

Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais

Kamilou Ouro-Sama, Hodabalo Dheoulaba Solitoke, Kissao Gnandi, Komlan Mawuli Afiademanyo et Essô Joseph Bowessidjaou

Volume 14, numéro 2, septembre 2014

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1034695ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Ouro-Sama, K., Solitoke, H. D., Gnandi, K., Afiademanyo, K. M. & Bowessidjaou, E. J. (2014). Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *VertigO*, 14(2).

Résumé de l'article

La bioaccumulation du cadmium, du plomb et de l'arsenic par les poissons et bivalves couramment pêchés dans le système lagunaire togolais a été évaluée afin d'en estimer les risques sanitaires liés à leur consommation. Il ressort des résultats que tous les poissons analysés sont pollués. Les moyennes des teneurs en cadmium (0,33 mg/kg pour *Caranx hippos* à 0,98 mg/kg pour *Hemichromis fasciatus*), en plomb (1,17 mg/kg pour *Liza falcipinnis* à 2,89 mg/kg pour *Lutjanus goreensis*) et en arsenic (9,41 mg/kg pour *C. hippos* à 22,54 mg/kg pour *Pomadasys jubelini*) sont supérieures aux normes fixées par l'OMS. Les Facteurs de Bioconcentration (FBC) varient de 6,94 à 20,36 pour le Cd, de 9,58 à 23,67 pour le Pb et de 2,30 à 5,52 pour l'As. Quant aux bivalves les teneurs moyennes indiquent une forte concentration en Arsenic (56,06 mg/kg pour *Senilia senilis* et 47,76 mg/kg pour *Crassostrea gasar*) suivie du plomb (2,83 mg/kg pour *S. senilis* et 2,95 mg/kg pour *C. gasar*) et enfin le cadmium (0,97 mg/kg pour *S. senilis* et 0,83 mg/kg pour *C. gasar*). Les FBC varient de 16,6 à 19,14 pour le Cd, de 39,86 à 41,55 pour le Pb et de 19,10 à 34,42 pour l'As. En outre, il a été montré que la bioaccumulation de ces trois éléments varie en fonction de l'espèce considérée ainsi que de son habitat. La consommation de ces poissons et bivalves pourrait avoir des impacts négatifs sur la santé humaine en général et celle des enfants en particulier.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2014



Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

<https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

**Kamilou Ouro-Sama, Hodabalo Dheoulaba Solitoke, Kissao Gnandi,
Komlan Mawuli Afiademanyo et Essô Joseph Bowessidjaou**

Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais

Introduction

- 1 Les pollutions d'origine métallique constituent un des risques majeurs dans le monde actuel. C'est un problème d'actualité qui préoccupe toutes les régions soucieuses de maintenir leur patrimoine côtier à un haut degré de qualité (Ben Bouih et al., 2005). En effet, plusieurs métaux lourds peuvent être très dangereux pour la santé de l'Homme et pour les autres êtres vivants lorsqu'ils sont présents dans l'environnement à des concentrations élevées (Fakayode, 2005).
- 2 Ainsi, la présence des éléments traces métalliques (ETM) dans les milieux aquatiques induit des effets dévastateurs sur la balance écologique de l'environnement aquatique (Katemo Manda et al., 2010). Les milieux aquatiques sont très sensibles aux éléments traces métalliques par la coexistence des phénomènes de bioaccumulation et de bioamplification. En effet, ces éléments traces se concentrent dans l'eau et les microorganismes aquatiques entraînant ainsi leur bioaccumulation dans les ressources aquatiques. Ces organismes vivants peuvent accumuler les polluants (dont les éléments traces) à des concentrations supérieures à celles de leur biotope (Ogindo, 2001 ; Tabinda et al., 2010).
- 3 Au Togo, l'exploitation des phosphates de Hahotoe et de Kpogamé (très concentrés en éléments traces métalliques) à ciel ouvert dans le bassin du Lac Togo depuis 1962, libère dans la région de ces éléments traces (Gnandi, 1998). Plusieurs études ont été menées dans cette région pour évaluer l'impact de l'exploitation des phosphates sur les écosystèmes surtout en ce qui concerne les éléments traces métalliques. Ainsi, des études sur la pollution des eaux de surface, des sols, des produits agricoles et des sédiments par ces éléments traces (Gnandi, 1998 ; 2002 ; 2003 ; Gnandi and Tobschall, 2001 ; Bodjock, 2003 ; Aduayi-Akue, 2010) de même que sur leur bioaccumulation dans les espèces animales aquatiques (Abbé, 2004 ; Gnandi et al., 2006) ont été réalisées.
- 4 Le système lagunaire togolais n'est donc pas épargné par la pollution métallique due à l'exploitation des phosphates (Gnandi, 2002) à laquelle pourrait s'ajouter celle due aux déchets ménagers, aux intrants agricoles, ainsi que celle d'origine tellurique (érosion des sols et des roches du bassin). Ceci représente une véritable menace pour la santé humaine du fait des phénomènes de la bioaccumulation dans les ressources halieutiques qui sont consommées par la population. En effet, la production halieutique du système lagunaire togolais est estimée à 1000 tonnes par an (FAO, 2007). La pêche constitue la principale activité des populations riveraines. L'objectif de ce travail est d'évaluer le niveau d'accumulation des éléments traces métalliques (Cd, Pb et As) dans les muscles des poissons et des bivalves couramment pêchés dans le système lagunaire togolais en vue d'une estimation du risque sanitaire encouru par la population.

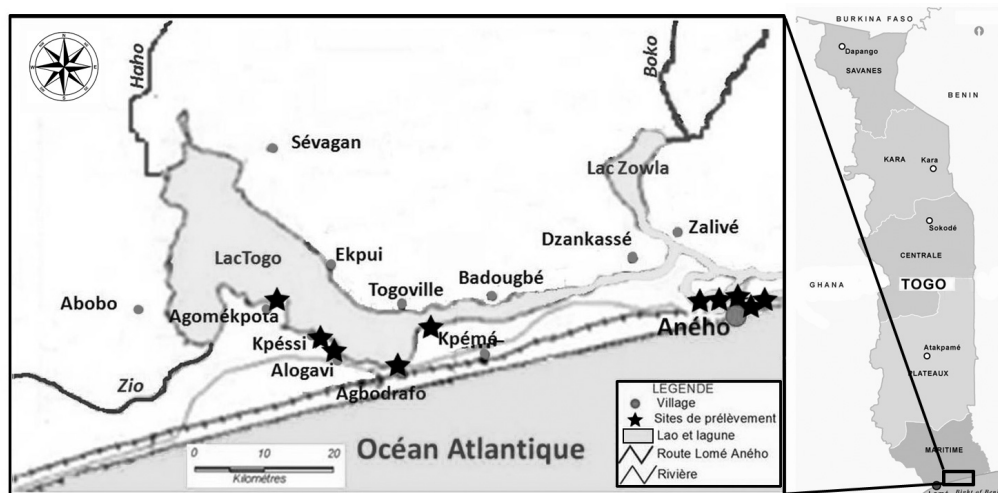
Matériel et Méthodes

Zone d'étude

- 5 Le système lagunaire togolais (comprenant 10 sites de prélèvements) est situé sur le littoral au sud-est du Togo entre 6° 14' 25,66'' et 6° 16' 37,63'' de latitude Nord et 1° 22' 56,35'' et 1° 36' 50,29'' de longitude Est (Figure 1). Il fait partie du réseau de lagunes du golfe de Guinée qui va de la Côte d'Ivoire jusqu'au Nigéria. Il a une superficie totale de 64 km² et est composé du Lac Togo (46 km²), de la lagune de Togoville qui est un chenal de 13 km parallèle

à la côte dont la largeur varie entre 150 et 900 m, du lac de Zowla (6,55 km²), et de la lagune d'Aného au Sud-est constituée d'un réseau de chenaux étroits, de profondeur qui va de 4 à 11 m. L'ensemble du système lagunaire communique avec la mer par la passe d'Aného qui est ouvert en permanence depuis 1989 (Millet, 1983 ; MERF, 2007). Le régime hydrologique du système lagunaire est principalement en fonction du régime des rivières Zio, Haho et Boko (MERF, 2007). La zone d'extraction et l'usine de traitement des phosphates du Togo font partie du bassin versant du Lac Togo.

Figure1. Localisation de la zone d'étude et des sites de prélèvement. / Location of the study area and sampling sites.



Échantillonnage

- 6 Les échantillons ont été prélevés durant la période de décembre 2011 à mars 2012, juste à l'arrivée des pêcheurs sur la rive à Alogavi et à Agbodrafo pour les poissons et le long de la lagune d'Aného (comprenant 5 sites de prélèvement dans la ville d'Aného) pour les bivalves conformément à la méthode de Pascal *et al.* (2008) pour représenter les poissons couramment pêchés et par conséquent, les plus consommés par la population. Les poissons (32 échantillons pour toutes les espèces confondues) ont été mis dans une glacière contenant du matériel réfrigérant (glaçons). Les bivalves (22 échantillons pour les deux espèces) ont été mis séparément dans deux bocaux stériles contenant de l'eau de robinet pour qu'ils purgent pendant 48 heures. Dix échantillons d'eaux de surface (environ 30 cm de la surface de l'eau) ont été prélevés dans des bouteilles en plastique stériles de 500 ml. Après identification des animaux au laboratoire de Zoologie, tous les échantillons ont été transportés au laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD) de l'Université de Lomé pour analyse.

Dosage des éléments traces métalliques

- 7 Les animaux ont été séchés à l'étuve (marque Memmert U50) à 75 °C pendant 72 heures. Les muscles des poissons et des bivalves ont été ensuite finement broyés dans un mortier. Une quantité de 3 g de chaque échantillon a été mise dans des tubes en téflon auxquels 6 ml d'acide nitrique (68 %) ont été ajoutés puis fermés à l'aide des verres de montre. Après solubilisation, les tubes ont été placés au bain de sable progressivement chauffé jusqu'à une température atteignant 130 °C jusqu'à évaporation totale de l'acide. Les culots obtenus sont dissouts à chaud avec de l'eau distillée. Après refroidissement, chaque solution issue de l'attaque acide a été jaugée dans une fiole de 25 ml. Après homogénéisation, la solution est filtrée à l'aide d'un papier-filtre. Parallèlement, deux solutions témoins (6 ml d'HNO₃ à 68 %) ont été préparées dans les mêmes conditions. Le dosage des éléments traces métalliques a été effectué à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique à flamme de type Thermo Electron Corporation.S.Serie AA Spectrometer. Les échantillons d'eau destinés au dosage des éléments traces métalliques ont été préalablement acidifiés par l'acide nitrique. Une autre partie est

prélevée pour la mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre de type Crison BASIC 20⁺ et de la conductivité avec un conductimètre de type WTW 315i. Les résultats sont exprimés en mg/kg de poids sec. Les facteurs de bioconcentration (FBC) sont calculés par la formule utilisée par Casas (2005) :

$$8 \quad \text{FBC} = \text{Co}/\text{Ce}$$

9 où Co = concentration en éléments traces de l'organisme ; Ce = concentration environnementale (eau). Les deux sont exprimées en mg/kg.

Méthode d'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des poissons et des bivalves pollués par les éléments traces.

10 L'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des poissons pollués par les éléments traces métalliques suivra quatre principales étapes (Gay et *al.*, 2007) :

- Identification du danger.
- Choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR). (Bisson et *al.*, 2009)
- Évaluation de l'exposition de la population.

11 Elle aboutit au calcul de la dose journalière d'exposition (DJE). Les scénarios d'exposition où l'individu est le plus exposé (hypothèse maximaliste) seront utilisés. En effet, par hypothèse, la quantité annuelle moyenne de poissons ingérée par un enfant sera considérée comme égale à celle d'un adulte. La quantité moyenne de poissons offerte à un Togolais est de 9,2 kg/an (0,025 kg/j) (FAO, 2007). En outre, il sera considéré que l'individu consomme cette quantité de poissons chaque jour. La DJE des polluants liée à la consommation des poissons est déterminée comme suit :

$$12 \quad \text{DJE} = \text{C} \times \text{Q} \times \text{F}/\text{P}$$

13 où DJE = Dose journalière d'exposition aux éléments traces (mg/kg/j) ; C = Concentration en éléments traces des poissons (mg/kg) ; Q = Quantité de poisson ingérée par jour, (kg/j) ; F = Fréquence d'exposition (F = 1), il est sans unité ; P = Poids corporel de la cible (kg).

14 Le poids corporel moyen des enfants de 0 à 15 ans est de 28 kg et celui d'un adulte est conventionnellement égal à 70 kg selon l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) (ASTEE, 2003) ;

Caractérisation du risque

15 La caractérisation du risque pour les effets à seuil est exprimée par le quotient de danger (QD). Il est calculé pour la voie d'exposition orale de la manière suivante :

$$16 \quad \text{QD} = \text{DJE}/\text{DJA}$$

17 Où DJE = Dose Journalière d'Exposition (mg/kg/j) ; DJA = Dose Journalière Admise (mg/kg/j).

18 Si QD < 1, la survenue d'un effet toxique est très peu probable ;

19 Si QD > 1, l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclue.

20 En ce qui concerne les bivalves, les données sur leur consommation dans le milieu sont inexistantes. De ce fait, les quantités ingérées seront estimées en fonction des déclarations faites par les populations locales sur la consommation de ces bivalves ainsi que des observations sur le terrain. Trois scénarios d'exposition seront donc considérés pour le calcul des DJE qui seront comparées aux DJA (ou VTR) pour les adultes et les enfants.

Contrôle de qualité

21 La validité des méthodes analytiques a été vérifiée par contrôle interne. Un blanc de procédure a été préparé simultanément avec le même acide (HNO₃ à 68 %) que pour les échantillons dans les mêmes conditions expérimentales et mesuré pour chacune des séries d'échantillons. Ce qui a permis de mettre en évidence la contamination de l'échantillon par des composés parasitant et d'éliminer les erreurs de quantification. Des solutions étalons pour chaque élément dosé ont été préparées et incorporées dans la série normale d'analyses à intervalles donnés afin de vérifier la fidélité interne de la méthode. En outre, afin de vérifier la répétabilité des résultats, des dosages multiples sur un même échantillon (les doublons) ont été incorporés dans le lot analytique de façons aléatoires, et ceci à l'insu de l'analyste.

Traitements statistiques

- 22 Les logiciels Microsoft Excel 2007 et STATISTICA version 5.1 ont été utilisés pour le traitement des données. Ainsi, une analyse des variances (ANOVA) a été réalisée afin de mettre en évidence les variations interspécifiques des teneurs en éléments traces métalliques. Le test t de Student au seuil de 5 % a été utilisé pour comparer les concentrations en éléments traces métalliques aux valeurs normes préconisées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ainsi que pour la comparaison des teneurs en éléments traces métalliques des poissons en fonction de leur habitat. De plus, le test de corrélations de Pearson a été utilisé pour établir une relation entre les teneurs en éléments traces métalliques des eaux et celles des produits halieutiques.

Résultats

Conductivité électrique et pH des eaux

- 23 Les résultats d'analyse de l'eau montrent que le pH des eaux de la lagune d'Aného varie entre 6,90 et 8,22. Celui des eaux du lac Togo varie de 6,73 à 7,37. Elles sont toutes comprises entre les valeurs préconisées par l'OMS (6,5-9,5) (OMS, 2006) en ce qui concerne l'eau potable. La concentration minimale de 6,73 est obtenue dans le lac Togo à Kpéssi et la concentration maximale qui est de 8,22 dans la lagune d'Aného à proximité de la passe. La conductivité des eaux varie de 47 000 à 51 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la lagune d'Aného et de 14 880 à 21 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le lac Togo. La conductivité électrique des eaux diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la passe d'Aného vers le lac Togo. De ce fait, les eaux de la lagune d'Aného sont plus minéralisées que celles du lac Togo. Ceci est dû à l'influence des eaux marines sur celles lagunaires surtout en période des hautes marées associées à l'ouverture de la passe d'Aného. Ainsi, la pollution des eaux marines par les effluents phosphatés qui y sont déversés de même que celle issue du déversement des déchets solides phosphatés sur la plage entraîne celle des eaux lacustres.

Concentration en éléments traces métalliques des eaux

- 24 Les concentrations moyennes en Cd, en Pb et en As sont respectivement de 0,05, 0,07 et 2,51 mg/l dans la lagune d'Aného et de 0,05, 0,12 et 4,09 mg/l dans le lac Togo. Elles sont toutes supérieures aux normes recommandées par l'OMS pour l'eau potable qui sont respectivement de 0,003, 0,01 et 0,01 mg/l (WHO, 2011). Il en ressort que ces eaux sont polluées par le cadmium, le plomb et l'arsenic.

Bioaccumulation des éléments traces par les poissons et les bivalves

- 25 Les teneurs en éléments traces métalliques des espèces de poissons et de bivalves sont respectivement présentées dans le tableau 1 et le tableau 2.

Tableau 1. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les muscles des espèces de poissons / Average contents of metallic trace elements in muscles of fish species.

Espèces de poissons	Éléments traces métalliques (mg/kg)								
	Cd			Pb			As		
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
<i>Chrysichthys nigrodigitata</i> (n = 4)	0,86	0,90	0,51	1,50	2,18	1,81	11,64	17,07	14,74
<i>Pomadasys jubelini</i> (n = 2)	0,38	0,44	0,41	1,15	1,56	1,35	20,99	24,08	22,54
<i>Liza falcipinnis</i> (n = 3)	0,34	0,38	0,37	1,02	1,42	1,17	6,97	11	9,46
<i>Synodontis schall</i> (n = 3)	0,33	0,40	0,36	1,20	1,31	1,24	6,30	26,71	16,97

<i>Monodactylus sebae</i> (n = 3)	0,33	0,40	0,37	1,11	1,88	1,45	1,58	20,87	11,68
<i>Tilapia zillii</i> (n = 4)	0,28	0,42	0,36	1,27	2,33	1,81	8,37	11,32	10,48
<i>Tilapia guineensis</i> (n = 4)	0,37	0,40	0,38	0,85	1,94	1,35	7,73	23,80	13,71
<i>Lutjanus goreensis</i> (n = 2)	0,38	0,55	0,46	2,23	3,55	2,89	16,85	27,90	22,37
<i>Caranx hippos</i> (n = 3)	0,31	0,36	0,33	1,39	1,82	1,58	6,26	2,52	9,41
<i>Hemichromis faciatus</i> (n = 4)	0,32	2,89	0,98	1,25	1,82	1,53	9,50	19,88	15,66
Moyennes totales	-	-	0,45	-	-	1,62	-	-	14,70
Normes OMS			0,05			0,2			0,1

Légende : Min = Minimum ; Max = Maximum ; Moy = Moyenne / Avg = Average

Tableau 2. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les muscles des espèces de bivalves / Average levels of metallic trace elements in muscles of bivalve species.

Espèces de bivalves	Éléments traces (mg/kg)								
	Cd			Pb			As		
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
<i>Senilia senilis</i> (n = 16)	0,60	1,03	0,97	0,87	4,54	2,84	25,05	99,18	56,06
<i>Crassostrea gasar</i> (n = 6)	0,68	1,03	0,83	0,79	4,12	2,95	30,67	94,63	47,76
Moyennes totales	-	-	0,90	-	-	2,90	-	-	51,91
Normes OMS			2			2			0,1

26

Les facteurs de bioconcentration des espèces étudiées sont consignés dans le tableau 3.

Tableau 3. Facteurs de bioconcentration (FBC) des éléments traces métalliques / Bioconcentration factors (BCF) of metallic trace elements.

Espèces étudiées	Facteurs de bioconcentration (FBC)		
	Cd	Pb	As
Poissons			
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i> (n = 4)	10,59	14,83	3,61
<i>Pomadasys jubelini</i> (n = 2)	8,53	11,08	5,52
<i>Liza falcipinnis</i> (n = 3)	7,66	9,58	2,32
<i>Synodontis schall</i> (n = 3)	7,46	10,13	4,15
<i>Monodactylus sebae</i> (n = 3)	7,7	11,89	2,86
<i>Tilapia zillii</i> (n = 4)	7,46	14,87	2,56
<i>Tilapia guineensis</i> (n = 4)	7,88	11,06	3,35
<i>Lutjanus spp</i> (n = 2)	9,64	23,67	5,48
<i>Caranx hippos</i> (n = 3)	6,94	12,91	2,3
<i>Hemichromis faciatus</i> (n = 4)	20,36	12,57	3,83

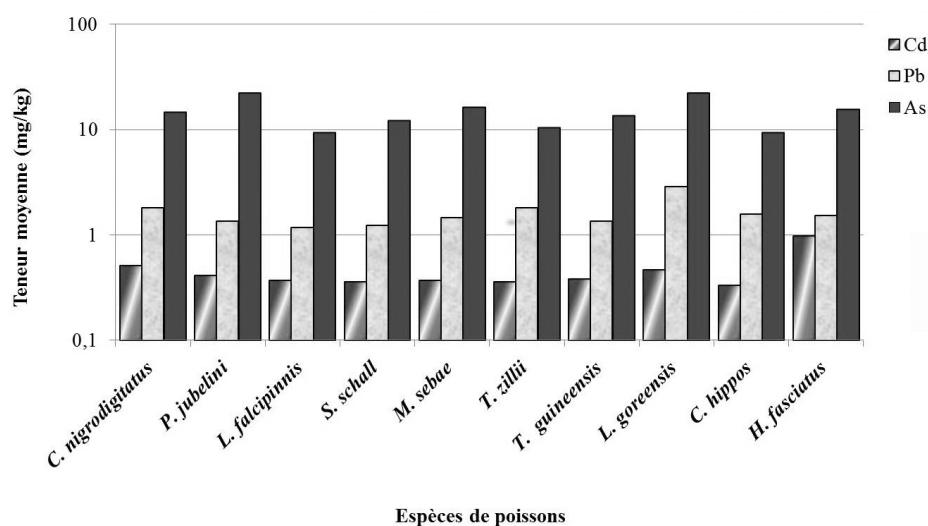
Bivalves			
<i>Senilia senilis</i> (n = 16)	19,4	39,86	22,64
<i>Crassostrea gasar</i> (n = 6)	16,6	41,55	19,1

- 27 Le tableau 3 indique que chez les poissons, le plus fort concentrateur du Cd est *Hemichromis fasciatus* avec une teneur moyenne de 0,98 mg/kg correspondant à un facteur de bioconcentration de 20,36. Le plus faible concentrateur est *Caranx hippos* avec une teneur de 0,33 mg/kg correspondant à un facteur de bioconcentration de 6,94 (Tableau 3). Quant aux bivalves, les tableaux 2 et 3 montrent que *Senilia senilis* a plus concentré le Cd que *Crassostrea gasar* avec des teneurs moyennes respectives de 0,97 et 0,83 mg/kg. Ceci correspond aux facteurs de bioconcentration de 19,4 pour *S. senilis* et 16,6 pour *C. gasar*.
- 28 L'observation des tableaux 1 et 3 montre que le maximum de bioaccumulation du Pb est obtenu chez *Lutjanus goreensis* avec une teneur moyenne de 2,89 mg/kg correspondant à un facteur de bioconcentration de 23,67. La teneur moyenne minimale (1,17 mg/kg) est obtenue chez *Liza falcipinnis* avec un plus faible facteur de bioconcentration (9,58). Les tableaux 2 et 3 révèlent que chez les bivalves, le plus concentrateur du Pb est *C. gasar* avec une teneur moyenne de 2,95 mg/kg correspondant à un facteur de bioconcentration de 41,55. Le moins concentrateur est *S. senilis* avec une teneur moyenne de 2,84 mg/kg correspondant à un facteur de bioconcentration de 39,86.
- 29 La teneur maximale de l'As pour les poissons (22,54 mg/kg) s'observe chez *Pomadasys jubelini* avec un facteur de bioconcentration de 5,52. Le plus faible concentrateur de l'As est *Caranx hippos* (9,41 mg/kg) correspondant à un facteur de bioconcentration de 2,30 (Tableau 1 et 3). Les teneurs moyennes en As des bivalves varient de 47,76 mg/kg chez *C. gasar* à 56,06 mg/kg chez *S. senilis*. Les facteurs de bioconcentration sont de 19,1 pour *C. gasar* et de 22,64 pour *S. senilis*. Il faut noter que *Senilia senilis* accumule plus l'Arsenic (56,6 mg/kg) et le Cadmium (0,97 mg/kg) que *Crassostrea gasar* qui accumule plus de Plomb (2,95 mg/kg).

Comparaison de la bioaccumulation des éléments traces (Cd, Pb et As) dans chaque espèce de poisson et de bivalve

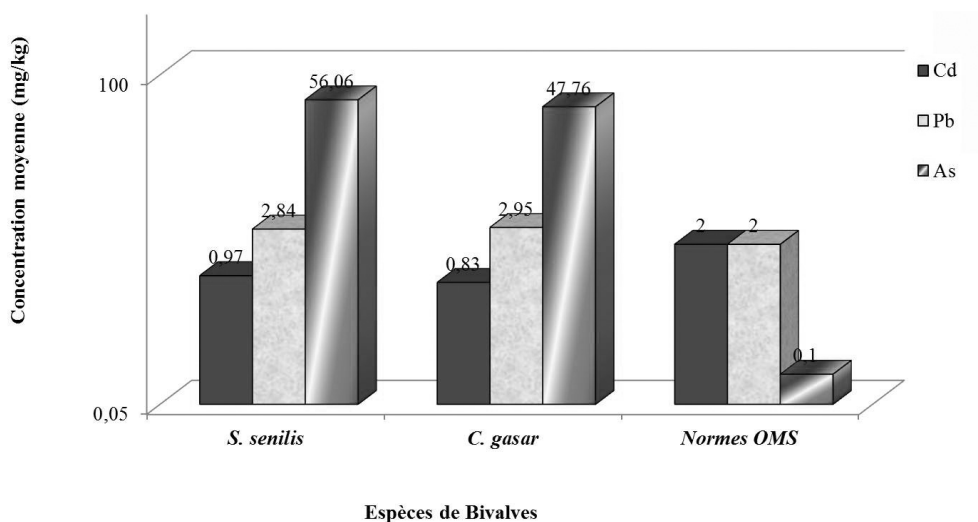
- 30 Les figures 2 et 3 indiquent respectivement les teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans chaque espèce de poisson et dans chaque espèce de bivalve.

Figure 2. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les muscles des différentes espèces de poissons. / Average levels of metallic trace elements in muscles of different fish species.



Note : l'axe des ordonnées est à l'échelle logarithmique. /Y-axis is in ratio scale

Figure 3. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les muscles de *Senilia senilis* et *Crassostrea gasar*. / Average contents of metallic trace elements in muscles of *Senilia senilis* and *Crassostrea gasar*.

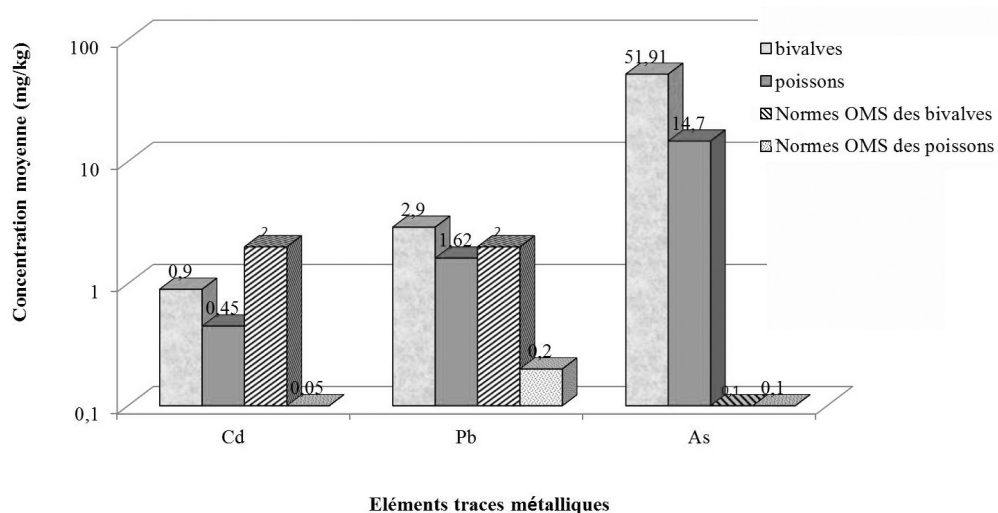


Note : l'axe des ordonnées est à l'échelle logarithmique. /Y-axis is in ratio scale

31 Les figures 2 et 3 montrent que toutes les espèces ont accumulé les éléments traces métalliques selon un même ordre de grandeur. Ceci reflète l'ordre de grandeur des teneurs en éléments traces métalliques des eaux. Ainsi, une forte et significative corrélation ($r = 0,998$; $p < 0,037$) a été obtenue entre les teneurs en éléments traces métalliques des eaux et celles des poissons. Pour toutes les espèces, l'As est l'élément le plus accumulé suivi du Pb et en fin le Cd ; cependant, c'est l'élément trace métallique le plus toxique des trois. Il faut noter que l'analyse de la variance (ANOVA) a montré une variation interspécifique significative des teneurs moyennes en Cd ($F = 4,37$; $p < .0,0004$), en Pb ($F = 29,67$; $p < 0,0001$) et en As ($F = 9,13$; $p < 0,0001$) chez les poissons. En outre, des différences significatives des teneurs ont été notées entre certaines espèces de poissons en fonction des de leurs habitats (test t au seuil de 5 %). En effet, la teneur moyenne en Cd de l'espèce pélagique *M. sebae* est significativement inférieure à celle de *C. nigrodigitatus* (démersale) ($t = 2,21$; $p < 0,041$) et de *H. fasciatus* (benthopélagique) ($t = -2,09$; $p < 0,041$). Aussi, sa teneur moyenne en plomb est-elle inférieure à celle de *T. zillii* (benthopélagique) ($t = -3,03$; $p < 0,004$). La teneur moyenne en arsenic de *M. sebae* s'est aussi révélée inférieure à celle de *H. fasciatus* ($t = 2,46$; $p < 0,017$) et de *P. jubelini* (démersale) ($t = 2,59$; $p < 0,019$).

Comparaison des concentrations moyennes en Cd, Pb et As dans les poissons et les bivalves

32 La figure 4 indique les teneurs moyennes en éléments traces métalliques de toutes les espèces confondues aussi bien chez les poissons que chez les bivalves.

Figure 4. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les muscles des poissons et des bivalves. / Average contents of metallic trace elements in muscles of fish and bivalves.

Note : l'axe des ordonnées est à l'échelle logarithmique. /Y-axis is in ratio scale

33 La figure 4 montre que les bivalves ont plus bioaccumulé le Cd, le Pb et l'As que les poissons. En effet, les teneurs moyennes en Cd, Pb et As de toutes les espèces sont respectivement de 0,9 mg/kg, 2,9 mg/kg et 51,91 mg/kg contre 0,45 mg/kg, 1,62 mg/kg et 14,7 mg/kg chez les poissons.

Risque sanitaire lié à la consommation des poissons du lac Togo et bivalves de la lagune d'Aného

34 Les populations régulièrement exposées sont les riverains, en particulier les pêcheurs et leur famille qui consomment du poisson au moins une fois par jour. Toutefois, ces poissons peuvent parvenir sur tous les plats des Togolais, car aucune source n'est indiquée pour les poissons vendus sur le marché. Cette étude porte sur la voie orale et concerne les expositions chroniques uniquement.

35 Les valeurs des doses journalières admises (DJA) les plus protectrices donc les plus faibles et les années de révision les plus récentes et issues des études épidémiologiques chez l'homme ont été privilégiées. Ainsi, selon le rapport de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) (Bisson et al., 2009), pour les effets chroniques à seuil, l'ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) recommande pour le Cd 2.10^{-4} mg/kg/j et pour l'As 3.10^{-4} mg/kg/j, l'OMS préconise pour le Pb $3,6. 10^{-3}$ mg/kg/j.

36 Les résultats de l'évaluation de l'exposition au Cd, Pb et As liée à l'ingestion des poissons ainsi que les quotients de danger (QD) correspondants chez les adultes et les enfants sont reportés dans le tableau 4.

Tableau 4. Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les enfants et les adultes / Daily dose of exposure and hazard quotient in children and adults.

Éléments traces	Q (kg/j)	C (mg/kg)	DJA (mg/kg/j)	P (kg)		DJE (mg/kg/j)		QD	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Cd	0,025	0,45	2.10^{-4}	70	28	$1,6.10^{-4}$	$4,1.10^{-4}$	0,81	2,04
Pb		1,62	$3,6.10^{-3}$			$5,8.10^{-4}$	$1,6.10^{-3}$	0,16	0,4
As		14,7	3.10^{-4}			$5,3.10^{-3}$	$1,3.10^{-3}$	17,64	44,11

37 Selon les scénarios d'exposition susmentionnés, la survenue d'un effet toxique provenant du cadmium et lié à la consommation des poissons du lac Togo est peu probable ($QD = 0,81 < 1$) chez les adultes. Cependant, l'on peut s'attendre à des effets toxiques chez les enfants ($QD = 2,04 > 1$) en raison de leur faible poids corporel. Il n'y a pas de risque d'effets toxiques lié au plomb en ce qui concerne la consommation des poissons du lac aussi bien chez les adultes ($QD = 0,16 < 1$) que chez les enfants ($QD = 0,40 < 1$). Les quotients de danger de l'arsenic

pour les adultes (17,64) et pour les enfants (44,11) sont tous très supérieurs à 1 ; ceci pourrait entraîner des effets toxiques liés à l'arsenic sur la population consommatrice de ces poissons.

38 Les observations sur le terrain ont permis de constater que les bivalves sont beaucoup plus abondants pendant la saison pluvieuse dans le milieu qui va d'avril/mai à septembre/octobre. Les femmes sont surtout celles qui s'occupent de la pêche et de la transformation des bivalves. En effet, deux espèces de bivalves sont principalement pêchées dans la lagune d'Aného : *Crassostrea gasar* et *Senilia senilis*. Les *Crassostrea gasar* sont frits et consommés par la population locale et les passants, car vendus sur les marchés locaux ; les *Senilia senilis* dont les coquilles sont écrasées puis mélangées aux nourritures des volailles dans le but d'aiguiser leur bec. Toutefois, il faut noter que les bivalves sont moins appréciés dans le milieu. Par conséquent, il n'existe pas de donnée sur leur niveau de consommation. De ce fait, trois hypothèses sur le niveau de consommation ont été émises puis comparées aux doses journalières admises (DJA) des éléments traces métalliques (Tableau 5)

Tableau 5. Résultats de l'évaluation de l'exposition au Cd, Pb et As liée à l'ingestion des bivalves/Results of the evaluation of exposure to Cd, Pb and As related ingestion of bivalve

ETM	Quantité d'éléments traces ingérée selon les expositions (mg/j)			DJA en fonction du poids corporel (mg/j)	
	5 g/j de bivalves	10 g/j de bivalves	20 g/j de bivalves	70 kg	28 kg
Cadmium	0,0045	0,009	0,018	0,014	0,0056
Plomb	0,0145	0,029	0,058	0,252	0,1008
Arsenic	0,2595	0,519	1,038	0,021	0,0084

39 Le tableau 5 indique que l'ingestion de 10 g/j de bivalves n'est susceptible d'entraîner des effets toxiques liés au Cadmium que chez les enfants. Par contre, l'ingestion de 20 g/j de bivalves constituerait un danger lié au cadmium aussi bien pour les adultes que pour les enfants. En outre, la quantité de plomb par 20 g/j de bivalves est inférieure à la DJA chez les adultes et chez les enfants ; ce qui n'entraînerait pas de problèmes sanitaires liés au plomb via la consommation de cette quantité de bivalves par jour. La quantité d'arsenic dans 5 g/j de bivalves est de 12,84 fois et de 32,10 fois supérieures à la DJA respectivement pour les adultes et pour les enfants.

Discussion

Bioaccumulation des éléments traces métalliques par les poissons et les bivalves

40 L'ordre d'accumulation des éléments traces métalliques dans les différentes espèces animales étudiées (Cd < Pb < As) (Figure 2) obéit à leur ordre de concentration dans les sédiments et dans l'eau du système lagunaire. En effet, selon Gnandi (2002) les sédiments du lac Togo ont des teneurs moyennes en cadmium (0,18 ppm) qui sont inférieures à celles du plomb (69 ppm). En outre, l'analyse des eaux du lac Togo et de la lagune d'Aného dans la présente étude révèle le même ordre de classement. Il faut noter que la teneur des eaux en éléments traces dépend de celle des sédiments qui sont des réservoirs de polluants. Youssao et al. (2011) ont obtenu une corrélation positive et significative ($r = 0,93$; $p < 0,001$) entre les teneurs en plomb des sédiments et celles de l'eau dans le complexe lagunaire Nokoué-chenal de Cotonou. De ce fait, les animaux concentrent les éléments traces en fonction de leur biodisponibilité dans leur biotope. Ceci explique la forte et significative corrélation ($r = 0,998$; $p < 0,037$) obtenue dans

41 la présente étude entre les teneurs en éléments traces de l'eau et celles des poissons étudiés. Les travaux de Gnandi (2002) ont démontré que l'exploitation des phosphates constitue la principale source de pollution par les éléments traces des eaux lacustres via les eaux de ruissellement lessivant les sols miniers et drainées par la rivière Haho. Il est à préciser que la source principale du cadmium dans ce milieu est le phosphate qui est fortement concentré en éléments traces (Gnandi, 1998). En outre, les poussières de phosphate dégagées par les cheminées de l'usine de traitement des phosphates polluent les eaux lacustres par déposition. Il est connu que la concentration en arsenic puisse localement atteindre 100 mg/kg voire 200 mg/kg dans des dépôts phosphates et calcaires ou dans des schistes (La Rocca et al.,

2010). Ceci permet de déduire que la pollution par l'arsenic proviendrait des sites miniers des phosphates. Toutefois, il faudrait ajouter à cela la pollution par les intrants agricoles (engrais et pesticides) utilisés dans les bassins versants des rivières Zio, Haho et Boco. Le trafic des produits pétroliers frelatés sur le système lagunaire n'est pas à négliger en ce qui concerne la pollution par le plomb, car ces produits pétroliers sont déversés dans le lac volontairement ou accidentellement lors des transports. Toutefois, les sources naturelles issues de l'altération et du lessivage des roches de la croûte terrestre ne sont pas des moindres, car cette dernière contient une concentration moyenne de 15 mg/kg de plomb (Beliles, 1994), 2 mg/kg d'arsenic (La Rocca *et al.*, 2010) et entre 0,1 et 1 mg/kg de cadmium (Das *et al.*, 1997).

42 La teneur moyenne en cadmium (0,9 mg/kg) des deux espèces de bivalves est inférieure à la norme de l'OMS (2 mg/kg) (Miquel, 2001). Cependant, celle en plomb (2,9 mg/kg) et en arsenic (51,91 mg/kg) sont respectivement de 1,45 et 519,10 fois les normes de l'OMS (Pb = 2 mg/kg, As = 0,1 mg/kg) pour les bivalves (OMS/FAO, 1995 ; Lachambre et Fisson, 2007 a). En outre, les teneurs moyennes en cadmium (0,45 mg/kg), en plomb (1,62 mg/kg) et en arsenic (14,7 mg/kg) de toutes les espèces confondues des poissons sont respectivement de 9 ; 8,1 et 147 fois les normes de l'OMS pour les poissons (Cd = 0,05 mg/kg, Pb = 0,2 mg/kg et As = 0,1 mg/kg) (OMS/FAO, 1995 ; 2005 ; Lachambre et Fisson, 2007a). Les teneurs en Cd dans la présente étude sont similaires à ceux obtenus par Abbé (2004) dans les poissons marins du littoral est togolais à Agbodrafo (0,24 à 0,38 mg/kg). Par contre, les teneurs en plomb obtenues sont très inférieures à celles issues des travaux du même auteur (5,99 à 10,37 mg/kg). Ceci pourrait être dû aux caractéristiques physico-chimiques de leur biotope, à leur mode d'alimentation, à leur âge et aux espèces étudiées. Aussi, le Togo a adopté depuis le 1^{er} juillet 2005 l'utilisation de l'essence sans Pb réduisant ainsi la pollution par le Pb (MERF/DE, 2005). En outre, ces études ont porté sur les poissons entiers. Or, 80 à 90 % du plomb total se fixe en particulier au niveau des os où il entre en compétition avec le calcium (Lachambre M. et C. Fisson, 2007 b). Les teneurs métalliques des espèces étudiées dans le présent travail sont plus élevées que celles dans l'eau (Cd : 0,05, Pb : 0,07 et As : 2,51 mg/l dans la lagune d'Aného et Cd : 0,05, Pb : 0,12 et As : 4,09 mg/l dans le lac Togo) ; ceci met en évidence le phénomène de la bioaccumulation (Bryan *et al.*, 1979). Il en ressort que les bivalves ont plus accumulé les éléments traces que les poissons. Ceci serait lié à la différence entre leur mode de vie et leur physiologie. En effet, les bivalves sont benthiques, fixés ou libres et vivent à la surface du sédiment ou enfouie. En tant que filtreurs microphages, ils bioconcentrent de nombreux éléments traces métalliques présents dans le milieu aquatique aussi bien à partir de l'eau (surtout au niveau branchial) qu'à partir de la phase particulaire (via la digestion des particules) (Gagnon et Fisher, 1997 ; Taleb et Boutiba, 2007). Ils sont ainsi utilisés comme bioindicateurs de pollution des milieux aquatiques. Aussi, faut-il noter que les espèces de poissons pélagiques ont moins concentré les éléments traces que les espèces démersales et benthopélagiques. Ceci est dû au fait que les espèces démersales et benthopélagiques sont plus proches des sédiments qui sont souvent étudiés comme réservoirs ou puits de nombreux polluants chimiques en particulier les éléments traces (Yao *et al.*, 2009 ; Chouti *et al.*, 2010). Les espèces qui sont en contact avec les sédiments seront les plus contaminées en accord avec leur mode de vie. En effet, les espèces benthiques vivent dans un environnement plus pollué du système aquatique et se nourrissent d'organismes benthiques voire même de la vase. Il est démontré que *Pomadasys jubelini*, *Synodontis bastiani* et *Synodontis schall* sont omnivores avec une dominance des macro-invertébrés benthiques (Koné *et al.* 2007 ; Diomandé *et al.*, 2009). Ceci confirme les résultats des études menées en France sur trois espèces où l'espèce *Anguilla anguilla* (fouisseur et se nourrissant dans les sédiments) s'est retrouvée la plus contaminée par les éléments traces (Noppe, 1996). Il en est de même pour cette espèce qui présente des teneurs plus élevées en Cd (0,450 µg/g) dans l'estuaire du Bas Loukkos au Maroc (El Morhit, 2009).

43 En général, les variations interspécifiques (Figures 2 et 4) des teneurs en éléments traces confirment le fait que la bioaccumulation dépend de l'espèce considérée donc de sa capacité physiologique d'assimilation et d'excrétion de l'élément trace ingéré et de son anatomie (taille, nature des téguments, surface de contact avec l'eau, etc.) (Miquel, 2001 ; Casas, 2005). Toutefois, la bioaccumulation dépend aussi de l'élément trace concerné (taille moléculaire,

spéciation chimique, biodisponibilité, etc.) (Casas, 2005). En effet, les polluants dont la cinétique d'absorption est supérieure à la cinétique d'élimination ont tendance à s'accumuler dans l'organisme. Ainsi, les éléments traces peuvent traverser les membranes plasmiques soit par la diffusion passive soit par le transport actif via des pompes ioniques des ions vitaux. Une faible élimination des éléments traces est en général due à leur séquestration par les métallothionéines (Monod, 2001).

44 La bioaccumulation des éléments traces métalliques dans les différentes espèces halieutiques a fait l'objet de plusieurs travaux d'études. Les Tableaux 6 et 7 présentent les teneurs en éléments traces métalliques obtenues par certains auteurs chez quelques espèces, ainsi que celles du présent travail.

Tableau 6. Teneurs en Cd, Pb et As dans les Poissons. /Cd, Pb and As content in Fish

ETM (mg/kg)	Présente étude	Lac Nokoué au Bénin (Youssao et al., 2011)	Lac de Ganvié au Bénin (Hounkpatin et al., 2012)	Lagune Ologe au Nigéria (Onanuga et al., 2012)	Bassin de la Lufira supérieure en R.D. Congo (Katemo Manda et al., 2010)	Lac Atatürk Dam en Turquie (Olgunoğlu et al., 2011)	Poissons marins à Agbodrafo au Togo (Abbé, 2004)	Estuaire de la rivière Loukkos au Maroc (El Morhit, 2009)
Cd	0,45		1,79	0,02 à 0,05	0,017 à 0,143	0,039 à 0,060	0,24 à 0,38	0,45
Pb	1,62	1,41	26,8	1,05 à 3,19	0,141 à 0,278	0,063 à 0,301	5,99 à 10,37	0,032
As	14,7				0,157 à 2,55			

Tableau 7 : Teneurs en Cd et Pb dans les Bivalves. /Cd and Pb content in Bivalves.

ETM (mg/kg)	Présente étude	Estuaire de Bou Regreg (Tahiri et al., 2005)	Basse Volta au Ghana (Biney et al., 1991)	Basse Volta au Ghana (Biney et al., 1991)	Nigéria (FAO, 1991)	Côte d'Ivoire (FAO, 1991)
Cd	0,9	0,48	Cd < 0,10	< 0,10	0,17	0,65
Pb	2,9	4,48	Pb = 1,37	4,36	2,09	

45 Ceci confirme le rôle principal joué par les activités minières dans la pollution par le cadmium qui peut être utilisé comme indice de pollution liée à l'exploitation minière dans la région côtière du Togo (Gnandi, 2002).

46 Les valeurs du FBC chez les poissons sont nettement inférieures à celles obtenues par Katemo Manda et al. (2010) qui ont rapporté des FBC de 101 à 143 pour le Cd, de 28 à 53 pour le Pb et de 157 à 346 pour l'As dans les muscles de deux espèces de Tilapias (*Oreochromis macrochi* et *Tilapia rendalli*). Cependant, elles restent supérieures à celles du plomb obtenues par Youssao et al. (2011) (1,23 pour *Sarotherodon melanotheron*, 1,18 pour *Tilapia guineensis* et 1,14 chez *Hemichromis fasciatus*) dans le lac Nokoué. Ceci serait lié à l'état de pollution métallique de leur biotope respectif. En ce qui concerne les bivalves, Watling (1983) rapporte des FBC du plomb inférieurs de 13,4, 17, 27,1 et 31,7 chez *Crassostrea gigas*, *Crassostrea margaritacea*, *Perna perna* et *Choromytilus meridionalis* respectivement. Des FBC variant de $1,14 \cdot 10^5$ à $7,5 \cdot 10^4$ pour le Cd et de $5,2 \cdot 10^4$ à $2,65 \cdot 10^5$ pour le Pb ont été trouvés chez *Mytilus galloprovincialis*, après un séjour de trois mois dans un milieu contaminé (Casas, 2005).

47 Toutefois, il faut noter que le concept de la bioaccumulation résulte de plusieurs mécanismes, agissant simultanément ou avec un décalage dans le temps. La bioaccumulation, pour un même produit chimique, peut varier considérablement selon l'espèce considérée, le stade de développement des individus, les caractéristiques du biotope (pH, salinité et température), le sexe, le régime alimentaire, les propriétés du contaminant, etc. (Casas, 2005).

Risques sanitaires liés aux éléments traces

48 Les quotients de danger (QD) issus des poissons pour les enfants sont tous supérieurs à ceux des adultes (Cd = 2,04, Pb = 0,40 et As = 44,11 contre Cd = 0,81, Pb = 0,16 et As = 17,64). Seul

le quotient de danger du cadmium chez les adultes ainsi que ceux du plomb sont inférieurs à 1 (Tableau 4). En se référant aux DJE du cadmium et de l'arsenic liées à l'ingestion de 20 g/j de bivalves, on constate que les DJA pour les enfants sont plus inférieures aux DJE que pour les adultes. Cependant, aucun danger lié au plomb n'est signalé pour les deux tranches d'âge (Tableau 5). Toutefois, les enfants restent toujours les plus exposés aux éléments traces métalliques en raison de leur faible poids corporel et de leur fragilité sur le plan physiologique étant donné que les contaminants sont facilement absorbés dans leur organisme (RCAP, 1996). L'organisme des enfants absorbe potentiellement plus de contaminants et reste incapable de les éliminer aussi facilement que les adultes étant donné que leurs systèmes d'élimination sont moins développés (Houkpatin *et al.* 2012). Ceci confirme le fait que la fluorose dentaire due à la pollution par les phosphates dans la région se rencontre beaucoup plus chez les enfants que chez les adultes (Gnandi *et al.*, 2007). Les QD pour l'arsenic chez les adultes (17,64) et chez les enfants (44,11) sont très supérieurs à 1. De même, les DJE de l'arsenic pour 5 g/j de bivalves (0,2696 mg/j) sont supérieures aux DJA pour les adultes (0,021 mg/j) et pour les enfants (0,0084 mg/j). Ceci représenterait un danger pour la santé humaine. Ainsi, ces bivalves seraient impropres à la consommation au risque de s'exposer aux effets toxiques de l'arsenic, car seuls 0,44 g/j de bivalves seraient nécessaires pour rester en dessous de la DJA aussi bien chez les adultes (70 kg) que chez les enfants (28 kg). Toutefois, le danger n'est pas énorme pour le consommateur, car l'arsenic accumulé dans ces espèces halieutiques est en grande partie sous la forme organique peu toxique. En effet, les organismes marins peuvent normalement présenter des concentrations en arsenic élevées de l'ordre de la centaine de mg/kg de poids frais, mais sous sa forme organique (Dictor *et al.*, 2004). Le plomb et le cadmium sont les éléments traces les plus toxiques pour l'homme (Testud, 2005). L'accumulation du plomb dans les poissons se révèle très dangereuse, car les enfants qui ont besoin beaucoup de protéines animales pour leurs croissances sont en même temps très sensibles à l'intoxication chronique au plomb (saturnisme) telles que l'anémie, la baisse du quotient intellectuel, les anomalies congénitales, des déficits neuro-comportementaux etc. (Bisson *et al.*, 2003). Chez l'adulte, les intoxications chroniques sévères (plombémies > 1 500 µg/L) se traduisent par une encéphalopathie saturnique grave. Pour des intoxications moins importantes (plombémies < 1 000 µg/L) des troubles d'ordre neurologique ont été observés chez l'adulte comme chez l'enfant (Bisson *et al.*, 2003). En outre, le plomb et ses dérivés inorganiques sont considérés comme potentiellement cancérigènes pour l'Homme et les animaux (Lachambre et Fisson, 2007b). Des études récentes ont montré que le plomb inhibe l'activité des enzymes impliquées dans le stress oxydatif (peroxydases, catalases, dismutases) (Ercal *et al.*, 2001 ; Bolin *et al.*, 2006). Chez les êtres humains, l'OMS recommande de ne pas dépasser la dose journalière (DJA) de $3,6 \cdot 10^{-3}$ mg/kg/j (Bisson *et al.*, 2009).

49 Le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants (Miquel, 2001). Ainsi, le cadmium est un toxique cumulatif dont la demi-vie biologique est de l'ordre de 20 à 30 ans. L'exposition chronique au cadmium entraîne l'apparition d'une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale (Bisson *et al.*, 2011). Chez l'homme, sa toxicité aiguë est connue depuis 1950 sous le nom du syndrome d'*Itai-Itai* défini par l'association d'une insuffisance rénale avec ostéoporose (déminéralisation et fragilisation des os) et ostéomalacie (déminéralisation et déformation des os) avec des douleurs osseuses intenses (Bliefert et Perraud, 2008 ; Gonzalez *et al.*, 1999). Le cadmium est cancérigène (Sato *et al.*, 2002 ; Banerjee et Flores-Rozas, 2005) et tératogène (Hovland *et al.*, 2000). L'ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) recommande de ne pas dépasser une dose journalière (DJA) de $2 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j de cadmium chez l'humain (Bisson *et al.*, 2011). L'absorption du cadmium se manifeste de façon aiguë, chez l'homme, par des troubles gastro-intestinaux (nausées, vomissements, diarrhées) (Miquel, 2001).

50 Chez l'homme, une dose de 1 à 2 mg/kg d'arsenic est potentiellement toxique. L'inhalation même brève de 100 mg/kg entraîne le décès dans les 30 minutes (Laperche *et al.*, 2003 ; La Rocca *et al.*, 2010). Les effets aigus, suite à l'ingestion d'arsenic inorganique, sont typiquement gastro-intestinaux associant nausées, vomissements, hémorragies gastro-

intestinales, troubles cardiovasculaires, encéphalopathie aigüe, troubles neurologiques sévères, anémie, douleurs abdominales et diarrhées pouvant conduire au décès (La Rocca et al., 2010). Les symptômes d'une exposition chronique à de plus faibles doses d'arsenic comprennent les lésions cutanées, notamment l'hyperpigmentation, les verrues et l'hyperkératose des paumes des mains et des plantes des pieds, le cancer de la peau, des maladies du système vasculaire périphérique et parfois, des cancers touchant d'autres organes (Poissant, 1997). En outre, une exposition à l'arsenic peut entraîner des échecs de reproduction, une inhibition et une altération de l'ADN (EFSA, 2009). Une dose journalière admise de 3.10^{-4} mg/kg/j d'arsenic a été recommandée par l'ATSDR (Bisson et al., 2009).

Conclusion

- 51 Il ressort des résultats que tous les échantillons de poissons analysés sont pollués par les trois éléments traces métalliques (Cd, Pb et As) en comparaison avec les normes préconisées par OMS et surtout pour les espèces *Hemichromis fasciatus*, *Lutjanus goreensis* et *Pomadasys jubelini* qui peuvent être considérées comme des espèces sentinelles (Cd = 0,98 ; Pb = 2,89 et As = 22,54 mg/kg).
- 52 Les bivalves sont pollués par le plomb et l'arsenic tandis que les teneurs en cadmium sont inférieures à la norme de l'OMS et que l'espèce *Senilia senilis* serait considérée comme une espèce la plus bioindicatrice pour le Cd, Pb et As. Il a été constaté que les bivalves ont plus bioaccumulé les ETM que les poissons. La présente étude a révélé des variations interspécifiques des teneurs en éléments traces métalliques. Aussi, la variation des teneurs en éléments traces métalliques en fonction des habitats a-t-elle été constatée. Le Cd se retrouve être l'élément le moins bioaccumulé chez les espèces étudiées. Cependant, il est l'élément le plus toxique des trois. Cette forte contamination des poissons constitue un facteur de risque non seulement pour la vie de ces espèces aquatiques, mais aussi pour l'Homme qui est le prédateur supérieur au bout de la chaîne alimentaire. Il se pose alors un véritable problème de santé publique associé à une fréquente consommation de ces produits halieutiques. En effet, l'étude a révélé que les enfants sont surtout les plus vulnérables en raison de leur faible poids corporel.

Bibliographie

- Abbé, K.D., 2004, Évaluation des conséquences du rejet des déchets phosphatés dans la mer : étude de la bioaccumulation de quelques éléments chimiques toxiques par les espèces animales marines : cas du cadmium et du plomb, Mémoire Ing. des Trav., GEE, ESTBA, Université de Lomé, Togo, 34p.
- Aduayi-Akue, A., 2010, Évaluation de la pollution par les métaux lourds des sols et des produits agricoles autour des sites de traitement des phosphates des Kpémé (Sud Togo) : cas du cadmium, du plomb, du nickel et du cuivre, Mémoire DEA Environnement, SSN, FDS, Université de Lomé, Togo, 79p.
- Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement (ASTEE.), 2003, Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une UIOM, 60p.
- Banerjee, S. et H. Flores-Rozas, 2005, Cadmium inhibits mismatch repair by blocking the ATPase activity of the MSH2-MSH6 complex, *Nucleic. Acids Res.*, 33 : 1410–1419.
- Barillet, S., 2007, Toxicocinétique, Toxicité chimique et radiologique de l'uranium chez les poissons-zèbres (*Danio rerio*), thèse, Université Paul Verlaine de Metz, France, 475p.
- Beliles, R.P., 1994, The metals. In : Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. Fourth edition. Volume 2, Part C, Edited by Clayton G. D. and Clayton F. E. John Willey & Sons, Inc.
- Ben Bouih, H., H. Nassali, M. Leblans et A. Srhiri, 2005, Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). *Afrique Science*, 1(1) : 109-125.
- Biney, C.H., A.T. Amazu, D. Calamari, N. Kaba, I.L. Mbome, H. Naeve, O. Chumba, O. Osibanjo, V. Radegonde et A.H.S. Massad, 1991, Étude des métaux lourds présents dans l'environnement aquatique africain. Rapport de la troisième session du groupe de travail sur la pollution et les pêches, Accra, Ghana, 25-29
- Bisson, M., R. Diderich, N. Houeix, C. Hulot, G. Lacroix, J.P. Lefèvre, S. Leveque, H. Magaud, A. Morin, G. Pepin et A. Pichard, 2011, Cadmium et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et

- environnementales des substances chimiques 82p. [En ligne] URL : <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le 10/04/2012.
- Bisson, M., C. Hulot, G. Lacroix, J.P. Lefèvre, H. Magaud, D. Oberson- Geneste, A. Morin et G. Pépin, 2003, Plomb et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, 82p. [En ligne] URL : <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le 10/04/2012
- Bisson, M., S. Vivier, B. La Rocca et C. Gourland, 2009, Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR), RAPPORT D'ÉTUDE 17/03/2009, N° DRC-08-94380-11776C, INERIS, [En ligne] URL : <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le 10/04/2012.
- Bliefert C., et R. Perraud, 2008, *Chimie de l'environnement. Air, eau, sols, déchet*, 2e éd., de Boeck, Bruxelles, pp 369-389
- Bodjock, K., 2003, Étude chimique de l'impact sur l'environnement du rejet des effluents du traitement des phosphates de Hahotoé-Kpogamé (Togo) dans la mer, Mémoire 358/03/GEE, ESTBA, Université de Lomé, Togo ; 39p.
- Bolin, C. M., R. Basha, D. Cox, N. H. Zawia, B. Maloney, D. K. Lahiri et F. Cardozo-Pelaez, 2006, Exposure to lead and the developmental origin of oxidative DNA damage in the aging brain. *Faseb. J.*, 20 : 788–790.
- Bryan, G. W., M. Waldichuk, R. J. Pentreath et A. Darracott, 1979, Bioaccumulation of Marine Pollutants [and Discussion]. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 286, 483-505.
- Casas, S., 2005, Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis* en milieu méditerranéen, thèse de Doctorat, Université du Sud Toulon Var, France, 301 p + annexe.
- Chouti, W., D. Mama, O. Changotade, F. Alapini et M. Boukari, 2010, Étude des éléments traces métalliques contenus dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin), *Journal of Applied Biosciences* 34 : 2186–2197.
- Das, P., S. Samantaray et R. Rout, 1997, Studies on cadmium toxicity in plants : a review. *Environ Pollut*, 98 : 29-36.
- Dictor, M. C., P. Baranger, L. Chery, K. Michel, J. Barbier, B. Clozel, S. Touzé, A. C. Le Gall et P. Brosselin, 2004, *Synthèse des travaux R&D en France (1999-2004) sur la thématique Arsenic*, BRGM/RP-53252-FR, 147 p., 4III, 4 Ann.
- Diomandé, D., L. Doumbia et G. Gourène, 2009, Stratégies Alimentaires de Deux Espèces de Poissons-Chats dans L'hydrosystème Fluvio-Lacustre de la Bia : *Synodontis Bastiani* Daget, 1948 et *S. Schall* (Bloch & Schneider, 1801), *European Journal of Scientific Research*, vol. 27 No.1, pp. 66–76.
- El Morhit, M., 2009, – Hydrochimie, Eléments Traces Métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos), Thèse de Doctorat, Université Mohamed V-Agdal, 232 p.
- Ercal, N., H. Gurer-Orhan et N. Aykin-Burns, 2001, Toxic metals and oxidative stress part I : mechanisms involved in metal induced oxidative damage. *Curr. Top. Med. Chem.*, 1 : 529–539.
- European Food Safety Authority (EFSA), 2009, Scientific Opinion on Arsenic in Food, *EFSA Journal* ; 7(10) :1351, Parma, Italy ; 199p
- Fakayode, S.O. 2005, Impact assessment of industrial effluent on water quality of the receiving Alaro River in Ibadan, Nigeria. *AJEAM-RAGEE*, 10 : 1-13.
- FAO, 1991, Étude des métaux lourds présents dans l'environnement aquatique africain. Rapport de la troisième session du groupe de travail sur la pollution et les pêches, Accra, Ghana, pp. 25-29
- FAO, 2007, Fishry Country Profile, la République du Togo, <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/fr/TGO/profile.htm> (consulté le 24/05/2012).
- Gagnon, C. et N.S. Fisher, 1997, Bioavailability of sediment bound methyl mercury and inorganic mercury to a marine bivalve. *Environ ; Sci.Techno.* (31) pp 993–998.
- Gay G., S. Denys, B. Doornaert, A. Coftier, B. Hazebrouck, N. Lever, M. Kimmel, et F. Quiot, 2007, Méthodologie d'évaluation quantitative des risques sanitaires relatifs aux substances chimiques, Convention 03 75 C 0093 et 06 75 C 0071, ADEME /SYPREA /FP2E/INERIS, 45p.
- Gnandi, K., 1998, Cadmium et autres polluants inorganiques dans les sols et sédiments de la Région côtière du Togo : une étude géochimique, Thèse de PhD, Université d'Erlangen-Nuremberg, Germany, 165 p.

- Gnandi, K., 2002, L'impact de l'exploitation des phosphates sédimentaires de Hahotoé-Kpogamé sur la pollution chimique des sédiments de la rivière Haho et du Lac-Togo (Sud Togo), *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, Tome 6, vol. 2 : pp. 95–105.
- Gnandi, K., 2003, Les déchets miniers phosphatés, source de la pollution marine au Togo, *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, série A, Tome 7, vol. 2 : pp. 75–90.
- Gnandi, K. et H. J. Tobschall, 2001, Heavy metals distribution of soils around mining sites of cadmium-rich marine sedimentary phosphorites of Kpogamé and Hahotoé (Southern Togo), *Environmental Geology* 41, 593-600.
- Gnandi, K., G. Tchangbedji, K. Killi, G. Baba et K. D. Abbé, 2006, The Impact of Phosphate Mine Tailings on the Bioaccumulation of Heavy Metals in Marine Fish and Crustaceans from the Coastal Zone of Togo, *International Journal of Mine Water and Environment*, 7, 25(1), p 56–62
- Gnandi, K., K. Tozo, K. Amouzouvi, G. Baba, G. Tchangbedji, K. Killi, et K. Agbeko, 2007, Impact de l'exploitation minière sur la santé humaine : cas de la fluorose dentaire chez les enfants autour de l'usine de traitement des phosphates de Kpémé (Sud-Togo), *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, vol. 8, N° 2 : Série A, 17p.
- Gonzalez, J.-L., J.-F. Chiffolleau, P. Miramand et B. Thouvenin, 1999, Le cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire, Ifremer, 31 p.
- Guthrie, R. K., E. M. Davis, D. S. Cherry and H. E. Murray, 1979, Biomagnification of heavy metals by organisms in a marine microcosm. *Bull Environ Contam Toxicol*, 21, pp. 53–61.
- Katemo, Manda B., G. Colinet, L. André, A. Chocha Manda, J.-P. Marquet et J.-C. Micha, 2010, Évaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/RD Congo) ; *Tropicultura*, 28, 4, pp. 246–252.
- Koné, T., E. P. Kouamélan, N. I. Ouattara et A. V. Kicho, 2007, Régime alimentaire de *Pomadasys jubelini* (Pisces, Haemulidae) dans une lagune ouest-africaine (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire), *Sciences & Nature* vol. 4 N° 1 : pp. 65–73.
- La Rocca, B., N. Houeix et S. Andres, 2010, Arsenic et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, 124p. [En ligne] URL : <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le 10/04/2012.
- Lachambre, M. et C. Fisson, 2007 a, La contamination chimique : quel risque en estuaire de Seine ? – Fiche substance : Arsenic-, GIP Seine-Aval, France, 10p.
- Lachambre, M. et C. Fisson, 2007 b, La contamination chimique : quel risque en estuaire de Seine ? – Fiche substance : Plomb-, GIP Seine-Aval, France, 11p.
- Laperche, V., F. Bodénan, M.C. Dictor, et Ph. Baranger, 2003, *Guide méthodologique de l'arsenic appliqué à la gestion des sites et sols pollués*, BRGM/RP-52066-FR, 90 p.
- Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF), 2007, Etudes de vulnérabilité, Identification des principales mesures d'adaptation et des options prioritaires de riposte aux changements climatiques, secteur Zone Côtière, Rapport final, Togo, 47p.
- Ministère, de l'Environnement et des Ressources Forestières/Direction de l'Environnement (MERF/DE), 2005, Rapport national sur le cadmium et le Plomb, 35 p.
- Millet, B., 1983, Étude de quelques caractéristiques hydrologiques et hydrochimiques du système lagunaire du lac Togo. Doc. ORSTOM de Lomé, 134p.
- Miquel, M. G., 2001, Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Rapport 261, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, 365p.
- Monod, G., 2001, Le poisson : cible et révélateur de la pollution chimique, in Neveu A., C. Riou, R. Bonhomme, P. Chassin et F. Papy, L'eau dans l'Espace Rural : vie et milieu aquatiques'', INRA, Paris, pp. 174–197.
- Noppe, K., 1996, Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons, Mémoire de DEA, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 42p + annexe.
- Ogindo, B. A., 2001, Heavy Metal Pollutants and their Concentrations in Fish (Barbus Species) in Sosiani River, Kenya. *discov. Innov.*, 13 (3/4), pp. 178-197
- Olgunoğlu, M. P. et I. A. Olgunoğlu, 2011, Seasonal variation of trace elements in muscle tissues of two commercially valuable freshwater fish species (*Silurus triostegus* and *Barbus grypus* Heckel, 1843) from Atatürk Dam Lake (Turkey), *African Journal of Biotechnology* vol. 10(34), pp. 6628–6632.

OMS/FAO, 1995, Norme générale codex pour les contaminants et les toxines présents dans les produits de consommation humaine et animale, Codex standard 193-1995, 43p.

OMS/FAO, 2005, Liste provisoire des principales espèces de poissons faisant l'objet d'un commerce international (y compris propositions concernant des concentrations maximales de plomb dans différentes espèces de poissons), Trente-septième session, La Haye, Pays-Bas, 4p.

Onanuga, A.O., O.A. Ogunbanwo et E.A. Falaye, 2012, Iron, Zinc, Cadmium and Lead in *Chrysichthys nigrodigitatus* from Ologe Lagoon, Southwest, Nigeria, *European Journal of Scientific Research*, vol. 73 No.2, pp. 163–170.

Pascal, M., C. Heyman, C. De Baudouin et P. Pirard, 2008, Comment intégrer l'objectif d'exposition des consommateurs dans les prélèvements et analyses des poissons d'eaux douces : éléments méthodologique, *Environnement, Risques & Santé*, vol. 8, n° 1, pp. 57–61.

Poissant, L.-M., 1997, La contamination par l'arsenic des puits domestiques en Abitibi-Témiscamingue, étude descriptive, Direction régionale de la santé publique, module santé environnementale, Rouyn-Noranda, 66p.

Royal Commission on Aboriginal Peoples (RCAP), 1996, Gathering Strength. Ottawa, Canada Communications Group. 3 : 185.

Satoh, M., H. Koyama, T. Kaji, H. Kito et C. Tohyama, 2002, Perspectives on cadmium toxicity research. *Tohoku J. Exp. Med.*, 196, pp. 23–32.

Tabinda, A. B., M. Hussain, I. Ahmed et A. Yassar, 2010, Accumulation of Toxic and Essential Trace Metals in Fish and Prawns from Keti Bunder Thatter District, Sindh *Pakistan J. Zool.*, vol. 42(5), pp. 631–638.

Tahiri, L., L. Bennasser, L. Idrissi, M. Fekhaoui, A. El Abidi et A. Mouradi, 2005, Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc) ; *Water Qual. Res. J. Canada*, vol. 40, No. 1, pp. 111–119

Taleb, M.Z., et Z. Boutiba, 2007, *Mytilus galloprovincialis* : Bioindicatrice de pollution marine ; cas du Port d'Oran. In *Sciences & Technologie C- N° 25 Juin 2007*. pp 59–64.

Testud, F., 2005, *Pathologie toxique professionnelle et environnementale*. 3^{em} éd, Eska, Paris, 672p.

Watling, H.R., 1983, Accumulation of seven metals by *Crasostrea gigas*, *Crassostrea margaritacea*, *Perna perna* and *Choromytilus meridionalis*. *Bull Environ Contam Toxicol*, 30, pp. 317–322.

World Health Organization (WHO), 2011, guidelines for drinking-water quality, fourth edition, World Health Organization, http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf

Yao, K.M., M. B. Soro, T. Albert et Y. Bokra, 2009, Assessment of Sediments Contamination by Heavy Metals in a Tropical Lagoon Urban Area (Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research*, vol. 34 No.2, pp. 280–289.

Youssao, A., H.H. Soclo, C. Bonou, K. Vianou, M. Gbaguidi et L. Dovonon, 2011, Évaluation de la contamination de la faune ichthyenne dans le complexe lagunaire Nokoué – chenal de Cotonou par le plomb : cas des espèces *Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* et *Hemichromis fasciatus* (Bénin), *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(2) : 595–602

Pour citer cet article

Référence électronique

Kamilou Ouro-Sama, Hodabalo Dheoulaba Solitoke, Kissao Gnandi, Komlan Mawuli Afiademanyo et Essô Joseph Bowessidjaou, « Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 14 Numéro 2 | septembre 2014, mis en ligne le 16 septembre 2014, consulté le 08 octobre 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/15093> ; DOI : 10.4000/vertigo.15093

À propos des auteurs

Kamilou Ouro-Sama

Étudiant, Laboratoire de gestion, traitement et valorisation des déchets (GTVD), Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo, BP 1515, Lomé, Togo, courriel : ouro_kamilou@yahoo.fr

Hodabalo Dheoulaba Solitoke

Étudiant, Laboratoire de gestion, traitement et valorisation des déchets (GTVD), Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo, BP 1515, Lomé, Togo, courriel : dominiquesolitoke@yahoo.fr

Kissao Gnandi

Maître de conférences, Département de Géologie, Laboratoire de gestion, traitement et valorisation des déchets (GTVD), Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo, BP 1515, Lomé, Togo, courriel : kgnandi@yahoo.fr

Komlan Mawuli Afiademanyo

Maître Assistant, Département de Zoologie et de Biologie Animale, Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP 1515, Lomé, Togo, courriel : kafiade@gmail.com

Essô Joseph Bowessidjaou

Maître Assistant, Département de Zoologie et de Biologie Animale, Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP 1515, Lomé, Togo

Droits d'auteur

© Tous droits réservés

Résumés

La bioaccumulation du cadmium, du plomb et de l'arsenic par les poissons et bivalves couramment pêchés dans le système lagunaire togolais a été évaluée afin d'en estimer les risques sanitaires liés à leur consommation. Il ressort des résultats que tous les poissons analysés sont pollués. Les moyennes des teneurs en cadmium (0,33 mg/kg pour *Caranx hippos* à 0,98 mg/kg pour *Hemichromis fasciatus*), en plomb (1,17 mg/kg pour *Liza falcipinnis* à 2,89 mg/kg pour *Lutjanus goreensis*) et en arsenic (9,41 mg/kg pour *C. hippos* à 22,54 mg/kg pour *Pomadasys jubelini*) sont supérieures aux normes fixées par l'OMS. Les Facteurs de Bioconcentration (FBC) varient de 6,94 à 20,36 pour le Cd, de 9,58 à 23,67 pour le Pb et de 2,30 à 5,52 pour l'As. Quant aux bivalves les teneurs moyennes indiquent une forte concentration en Arsenic (56,06 mg/kg pour *Senilia senilis* et 47,76 mg/kg pour *Crassostrea gasar*) suivie du plomb (2,83 mg/kg pour *S. senilis* et 2,95 mg/kg pour *C. gasar*) et enfin le cadmium (0,97 mg/kg pour *S. senilis* et 0,83 mg/kg pour *C. gasar*). Les FBC varient de 16,6 à 19,14 pour le Cd, de 39,86 à 41,55 pour le Pb et de 19,10 à 34,42 pour l'As. En outre, il a été montré que la bioaccumulation de ces trois éléments varie en fonction de l'espèce considérée ainsi que de son habitat. La consommation de ces poissons et bivalves pourrait avoir des impacts négatifs sur la santé humaine en général et celle des enfants en particulier.

Bioaccumulation of cadmium, lead and arsenic in fish and bivalves commonly caught in Togo lagoon system was evaluated in order to estimate the health risks associated with their use. The results showed that all analyzed fish are contaminated. The mean levels of cadmium (0.33 mg/kg for *Caranx hippos* to 0.98 mg/kg for *Hemichromis fasciatus*), lead (1.17 mg/kg for *Liza falcipinnis* to 2.89 mg/kg for *Lutjanus goreensis*) and arsenic (9.41 mg/kg for *C. hippos* to 22.54 mg/kg for *Pomadasys jubelini*) are higher than the standards set by the WHO. Bioconcentration Factors (BCF) ranged from 6.94 to 20, 36 for Cd, 9.58 to 23.67 for Pb and 2.30 to 5.52 for As. As far as bivalves are concern, average grades indicate a high concentration of arsenic (56.06 mg/kg for *Senilia senilis* and 47.76 mg/kg for *Crassostrea gasar*) followed by lead (2.83 mg/kg for *S. senilis* and 2.95 mg/kg for *C. gasar*) and finally cadmium (0.97 mg/kg for *S. senilis* and 0.83 mg/kg for *C. gasar*). BCF ranged from 16.6 to 19.14 for Cd, 39.86 to 41.55 for Pb and 19.10 to 34.42 for As. In addition,

Entrées d'index

Mots-clés : Bioaccumulation, métaux lourds, poissons, bivalves, risques sanitaires, système lagunaire, Togo

Lieux d'étude : Afrique