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.025>

439 Dahri, N., Atoui, A., Ellouze, M., et Abida, H. (2018). Assessment of streambed sediment contamination by
440 heavy metals: The case of the Gabes Catchment, South-eastern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*. **140**:
441 29-41, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.033>

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

445 Environnement Canada et ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec,
446 2007. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention,
447 dragage et restauration. 39 p.

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

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

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

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

459 Müller G. 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, **2** :
460 108-118.

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

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

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

469 Rashed M.N. (2001). Monitoring of Environmental heavy metals in fish from Nasser Lake, Egypt. *Environment*
470 *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)

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

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

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

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

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

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

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

485 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
486 traces métalliques dans la lagune Ebrié : distribution saisonnière, niveau de contamination et qualité
487 environnementale des sédiments. *International Journal of Biological and Chemical Science*, **11**(2):911-923,
488 <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.30>

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