

# CONTAMINATION AUX METAUX LOURDS DE LA MATRICE EAU-SEDIMENT ET MUSCLE DU TILAPIA *Oreochromis niloticus* DE TROIS FERMES PISCICOLES EN COTE D'IVOIRE

S. COULIBALY<sup>1</sup>, B. C. ATSE<sup>1</sup>, K. M. KOFFI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherches Océanologiques, BP V 18, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>UFR Biosciences Université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

## RESUME

La présente étude a pour objectif de déterminer le niveau de contamination du mercure, du cadmium, de l'arsenic et du plomb dans l'eau, les sédiments et le muscle du tilapia *Oreochromis niloticus* dans trois fermes piscicoles en Côte d'Ivoire. L'eau, les sédiments et les spécimens de poisson ont été prélevés par mois de février à juillet 2017 en cage dans la lagune Aghien (ST1), en étang continental (ST2) à Agboville et en cage dans le barrage de Taabo (ST3). Les paramètres physico-chimiques mesurés ont montré qu'à l'exception de la conductivité, des matières en suspension et des solides totaux dissous, aucune variation saisonnière n'a été observée. En revanche, les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques calculées sont significativement différentes entre les fermes. Les valeurs de chaque métal mesurées dans la matrice eau-sédiment-muscle varient significativement entre les deux saisons dans toutes les fermes. Cependant, aucune différence entre les fermes échantillonnées n'a été observée. Les concentrations des métaux lourds mesurées dans le muscle sont inférieures aux valeurs seuils établies par l'OMS à l'exception de l'As. Cette contamination élevée en arsenic pourrait porter atteinte à l'intégrité biologique et à la santé humaine.

**Mots clés :** Métaux lourds, Accumulation, *Oreochromis niloticus*, Ferme piscicole ivoirienne

## ABSTRACT

### **HEAVY METAL CONTAMINATION OF MATRICE WATER-SEDIMENT AND MUSCLE OF TILAPIA *Oreochromis niloticus* OF THREE FISH FARMS IN IVORY COAST**

*The objective of this study is to determine the level of contamination of mercury, cadmium, arsenic and lead in the water, sediments and muscle of tilapia *Oreochromis niloticus* in three fish farms in Côte d'Ivoire. Water, sediments and fish specimens were collected from February to July 2017 in cages in the Aghien lagoon (ST1), continental pond (ST2) in Agboville and caged in the Taabo dam (ST3). The physicochemical parameters measured showed that with the exception of conductivity, suspended solids and total dissolved solids, no seasonal variation was observed. On the other hand, the average values of the physicochemical parameters calculated are significantly different between the farms. The values of each metal measured in the water-sediment-muscle matrix vary significantly between the two seasons on all farms. However, no difference between the sampled farms was observed. The concentrations of heavy metals measured in the muscle are below the threshold values established by WHO with the exception of As. This high level of arsenic contamination could affect biological integrity and human health.*

**Keywords :** Heavy metals, Accumulation, *Oreochromis niloticus*, Ivorian fish farm

## INTRODUCTION

Le poisson est une source précieuse de protéines animales et de nombreux micronutriments essentiels, y compris des vitamines (A, B et D), des minéraux (calcium, iode, zinc, fer et sélénium) et des acides gras polyinsaturés oméga-3 (FAO, 2014). En Côte d'Ivoire, la demande en poisson est de plus en plus forte en raison de la rapide croissance de la population. Face à la stagnation de la pêche, l'aquaculture devrait subvenir aux besoins de la population en matière de produits halieutiques (Lazard, 2017). L'aquaculture est donc appelée à jouer un rôle important dans la satisfaction de la sécurité alimentaire. Cependant, la production aquacole ivoirienne de 3 720 tonnes/an est très faible par rapport à la forte demande nationale en ressources halieutique estimée à 300 000 tonnes par an (FAO, 2014).

La faible production ainsi que la qualité des produits aquacoles sont en partie liées à la qualité physico-chimique des milieux de production. En effet, les polluants influencent la qualité des eaux et des sédiments des fermes piscicoles portant ainsi atteinte aux produits aquacoles. Aussi, la proximité des terres agricoles avec l'épandage des engrais et des pesticides, de même que les industries chimiques en milieu périurbain entraînent-elles la pollution des milieux d'élevage aussi bien dans les fermes continentales que lagunaires. Cette pollution est parfois responsable de la mortalité massive des poissons dans des fermes surtout en milieu lagunaire entraînant ainsi la baisse de la productivité allant jusqu'à l'abandon des fermes aquacoles. Présents à différentes concentrations dans les milieux aquatiques, les micropolluants sont des substances susceptibles d'avoir une action toxique, même à faible dose sur la faune aquatique (Coulibaly *et al.*, 2012). Les insecticides, les herbicides, les fongicides, les métaux lourds et les composés organiques volatils sont autant de substances chimiques persistantes dans les écosystèmes aquatiques qui contaminent les organismes aquatiques tels que les poissons. La consommation de ces organismes contaminés peut avoir un impact sur la santé humaine (EFSA, 2011).

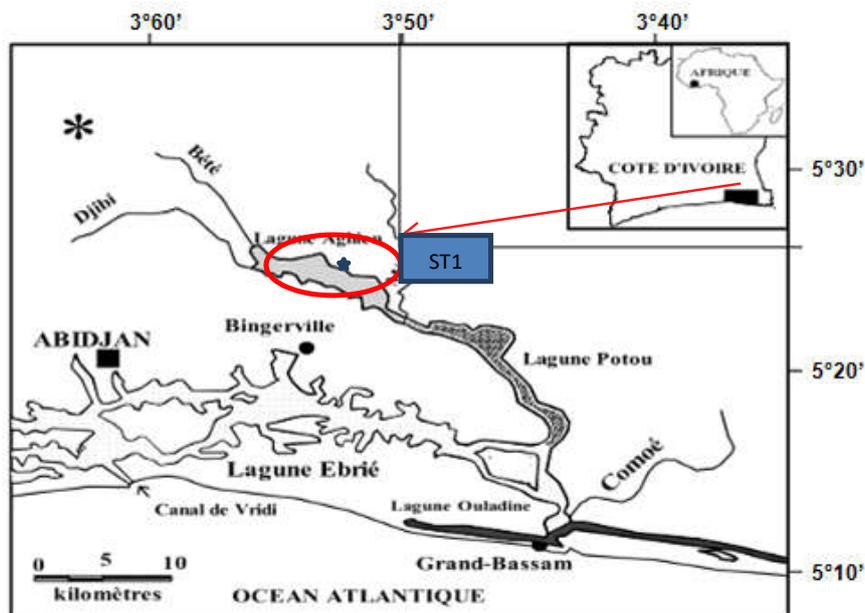
En Côte d'Ivoire, les résultats d'analyse des polluants chimiques du milieu aquatique ont révélé la présence de métaux lourds dans l'eau, les sédiments et chez tous les organismes notamment les communautés phytoplanctonique, zooplanctonique, benthique et ichtyologique dans les baies de la lagune Ebrié (Yao *et al.*, 2009 ; Coulibaly, 2013 ; Koffi *et al.*, 2014). Cependant, aucune de ces études n'a été consacrée à la contamination du milieu d'élevage en Côte d'Ivoire, encore moins aux poissons élevés tels que le tilapia *Oreochromis niloticus*. Il est donc important de déterminer les concentrations des micropolluants dans le milieu d'élevage et dans les poissons élevés afin d'évaluer leur niveau de contamination. La présente étude a pour objectif d'évaluer le niveau de contamination en mercure, cadmium, plomb et arsenic de la matrice eau-sédiment-poisson dans trois fermes piscicoles en milieu lagunaire et continental utilisant différentes structures d'élevage.

## MATERIEL ET METHODES

### LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DES FERMES PISCICOLES

Les travaux ont porté sur trois types de fermes d'élevage de tilapia *Oreochromis niloticus*. Ainsi, les fermes aquacoles d'Aghien à Bingerville (ferme en cage flottante en milieu lagunaire, ST1), d'Agboville (ferme en étang continental, ST2) et de Taabo (ferme en cage flottante à Taabo sur le fleuve Bandama, ST3) ont été retenues pour cette étude.

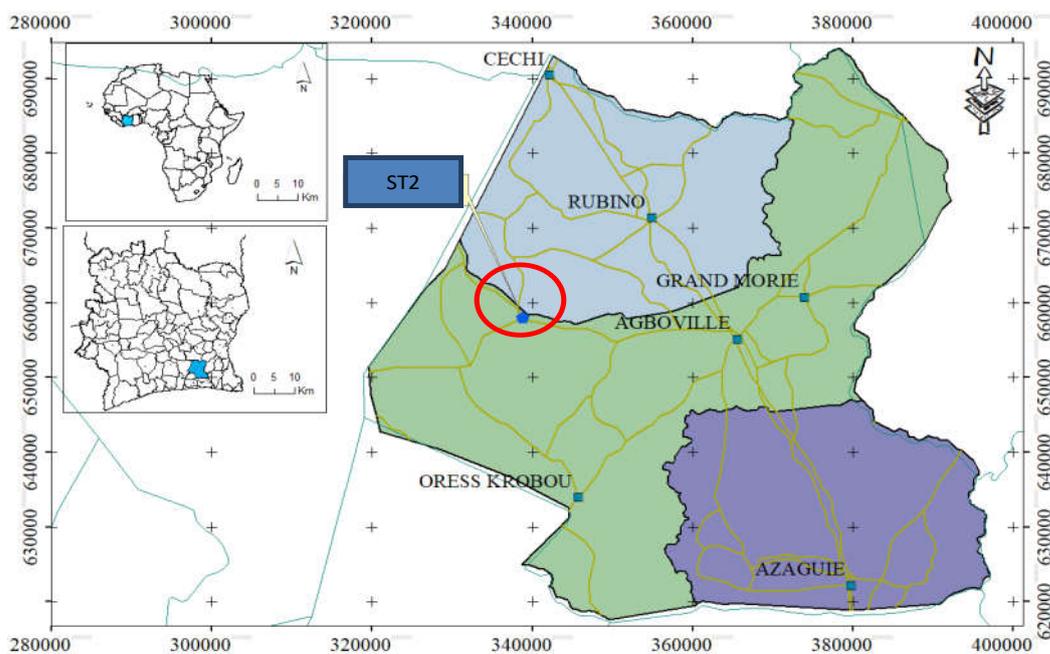
La ferme aquacole d'Aghien est située sur la lagune Aghien à Bingerville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire, à 18 km d'Abidjan) entre la latitude 5°24'14" N et la longitude 3°53'10" W (Figure 1). Il s'agit d'une ferme lagunaire. Le grossissement du tilapia *Oreochromis niloticus* se fait dans les cages flottantes de 62,5 m<sup>3</sup> avec environ 2000 poissons par cage. Le système d'élevage est semi-intensif avec une alimentation farineuse (son de riz, farine basse de riz, farine de poisson) composée par le pisciculteur lui-même. Les poissons élevés ne sont pas sexés. La ferme est bordée par des habitations, des plantations d'hévéas, de café et de cacao, et des sites de divertissement.



**Figure 1 :** Ferme piscicole d'Aghien à Bingerville (ST1).  
*Aghien Fish Farm in Bingerville (ST1).*

La ferme aquacole d'Agboville est située à Offoumpo à 25 km d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire, à 80 km d'Abidjan) entre la latitude 5°57'14" N et la longitude 4°27'24" W (Figure 2). Il s'agit d'une ferme en milieu continental avec des étangs de grossissement de tilapia de 800 m<sup>2</sup> de superficie et de 1,50 m de profondeur. Les poissons au stade de grossissement sont

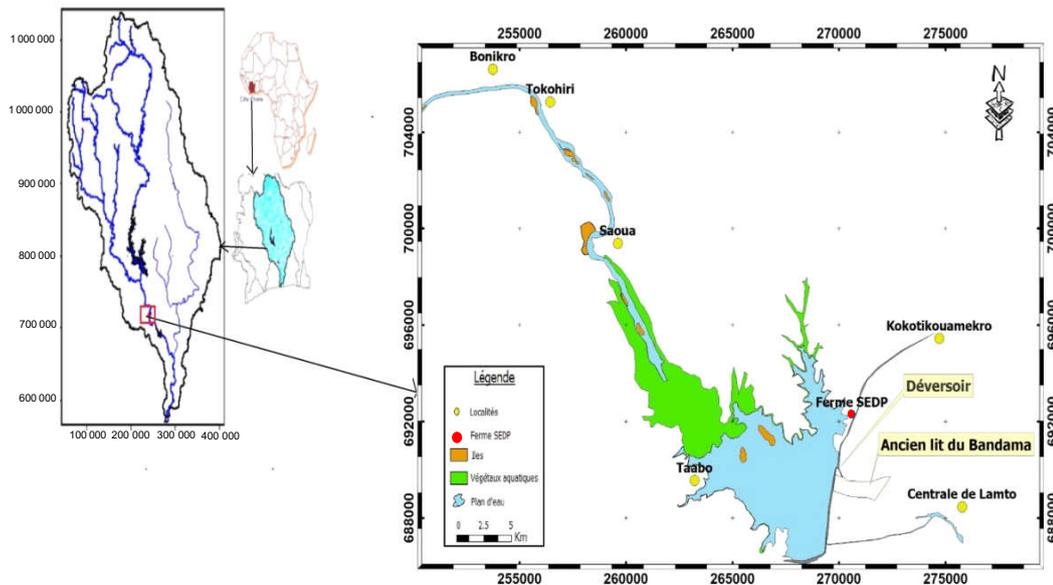
élevés à la densité de 1 individu au m<sup>2</sup>. Cette ferme est en système semi-intensif avec une alimentation régulière basée sur un aliment complet granulé flottant extrudé (Raanan Fish Feed, importé du Ghana). Les poissons élevés sont sexés. Les étangs ne sont pas fertilisés. La ferme est bordée de part et d'autre par des plantations d'hévéas.



**Figure 2 :** Ferme piscicole à Agboville (ST2).  
*Fish farm in Agboville (ST2).*

La ferme aquacole de Taabo est située dans le barrage de Taabo sur le fleuve Bandama (Centre de la Côte d'Ivoire, à 160 km d'Abidjan) entre la latitude 6°13'32,2 N et les longitudes 5°4'55,8 W (Figure 3). Il s'agit d'une ferme en cages flottantes d'élevage de tilapia *Oreochromis niloticus*. Chaque cage de grossissement a un

volume de 62,5 m<sup>3</sup> contenant environ 2500 poissons. La ferme est en système intensif avec une alimentation régulière basée sur un aliment complet granulé flottant extrudé (Raanan Fish Feed, importé du Ghana). Les poissons élevés sont sexés. Dans le bassin versant de la ferme se trouvent des plantations de café, de cacao et de banane.



**Figure 3 :** Ferme piscicole de Taabo (ST3).  
*Taabo Fish Farm (ST3).*

#### ECHANTILLONNAGE ET MESURE DES PARAMETRES ETUDIES

Les prélèvements des échantillons d'eau, de sédiments et de poissons ont été effectués mensuellement et consécutivement, de février à juillet 2017 (saison sèche et saison des pluies) dans les trois fermes retenues. L'eau a été prélevée à l'aide de bouteilles en polyéthylène d'une capacité de 1 litre puis filtrée sous vide sur une membrane filtrante. L'eau a été ensuite acidifiée à pH < 2 en ajoutant 0,5 mL d'acide chlorhydrique. Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne de type Van Veen, d'une surface de 250 cm<sup>2</sup>. Ils ont été séchés puis tamisés sous une série de tamis. La fraction fine (< 63 µm) a été retenue pour l'analyse.

Les poissons (180 kg) ont été pêchés à l'aide de filet épervier dans les étangs et d'épuisette dans les cages flottantes. Ils ont été ensuite conservés sous glace sèche dans une glacière jusqu'au laboratoire où ils ont été pesés

individuellement et disséqués après un examen visuel. Un échantillon de muscle (5 g par poisson) avec la peau a été prélevé et conservé au congélateur -20°C pour l'analyse des métaux lourds. Au cours des campagnes d'échantillonnage, la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et les solides totaux dissous (TDS) ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre (HANNA HI 9829). La transparence a été déterminée au disque de Secchi. Au laboratoire, les échantillons ont été analysés pour la détermination de la concentration des matières en suspensions (MES) selon la méthode décrite par Aminot et Chaussepied (1983). De même, les dosages du mercure (Hg), du cadmium (Cd), du plomb (Pb) et de l'arsenic (As) ont été effectués par spectrométrie d'absorption atomique aux longueurs d'onde de 283,3 nm ; 228,8 nm ; 253,7 nm et 193,7 nm respectivement selon la méthode EPA (2007) dans les échantillons d'eau, de sédiments et de muscle du tilapia *Oreochromis niloticus* collectés.

## ANALYSE STATISTIQUE

L'ANOVA à 1 facteur a été utilisée pour évaluer l'effet de la saison sur les paramètres mesurés, et aussi pour évaluer la différence entre les fermes. Ensuite, le test HSD (Honest Significant Difference) de Tukey a été effectué lorsque l'ANOVA montrait une différence significative. Les différences ont été considérées comme significatives à des valeurs  $p < 0,05$ . L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel Statistica 7.1.

## RESULTATS ET DISCUSSION

## RESULTATS

## Paramètres physico-chimiques des eaux des fermes

La température moyenne des fermes varie de  $29,26 \pm 0,74$  (ST1) à  $31,39 \pm 1,07^\circ\text{C}$  (ST2) (Tableau I). Le pH des eaux des fermes ST1 ( $\text{pH} = 8,03 \pm 0,48$ ) et ST3 ( $\text{pH} = 8,24 \pm 0,52$ ) ont un caractère basique tandis que celui de la

ferme ST2 ( $\text{pH} = 6,76 \pm 0,57$ ) est acide. Les eaux de toutes les fermes sont oxygénées durant toute la période de l'échantillonnage. L'oxygène dissous des eaux des fermes varie entre  $4,16 \pm 1,04$  mg/L dans la ferme ST2 et  $7,56 \pm 0,43$  mg/L dans la ferme ST3. La conductivité moyenne des eaux reste faible ( $12,33 \pm 7,11$   $\mu\text{S/cm}$ ) dans la ferme ST3 et élevée ( $97,33 \pm 3,88$   $\mu\text{S/cm}$ ) dans la ferme ST2. Les valeurs de la transparence des eaux des fermes ST2 ( $0,008 \pm 0,00$  m) et ST1 ( $0,94 \pm 0,05$  m) sont faibles tandis que celles dans la ferme ST3 ( $1,51 \pm 0,09$  m) sont élevées. Les concentrations moyennes des MES sont comprises entre  $13,66 \pm 5,85$  mg/L (ST3) et  $208,16 \pm 60,31$  mg/L (ST2). Les taux de TDS de  $6,00 \pm 2,65$  à  $84,41 \pm 8,77$  mg/L varient fortement d'une saison à l'autre dans chacune des fermes. La température, le pH, l'oxygène dissous et la transparence n'enregistrent aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les saisons pour toutes les fermes. Par contre, des variations saisonnières significatives ( $p < 0,05$ ) ont été observées pour la conductivité, les MES et les TDS (Tableau I).

**Tableau I** : Variation saisonnière et valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux des fermes ST1, ST2 et ST3 de février à juillet 2017.

*Seasonal variation and average values of physico-chemical parameters measured in the waters of ST1, ST2 and ST3 farms from February to July 2017.*

Paramètres	Saisons	Stations		
		ST1	ST2	ST3
T°C	Sèche	$29,84 \pm 0,51$	$31,82 \pm 0,71$	$31,70 \pm 0,53$
	Pluies	$28,70 \pm 0,37$	$30,98 \pm 1,37$	$30,46 \pm 0,57$
	Moyenne	$29,26 \pm 0,74^a$	$31,39 \pm 1,07^b$	$31,08 \pm 0,83^b$
pH	Sèche	$8,36 \pm 0,14$	$6,61 \pm 0,29$	$8,71 \pm 0,16$
	Pluies	$7,80 \pm 0,57$	$6,93 \pm 0,82$	$7,78 \pm 0,19$
	Moyenne	$8,03 \pm 0,48^b$	$6,76 \pm 0,57^a$	$8,24 \pm 0,52^b$
O <sub>2</sub> (mg/L)	Sèche	$5,75 \pm 0,42$	$3,63 \pm 0,60$	$7,56 \pm 0,40$
	Pluies	$6,47 \pm 0,05$	$4,70 \pm 1,23$	$7,54 \pm 0,56$
	Moyenne	$6,10 \pm 0,47^b$	$4,16 \pm 1,04^a$	$7,56 \pm 0,43^b$
Conductivité (mS/cm)	Sèche	$86,00 \pm 1,00^1$	$97,00 \pm 2,65$	$8,00 \pm 2,00^1$
	Pluies	$98,00 \pm 5,29^2$	$97,67 \pm 5,51$	$16,67 \pm 8,14^2$
	Moyenne	$92,00 \pm 7,40^b$	$97,33 \pm 3,88^b$	$12,33 \pm 7,11^a$
Transparence (m)	Sèche	$0,90 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,00$	$1,43 \pm 0,03$
	Pluies	$0,99 \pm 0,02$	$0,01 \pm 0,00$	$1,60 \pm 0,04$
	Moyenne	$0,94 \pm 0,05^b$	$0,01 \pm 0,00^a$	$1,51 \pm 0,09^c$
MES (mg/L)	Sèche	$9,33 \pm 1,15$	$155,00 \pm 21,80^1$	$20,67 \pm 4,04$
	Pluies	$18,00 \pm 5,30$	$261,33 \pm 11,85^2$	$26,33 \pm 4,73$
	Moyenne	$13,66 \pm 5,85^a$	$208,16 \pm 60,31^c$	$23,50 \pm 5,00^b$
TDS (mg/L)	Sèche	$45,67 \pm 3,79^1$	$59,00 \pm 2,00^1$	$6,00 \pm 2,65^1$
	Pluies	$71,45 \pm 5,02^2$	$84,41 \pm 8,77^2$	$14,63 \pm 1,43^2$
	Moyenne	$58,55 \pm 14,66^b$	$71,70 \pm 15,03^c$	$10,31 \pm 5,09^a$

Les valeurs avec des chiffres 1,2 en exposant présentent une différence entre les saisons pour une station donnée ( $p < 0,05$ ). Les valeurs moyennes avec des lettres a, b, c en exposant présentent une différence entre les fermes ( $p > 0,05$ ).

Values with 1, 2 in superscript show a difference between seasons for a given station ( $p < 0,05$ ). Mean values with letters a, b, c in superscript show a difference between farms ( $p > 0,05$ ).

### Concentrations en métaux lourds des eaux des fermes

Les concentrations moyennes en métaux lourds des eaux des fermes varient entre  $0,042 \pm 0,03$  et  $0,048 \pm 0,05$  mg/L pour le cadmium ;  $0,011 \pm 0,00$  et  $0,012 \pm 0,00$  mg/L pour le mercure ;  $0,006 \pm 0,00$  et  $0,013 \pm 0,01$  mg/L pour le plomb ;  $0,043 \pm 0,02$  et  $0,057 \pm 0,00$  mg/L pour l'arsenic (Tableau II). Le cadmium et l'arsenic présentent les concentrations les plus élevées tandis que le plomb et le mercure enregistrent les valeurs minimales dans toutes les fermes. Dans les fermes ST1 et ST3, l'ordre de concentration des métaux lourds est :  $As > Cd > Hg > Pb$  alors

qu'il est de :  $Cd > As > Pb > Hg$  dans la ferme ST2. Aucune différence significative de concentrations moyennes n'a été observée entre les fermes pour tous les métaux lourds étudiés. Les variations saisonnières des concentrations de métaux lourds de l'eau dans les fermes ne montrent aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les saisons à l'exception du Cd dans toutes les fermes et le Pb à la ferme ST2 (Tableau II). En effet, le Cd présente des valeurs faibles durant la saison des pluies et des valeurs élevées pendant la saison sèche. En revanche, les concentrations du Pb sont plus élevées à la saison des pluies et faible en saison sèche.

**Tableau II** : Variation saisonnière et valeurs moyennes en Cadmium (Cd), Mercure (Hg), Plomb (Pb) et Arsenic (As) des eaux collectées dans les fermes ST1, ST2 et ST3 de février à juillet 2017. *Seasonal variation and mean values of Cadmium (Cd), Mercury (Hg), Lead (Pb) and Arsenic (As) in mg / L of water collected on farms ST1, ST2 and ST3 from February to July 2017.*

Métaux lourds (mg/L)	Saisons	Stations		
		ST1	ST2	ST3
Cd	Sèche	$0,028 \pm 0,00^1$	$0,023 \pm 0,00^1$	$0,019 \pm 0,00^1$
	Pluies	$0,056 \pm 0,05^2$	$0,074 \pm 0,08^2$	$0,074 \pm 0,07^2$
	Moyenne	$0,042 \pm 0,03$	$0,048 \pm 0,05$	$0,047 \pm 0,50$
Hg	Sèche	$0,013 \pm 0,00$	$0,013 \pm 0,00$	$0,011 \pm 0,00$
	Pluies	$0,010 \pm 0,00$	$0,008 \pm 0,00$	$0,013 \pm 0,00$
	Moyenne	$0,011 \pm 0,00$	$0,011 \pm 0,00$	$0,012 \pm 0,00$
Pb	Sèche	$0,007 \pm 0,00$	$0,020 \pm 0,02^2$	$0,006 \pm 0,00$
	Pluies	$0,007 \pm 0,00$	$0,006 \pm 0,00^1$	$0,007 \pm 0,00$
	Moyenne	$0,007 \pm 0,00$	$0,013 \pm 0,01$	$0,006 \pm 0,00$
As	Sèche	$0,056 \pm 0,00$	$0,043 \pm 0,01$	$0,047 \pm 0,01$
	Pluies	$0,058 \pm 0,00$	$0,043 \pm 0,03$	$0,052 \pm 0,04$
	Moyenne	$0,057 \pm 0,00$	$0,043 \pm 0,02$	$0,049 \pm 0,02$

Les valeurs avec des chiffres 1, 2 en exposant présentent une différence entre les saisons pour une station donnée ( $p < 0,05$ ). L'absence de lettres a, b en exposant sur les valeurs moyennes montre qu'il n'existe aucune différence entre les fermes ( $p > 0,05$ ).

*Values with 1, 2 in superscript show a difference between seasons for a given station ( $p < 0.05$ ).*

*The absence of letters a, b in terms of mean values shows that there is no difference between farms ( $p > 0.05$ ).*

### Concentrations en métaux lourds des sédiments des fermes

Les valeurs moyennes des concentrations du cadmium et de l'arsenic mesurées dans les sédiments ne présentent aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les fermes. Par contre, des différences significatives ( $p > 0,05$ ) ont été enregistrées entre les fermes pour le mercure et le plomb. Ces deux métaux ont des concentrations plus élevées dans les sédiments de la ferme ST3 par rapport à celles enregistrées dans les fermes ST1 et ST2. De façon générale, dans toutes les fermes, les concentrations du plomb dans les sédiments varient entre  $2,086 \pm 0,25$  (ST2) et  $12,270 \pm 0,58$  mg/kg (ST3) et sont

plus élevés que les autres métaux lourds. L'ordre de concentration en métaux lourds des sédiments des fermes est :  $Pb > As > Hg > Cd$ . Les valeurs saisonnières de concentrations en métaux lourds enregistrées dans les sédiments présentent des différences significatives ( $p > 0,05$ ) entre les saisons pour tous les métaux lourds mesurés sauf pour le cadmium. Au cours de la saison sèche, les concentrations de mercure, de plomb et d'arsenic sont plus élevées dans les sédiments que celles enregistrées en saison des pluies. Ces concentrations moyennes en métaux lourds varient entre  $0,147 \pm 0,02$  (ST2) et  $0,180 \pm 0,02$  mg/kg (ST1) pour le cadmium ;  $0,173 \pm 1,72$  (ST1) et  $0,253 \pm 7,72$  mg/kg (ST3) pour le mercure ;  $5,430 \pm 3,68$  (ST2)

et  $9,013 \pm 3,58$  mg/kg (ST3) pour le plomb ; pour l'arsenic (Tableau III).  
 $5,410 \pm 0,60$  (ST1) et  $6,651 \pm 2,94$  mg/kg (ST2)

**Tableau III** : Variation saisonnière et valeurs moyennes de Cadmium (Cd), Mercure (Hg), Plomb (Pb) et Arsenic (As) dans les sédiments collectés dans les fermes ST1, ST2 et ST3 de février à juillet 2017.

*Seasonal variation and mean values of Cadmium (Cd), Mercury (Hg), Lead (Pb) and Arsenic (As) of sediments collected on farms ST1, ST2 and ST3 from February to July 2017.*

Métaux lourds (mg/kg)	Saisons	Stations		
		ST1	ST2	ST3
Cd	Sèche	$0,194 \pm 0,00$	$0,173 \pm 0,00$	$0,184 \pm 0,00$
	Pluies	$0,167 \pm 0,02$	$0,120 \pm 0,00$	$0,135 \pm 0,02$
	Moyenne	$0,180 \pm 0,02$	$0,147 \pm 0,02$	$0,160 \pm 0,02$
Hg	Sèche	$0,169 \pm 1,64$	$0,195 \pm 11,23$	$0,321 \pm 2,79^2$
	Pluies	$0,177 \pm 2,04$	$0,187 \pm 6,61$	$0,185 \pm 1,78^1$
	Moyenne	$0,173 \pm 1,72^a$	$0,191 \pm 8,25^a$	$0,253 \pm 7,72^b$
Pb	Sèche	$08,013 \pm 0,57^2$	$08,773 \pm 0,50^2$	$12,270 \pm 0,58^2$
	Pluies	$04,640 \pm 0,88^1$	$02,086 \pm 0,25^1$	$05,756 \pm 0,22^1$
	Moyenne	$06,326 \pm 1,96^a$	$05,430 \pm 3,68^a$	$09,013 \pm 3,58^b$
As	Sèche	$05,170 \pm 0,73$	$08,990 \pm 2,21^2$	$04,743 \pm 0,80$
	Pluies	$05,650 \pm 0,43$	$04,313 \pm 0,55^1$	$06,770 \pm 0,48$
	Moyenne	$05,410 \pm 0,60$	$06,651 \pm 2,94$	$05,756 \pm 1,25$

Les valeurs avec des chiffres 1, 2 en exposant présentent une différence entre les saisons pour une station donnée ( $p < 0,05$ ). Les valeurs moyennes avec des lettres a, b, c en exposant présentent une différence entre les fermes ( $p > 0,05$ ).

*Values with 1, 2 in superscript show a difference between seasons for a given station ( $p < 0.05$ ). Mean values with letters a, b, c in superscript show a difference between farms ( $p > 0.05$ ).*

### Concentrations en métaux lourds du muscle de *Oreochromis niloticus* des fermes

Les concentrations moyennes des métaux lourds dans le muscle de *Oreochromis niloticus* varient de  $0,021 \pm 0,00$  mg/kg (ST3) à  $0,027 \pm 0,00$  mg/kg (ST1) pour le cadmium, de  $0,068 \pm 0,03$  mg/kg (ST1) à  $0,077 \pm 0,02$  mg/kg (ST2) pour le mercure, de  $0,077 \pm 0,02$  mg/kg (ST3) à  $0,096 \pm 0,01$  mg/kg (ST1) pour le plomb et de  $1,266 \pm 0,24$  mg/kg (ST1) à  $1,450 \pm 0,38$  mg/kg (ST3) pour l'arsenic. Les valeurs moyennes ne montrent aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les fermes pour tous les métaux étudiés. Les concentrations saisonnières des métaux lourds dans le muscle de *Oreochromis*

*niloticus* sont comprises entre  $0,023 \pm 0,00$  et  $0,027 \pm 0,00$  mg/kg pour le cadmium, entre  $0,053 \pm 0,03$  et  $0,084 \pm 0,01$  mg/kg pour le mercure, entre  $0,052 \pm 0,01$  et  $0,105 \pm 0,02$  mg/kg pour le plomb et entre  $1,123 \pm 0,04$  et  $1,410 \pm 0,28$  mg/kg pour l'arsenic (Tableau IV). Les valeurs saisonnières de cadmium et de mercure ne montrent aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre la saison des pluies et la saison sèche au niveau de toutes les fermes. En revanche, celles de plomb et d'arsenic présentent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les saisons. En effet, les concentrations en plomb sont maximales durant la saison des pluies alors que celles de l'arsenic le sont pendant la saison sèche dans les fermes ST2 et ST3.

**Tableau IV** : Variation saisonnière de Cadmium (Cd), Mercure (Hg), Plomb (Pb) et Arsenic (As) en mg/kg mesurée dans le muscle du tilapia *Oreochromis niloticus* collecté dans les fermes ST1, ST2 et ST3 de février à juillet 2017.

*Seasonal variation of Cadmium (Cd), Mercury (Hg), Lead (Pb) and Arsenic (As) in mg/kg measured in the tilapia Oreochromis niloticus muscle collected on farms ST1, ST2 and ST3 from February to July 2017.*

Métaux lourds	Saisons	Stations		
		ST1	ST2	ST3
Cd	Sèche	0,026 ± 0,00	0,026 ± 0,00	0,023 ± 0,00
	Pluies	0,027 ± 0,00	0,021 ± 0,00	0,018 ± 0,00
	Moyenne	0,027 ± 0,00	0,023 ± 0,00	0,021 ± 0,00
Hg	Sèche	0,053 ± 0,03	0,071 ± 0,03	0,068 ± 0,01
	Pluies	0,084 ± 0,01	0,084 ± 0,02	0,084 ± 0,00
	Moyenne	0,068 ± 0,03	0,077 ± 0,02	0,076 ± 0,01
Pb	Sèche	0,090 ± 0,01	0,065 ± 0,00 <sup>1</sup>	0,052 ± 0,01 <sup>1</sup>
	Pluies	0,103 ± 0,01	0,105 ± 0,02 <sup>2</sup>	0,102 ± 0,00 <sup>2</sup>
	Moyenne	0,096 ± 0,01	0,085 ± 0,02	0,077 ± 0,02
As	Sèche	1,123 ± 0,04 <sup>1</sup>	1,643 ± 0,48 <sup>2</sup>	1,800 ± 0,07 <sup>2</sup>
	Pluies	1,410 ± 0,28 <sup>2</sup>	0,973 ± 0,11 <sup>1</sup>	1,110 ± 0,06 <sup>1</sup>
	Moyenne	1,266 ± 0,24	1,308 ± 0,48	1,450 ± 0,38

Les valeurs avec des chiffres 1, 2 en exposant présentent une différence entre les saisons pour une station donnée ( $p < 0,05$ ). Les valeurs moyennes avec des lettres a, b, c en exposant présentent une différence entre les fermes ( $p > 0,05$ ).

Values with 1, 2 in superscript show a difference between seasons for a given station ( $p < 0.05$ ). Mean values with letters a, b, c in superscript show a difference between farms ( $p > 0.05$ ).

## DISCUSSION

Les résultats des paramètres physico-chimiques ont montré que la température des eaux reste élevée dans toutes les fermes étudiées particulièrement dans la ferme ST2 ( $31,39 \pm 1,07$  °C). Ces valeurs élevées s'expliquent par le degré d'insolation et la faible profondeur des étangs (Lemoalle, 2006). Le caractère basique des eaux des fermes ST1 ( $8,03 \pm 0,48$ ) et ST3 ( $8,24 \pm 0,52$ ) pourrait s'expliquer par la formation des composés organiques azotés (Arfi et Guiral, 1994). En revanche, l'acidité des eaux de la ferme ST2 s'expliquerait par la qualité du substrat de cette ferme. En effet, selon Faurie (2011), le pH des eaux continentales est lié à la structure du sol. D'après cet auteur, le pH des eaux continentales est inférieur à 7 avec un sol non calcaire dont la capacité d'échange cationique est essentiellement constituée d'ions H<sup>+</sup>. Le faible taux d'oxygène dissous enregistré au niveau de la ferme ST2 est dû au faible débit de renouvellement des eaux. Par ailleurs, les valeurs maximales de la conductivité, des TDS et des MES observées au niveau de la ferme ST2 est le résultat d'une entrée massive de matières terrigènes transportées par les eaux de ruissellement (Coulibaly, 2013).

Cette étude révèle la présence de métaux lourds dans les eaux de toutes les fermes échantil-

lonnées. Le cadmium et l'arsenic présentent les concentrations les plus élevées. Ces forts taux de cadmium et d'arsenic peuvent s'expliquer par l'utilisation régulière d'herbicides et de pesticides dans les plantations aux alentours des fermes (Obasohan *et al.*, 2006). Aussi, l'étude a-t-elle indiqué qu'il n'existe aucune différence significative entre les stations pour les différentes concentrations en métaux lourds. En effet, toutes les fermes ont à proximité des plantations d'hévéas, de café et de cacao qui constituent des sources probables de contamination des milieux d'élevage en métaux lourds avec l'utilisation d'engrais et des produits phytosanitaires (Koffi *et al.*, 2014).

Les valeurs des métaux lourds (Cd, Pb, Hg, As) mesurées dans les sédiments des fermes sont en générale plus faibles pendant la saison des pluies. Cela est probablement dues aux phénomènes de dilution qui s'opèrent non seulement par des apports de sédiments moins contaminés (Keumean *et al.*, 2013) mais également par les mécanismes mis en jeu dans la répartition solide/liquide des cations métalliques. Les concentrations en plomb ( $5,430 \pm 3,68 - 9,013 \pm 3,58$  mg/kg valeur moyenne) restent les plus élevées dans les sédiments par rapport aux autres métaux. Ces concentrations sont supérieures aux valeurs rapportées ( $0,024$  et  $0,027$  mg/kg) dans deux fermes piscicoles en étangs à Kumasi au Ghana par Darko *et al.* (2016).

Plusieurs recherches ont été menées pour évaluer la contamination en métaux lourds des organes de poissons, tels que le foie, les reins, l'estomac, la peau, les branchies, les os, les muscles et la rate (Obasohan *et al.*, 2006 ; Abdel-Baki *et al.* 2011 ; Coulibaly, 2013). Le muscle est analysé en raison des risques de contamination humaine dus à la consommation du poisson. Les résultats de cette étude ont également montré la contamination aux métaux lourds (Cd, Hg, Pb, As) du muscle du tilapia *Oreochromis niloticus* pêché dans toutes les fermes échantillonnées et prêt à la consommation humaine. Toutefois, les concentrations en cadmium ( $0,021 \pm 0,00 - 0,027 \pm 0,00$  mg/kg), en plomb ( $0,077 \pm 0,02 - 0,096 \pm 0,01$  mg/kg) et en mercure ( $0,068 \pm 0,03 - 0,077 \pm 0,02$  mg/kg) enregistrées sont plus faibles que celles rapportées par Coulibaly *et al.* (2012). Ces auteurs ont noté des valeurs de  $0,64 \pm 0,52$  mg/kg pour le Cd,  $4,78 \pm 2,38$  mg/kg pour le plomb et  $0,33 \pm 0,24$  mg/kg pour le mercure dans le muscle de tilapia *Sarotherodon melanotheron* dans la baie de Biétri à Abidjan. Les concentrations en plomb et en arsenic dans le muscle du tilapia connaissent des fluctuations saisonnières dues probablement aux changements des propriétés physico-chimiques du milieu d'élevage d'une part, et d'autre part, aux facteurs intrinsèques du poisson tels que le cycle de croissance et de reproduction (Dural *et al.*, 2010).

De façon générale, les concentrations mesurées dans le muscle des poissons sont 10 fois plus faibles que celles enregistrées dans les sédiments. Ces niveaux relativement bas en métaux des poissons des fermes pourraient s'expliquer par différents facteurs, notamment la longueur de la chaîne alimentaire qui est considérée comme courte. Cet aspect a été invoqué pour expliquer les faibles niveaux de mercure dans le lac Victoria, malgré la présence de mercure total aqueux relativement élevé (Campbell *et al.*, 2003). De plus, sous des températures élevées comme celles rencontrées dans notre étude, divers organismes favorisent la déméthylation et la réduction du mercure (Barkay *et al.*, 2003 ; Poulain *et al.*, 2007) entraînant ainsi une augmentation du taux de volatilisation du mercure (Amyot *et al.*, 2000).

Les concentrations en arsenic ( $1,266 \pm 0,24 - 1,450 \pm 0,38$  mg/kg) dans le muscle de *Oreochromis niloticus* collecté dans les fermes sont largement inférieures à celles rapportées ( $22,54$  mg/kg) par Kamilou *et al.* (2014)

dans le muscle de *Pomadasys jubelini* du système lagunaire togolais. Dans le cas de notre étude, les poissons sont en milieu d'élevage. Ce qui est différent du milieu naturel. Le mode de vie de différentes espèces de poisson peut en partie expliquer la différence dans la bioaccumulation des métaux lourds. Toutefois, le niveau de pollution du milieu aquatique dans lequel vit le poisson est la principale cause de bioaccumulation. Les concentrations d'arsenic dans le muscle du tilapia ( $1,123 \pm 0,04$  et  $1,410 \pm 0,28$  mg/kg) enregistrées dans cette étude sont plus élevées que celles rapportées ( $0,039$  à  $0,42$  mg/kg) par Ouédraogo et Amyot (2013). Les fortes teneurs en As dans nos échantillons de poisson peuvent s'expliquer à la fois par les fortes concentrations en arsenic des eaux mais aussi par le métabolisme de cet élément (Mandal et Suzuki, 2002). En effet, la concentration musculaire nécessite le passage à travers les canaux ioniques de la membrane cellulaire d'un certain nombre d'ion dont le sodium. Ce cation présente une affinité avec l'arsenic. Cela expliquerait la concentration élevée de l'arsenic dans le muscle.

Les concentrations moyennes de cadmium, de mercure et de plomb dans le muscle du tilapia enregistrées dans cette étude sont inférieures aux normes maximales ( $0,05$  mg/kg pour le cadmium,  $0,5$  mg/kg pour le mercure et  $0,3$  mg/kg pour le plomb dans les poissons de consommation recommandées par FAO/OMS, 1991. En revanche, les concentrations en arsenic ( $1,266 \pm 0,24 - 1,450 \pm 0,38$  mg/kg) sont supérieures à la norme recommandée par l'OMS et la FAO qui est de  $0,1$  mg/kg (Kamilou *et al.*, 2014). Ces teneurs élevées de l'arsenic contribuent à une toxicité chronique du poisson (Beaumont *et al.*, 2000 ; Lin, 2009). Cette toxicité altère les fonctions physiologiques du poisson et pose non seulement un problème de la qualité et de la quantité du poisson, mais plus encore celui de la menace pour la santé des consommateurs de poissons. En effet, les métaux lourds ont tendance à s'accumuler chez les consommateurs du niveau trophique supérieur dans la chaîne alimentaire (Kamilou *et al.*, 2014).

## CONCLUSION

Cette étude a montré que les eaux des trois fermes choisies [en cage dans la lagune Aghien (ST1), en étang continental (ST2) et en cage dans le barrage de Taabo sur le fleuve Bandama

(ST3)] sont oxygénées, avec une température élevée. Le pH est basique pour les fermes ST1 et ST3 et acide pour la ferme ST2. La ferme ST2 est chargée en MES et en TDS avec une faible transparence. L'analyse des métaux lourds montre que le cadmium et l'arsenic sont présents dans l'eau à des teneurs plus élevées par rapport au mercure et au plomb. En revanche, dans les sédiments, les concentrations en mercure sont plus élevées. Les analyses du muscle du tilapia *Oreochromis niloticus* montrent la présence des micropolluants (Pb, Hg, Cd et As) à des doses relativement plus faibles que celles recommandées par l'OMS et la FAO pour la consommation humaine à l'exception de l'arsenic dont les teneurs sont plus élevées. Les concentrations élevées de l'arsenic dans le muscle de *Oreochromis niloticus* pourraient constituer des risques sanitaires. En effet, le danger de cette pollution métallique aquatique réside dans le risque toxicologique qui peut être induit lors de la consommation de ces produits, d'où son impact direct sur la santé humaine.

## REMERCIEMENT

Les auteurs voudraient exprimer leur sincère remerciement à l'Académie des Sciences et de la Culture Africaine et de la Diaspora (ASCAD) pour le financement de cette étude.

## REFERENCES

- Abdel-Baki A.S., M. A. Dkhil and S. Al-Quraishy. 2011. Bioaccumulation of some heavy metals in tilapia fish relevant to their concentration in water and sediment of wadihanifah, Saudi Arabia. *Afri. J. Biotechnol.* 10 : 2541 - 2547.
- Aminot A. and M. Chaussepied. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, (Eds.). Jouve, Paris, 395 p.
- Amyot M., D.R.S. Lean, L. Poissant and M.R. Doyon. 2000. Distribution and transformation of elemental mercury in the St. Lawrence River and Lake Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(1) : 155 - 163.
- Arfi R. and D. Guiral. 1994. Un écosystème estuarien eutrophe : la baie de Biétri. *In* : Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II. Les milieux lagunaires, (Eds.). ORSTOM, 363 p.
- Barkay T., M. S. Miller and A. O. Summers. 2003. Bacterial mercury resistance from atoms to ecosystems. *FEMS. Microbiol. Rev.* 27 : 355 - 384.
- Beaumont M.W., P. J. Butler and E. W. Taylor. 2000. Exposure of brown trout, *Salmo trutta*, to a sub-lethal concentration of copper in soft acidic water : effects upon muscle metabolism and membrane potential. *Aquat. Toxicol.* 51 : 259 - 272.
- Campbell L., D. G. Dixon and R. E. Hecky. 2003. A review of mercury in Lake Victoria, East Africa : implications for human and ecosystem health. *J. Toxicol. Environ. Health B.* 6 : 325 - 356.
- Coulibaly S., B. C. Atse, K. M. Koffi, S. Sylla, K. J. Konan and N. J. Kouassi. 2012. Seasonal Accumulations of Some Heavy Metal in Water, Sediment and Tissues of Black-Chinned Tilapia *Sarotherodon melanotheron* from Biétri Bay in Ebrié Lagoon, Ivory Coast. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 10 : 512 - 522.
- Coulibaly S., 2013. Bioaccumulation des métaux lourds et effets biologiques induits chez *Sarotherodon melanotheron rüppell*, 1852 pêché dans la Baie de Biétri en Lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 214 p.
- Darko G., D. Azanu and K. N. Logo. 2016. Accumulation of toxic metals in fish raised from sewage-fed aquaculture and estimated health risks associated with their consumption. *Cogent. Environ. Sc.* 2 : 1190116. <http://dx.doi.org/10.1080/23311843.2016.1190116>
- Dural M., E. Genc, S. Yemenicioglu and M.K. Sangun. 2010. Accumulation of some heavy metals seasonally *In* : *Hysterotylacium duncum* (Nematoda) and its host red sea Bream, *Pagellus erythrinus* (Sparidae) from Gulf of Iskenderun (North-Eastern Mediterranean). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 84 : 125 - 131.
- EFSA. 2011. Results on acrylamide levels in food from monitoring years 2007 - 2009 and exposure assessment. *EFSA. J.* 9 (4) : 1 - 5.
- EPA. 2007. SW-846 test methods for evaluating solid waste, physical-chemical methods, method 6010 C : inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. <http://www.epa.gov/OSW/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6010c.pdf>. Accessed 9 jan 2008. consulté le 19 - 11 - 2017.
- FAO. 2014. Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service. Rome (Italie) : FAO. <http://www.fao.org/figis/servlet/>

- SQServlet?ds=Aquaculture&k1=COUNTRY&k1v=1&k1s=107&outtype=html, consulté le 19 - 11 - 2017.
- FAO/OMS. 1991. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Rapport de la vingt-troisième session du comité du codex sur les additifs alimentaires et les contaminants, 81 p.
- Faurie C. 2011. Ecologie : Approche scientifique et pratique <https://books.google.ci/books?isbn=2743013109>, consulté le 01 Août 2018.
- Kamilou O. S., D. S.Hodabalo, G. Kissao, M. A. Komlanand J. B. Essô. 2014. Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *Vertigo* 14 (2) <https://vertigo.revues.org/15093>, consulté le 19 - 11 - 2017.
- Keumean K. N., S. B. Bamba, G. Soro, N. Soro, B. Métongaand J. Biémi. 2013. Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *J. Appl. Biosc.* 61 : 4530 - 4539.
- Koffi K.M., S. Coulibaly, B.C. Atsé and E.P. Kouamelan. 2014. Survey of heavy metals concentrations in water and sediments of the estuary Bietri bay, Ebrie lagoon brielagoon, Côte d'Ivoire. *Int. J. Res. Earth Environ. Sci.* 1 (3) : 1 - 10.
- Lazard J. 2017. Les systèmes aquacoles face au changement climatique. Article de synthèse. *Cah.Agric.* 26 : 1 - 11.
- Lemoalle J. 2006. La diversité des milieux aquatiques. *In* : Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme (Eds.). IRD, Paris, 230 p.
- Lin M. C. 2009. Risk assessment on mixture toxicity of arsenic, zinc and copper intake from consumption of milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal), cultured using contaminated groundwater in southwest Taiwan. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 83 : 125 - 129.
- Mandal B.K.andK.T. Suzuki. 2002. Arsenic round the world : a review. *Talanta.* 58 : 201 - 35.
- Obasohan E.E., J.A.O. Oronsayeand E.E. Obano. 2006. Heavy metal concentrations in *Malapterurus electricus* and *Chrysichthysni grodigitatus* from Ogba river in Benin City. *Afr. J. Biotechnol.* 5 : 974 - 982.
- Ouédraogo O. and M. Amyot. 2013. Mercury, arsenic and selenium concentrations in water and fish from sub-Saharan semi-arid freshwater reservoirs (Burkina Faso). *Sci Total Environ.* 444 : 243 - 254.
- Poulain A. J., S. M. N. Chadhain, P. A. Ariya, M. Amyot, E. Garcia, P. G. C. Campbell, G. J. Zylstra and T. Barkay. 2007. Potential for mercury reduction by microbes in the high arctic. *J. Appl. Environ. Microbiol.* 73 : 2230 - 2238.
- Yao K. M., M. S. Soro, A. Trokourey and Y. Bokra. 2009. Assessment of sediments contamination by heavy metals in tropical lagoon urban area (Ebrie lagoon, Côte d'Ivoire). *Eur. J. Sci. Res.* 2 : 280 - 289.