



Contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du Lac Tchad

Barnabas KAYALTO^{1*}, Carl Moses F. MBOFUNG¹, Jean-Bosco TCHATCHUENG¹ et Ali AHMED²

¹Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles (ENSAI), Université de Ngaoundéré. B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun.

²Institut Universitaire de Technologie (IUT), Université de Ngaoundéré, Cameroun.

*Auteur correspondant ; E-mail: kayaltobarnabas@yahoo.fr ; bkayalto68@gmail.com;

Tel : (00235) 66 35 99 30 / 99 48 47 57

RESUME

Les fleuves Logone et Chari qui se jettent dans le Lac Tchad, sont exposés à toute forme de pollution. Le but de ce travail est d'évaluer la contamination par les métaux lourds des eaux, des sédiments et des poissons du Lac Tchad. Trois espèces de poissons: *Tilapia nilotica*, *Lates niloticus* et *Arius latiscutatus* ont été obtenues au Lac Tchad et transportées sous glace au laboratoire. Le Cd, le Pb et le Cr ont été dosés dans la tête, le foie, la chair et les os de ces poissons, dans les sédiments et l'eau au spectrophotomètre d'absorption atomique. Le Cd et le Pb n'étaient pas détectés dans les eaux et les sédiments. En comparant nos résultats obtenus dans la chair des poissons, à la grille de qualité de Mersch, la pollution des eaux du Lac Tchad va d'une situation intermédiaire (Cd) à une pollution importante (Cr). Les sédiments étaient plus contaminés que les eaux. Toutes ces valeurs sont au-delà des normes existantes. L'analyse des variances (ANOVA) inter espèces, au seuil de 95% entre les organes, montre qu'il y a une corrélation positive ($r = 0,74$) et très significative ($p = 0,02$) entre la chair et les os des différentes espèces.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Lac Tchad, métaux lourds, poissons, bioaccumulation.

INTRODUCTION

Des centaines de polluants sont déversés chaque jour dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme de polluants graves de l'environnement aquatique à cause de leur rémanence et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques (Sibel Yigit et Ahmet Altindag, 2006). Plusieurs métaux lourds se retrouvent dans le milieu aquatique, par action de

l'homme, par transport atmosphérique et à la suite d'érosion due à la pluie (Kaki et al., 2011). Ainsi donc, les animaux aquatiques peuvent se retrouver exposés à des concentrations élevées des métaux lourds (Kalay et Canh, 2000). Les métaux lourds peuvent ainsi affecter les organismes directement en s'accumulant dans leurs corps ou, indirectement par transfert par le biais de la chaîne alimentaire. La contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux lourds

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.7>

peut être confirmée dans l'eau, dans les sédiments et dans les organismes (Habes Ghrefat et Nigem Yusuf, 2006).

Les métaux qui sont transférés à travers le milieu aquatique aux poissons, aux hommes et aux autres animaux piscivores peuvent avoir des impacts sur l'environnement et la santé humaine (Chen et al., 2000). Le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le plomb (Pb) ne sont pas des métaux essentiels ; leur rôle positif dans les cellules, à ce jour, n'est pas connu (Altindag et al., 2005).

Les problèmes associés à la contamination par les métaux lourds ont été tout d'abord mis en évidence dans les pays industrialisés, en raison de leurs développements industriels plus importants, et spécialement à la suite d'accidents dus à une pollution par le cadmium en Suède et le mercure au Japon (maladie de Minamata de 1949 à 1965) (Jobin, 2006). Bien que le niveau des activités industrielles soit relativement moins élevé dans la plupart des pays africains, on y observe une prise de conscience croissante sur la nécessité de gérer rationnellement les ressources aquatiques et notamment de maîtriser les déversements de déchets dans l'environnement (Rashed, 2001 ; Chale, 2002 ; Okwonko et al., 2005 ; Assonye et al., 2007).

Spécifiquement pour le Tchad, son paysage économique est caractérisé par une industrie à l'état embryonnaire. L'industrie chimique est quasi-inexistante. L'exploitation du pétrole est réduite à l'exportation du brut. Mais le Tchad importe beaucoup de produits chimiques à usage agricole, sanitaire et domestique. L'utilisation de ces produits n'est pas sans conséquence sur la santé humaine et sur l'environnement. Le cas des Polluants Organiques Persistants (POPs) recensés au Tchad est la démonstration du danger que présentent les produits chimiques, d'après l'étude du Ministère de l'Environnement et de l'Eau (Tchad, MEE, 2005).

La ville de N'Djaména, la capitale du Tchad, est une bonne représentation de la pollution due aux effluents liquides urbains.

En effet, le réseau d'assainissement est pratiquement inexistant et seulement visible au niveau des grandes artères de la ville. Dans les autres rues ou ruelles, les égouts à ciel ouvert sont creusés à même le sol et la pollution se déverse dans le fleuve Chari, sans aucun traitement (Merle et al., 2007). En plus de cela, le Lac Tchad qui reçoit toutes ces eaux, connaît un assèchement spectaculaire d'après les images de la NASA de 2002 (Figure 1). L'eau du Lac Tchad s'est évaporée en raison des sécheresses de 1972-1973 et 1982-1984, les cultures irriguées comme le riz et la déforestation (Merle et al., 2007).

Devant donc toutes ces réalités, l'objectif de notre présente étude est d'évaluer la teneur en métaux lourds tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et le chrome (Cr) dans les eaux et les sédiments des fleuves Logone et Chari qui se jettent dans le Lac Tchad, et la contamination des poissons et des eaux du Lac Tchad par ces métaux.

MATERIEL ET METHODES

L'échantillonnage

Des poissons

L'échantillonnage était fait au bord du lac Tchad, précisément à Guité à 110 Km à l'Ouest de N'Djaména. Tenant compte des travaux antérieurs (Iltis, 1975) sur les espèces de poissons les plus capturées au Lac Tchad et consommés, nous avons acheté, le 25 novembre 2008, trois espèces : les carpes (*Tilapia nilotica*), les capitaines (*Lates niloticus*) et les machoirons (*Arius latiscutatus*). Ainsi donc, ces poissons de poids différents, étaient immédiatement mis sous glace dans des glacières et transportés sur Ngaoundéré, au laboratoire d'Analyses Biophysiques et de Biochimie Alimentaire/Nutrition (LABBAN) de l'ENSAI. Au laboratoire, nous avons immédiatement pesé, mesuré la taille des poissons qui ont été ensuite mis au frais à 4 °C.

De l'eau

Les échantillons d'eau prélevés sur quatre sites, conformément à la Figure 1 :

Chari et Logone au niveau de N'Djaména avant leur point de rencontre appelé bec du canard, Mani à 80 Km en aval de N'Djaména et au Lac Tchad. Nous avons échantillonné un litre et demie d'eau, trois fois par site, dans de bouteilles en plastique neuves. Les bouteilles étaient rincées à l'eau distillée et avant le prélèvement, rincées deux fois avec l'eau du site à échantillonner (Chale, 2002). Les prélèvements étaient faits, sur chaque site, à 25 cm en profondeur, sur les deux rives et au milieu du fleuve. Au niveau du Lac Tchad, ils étaient faits aux intersections des deux bras du fleuve Chari qui se jetaient dans le Lac et à leur milieu. Chaque bouteille d'eau était acidifiée par une goutte d'acide chlorhydrique à 1% selon le protocole que nous avons utilisé (Analytical methods, Varian 1989), mis au frais, acheminée au laboratoire de l'ENSAI et conservée à 4 °C.

Des sédiments

Ils ont été prélevés sur quatre des sites ci-dessus mentionnés. Nous avons prélevé 200 g de sédiment, sur une profondeur de 5 cm environ, sur la rive droite, en trois endroits par site, de l'amont en aval, dans des sacs en plastique neufs. Les échantillons ont été acheminés au laboratoire, mis à sécher à la température ambiante du laboratoire.

Préparation des échantillons pour analyses

Préparation des échantillons des poissons

La matière sèche a été déterminée par la méthode AOAC 934.06 (1990).

Les paramètres suivants, poids et taille, ont été déterminés avant dissection. Les poissons, une fois décongelés, étaient écaillés, les viscères vidées, puis ils étaient disséqués. Nous avons prélevé sur chaque poisson quatre parties qui étaient: la tête entière, le foie, les os de la colonne vertébrale et environ 200 g de chair.

Détermination de la teneur en cendres totales pour 100 g de matière sèche

Les cendres totales ont été quantifiées selon la méthode décrite dans AFNOR (1981).

Solubilisation des cendres et extraction des minéraux

Les métaux lourds ont été extraits des cendres obtenues ci-dessus de la manière suivante: 0,10 g de cendre de chaque échantillon a été pesé dans un bécher de 100 ml préalablement taré; 5 ml d'acide chlorhydrique concentré et 20 ml d'eau distillée y étaient ajoutés. Le tout était chauffé à ébullition sur une plaque électrique jusqu'à l'obtention d'un tiers de solution. Après refroidissement, la solution a été filtrée dans une fiole de 50 ml, sur du papier filtre Whatman ordinaire. Le volume était complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée et, enfin, la solution de cendre obtenue était filtrée sous vide, sur une membrane de cellulose (à 0,45 µm de diamètre des pores), par aspiration à la pompe, pour supprimer les fines particules en suspension. Les échantillons étaient gardés fermés dans des flacons, au frais à 4 °C, jusqu'au dosage.

Préparation des sédiments : Les sédiments secs étaient broyés dans un mortier, puis tamisés au travers d'un tamis de maille 250 µm. Dix (10) g de chaque sédiment étaient pesés dans un Erlen de 100 ml auxquels nous avons ajouté 50 ml d'acétate d'ammonium 1N. Le tout était homogénéisé sur un agitateur pendant 1heure, puis filtré à l'aide du papier filtre Whatman dans une fiole de 100 ml. Le volume était ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée et filtré enfin sur membrane de cellulose.

Préparation des échantillons d'eau

Dans chaque fiole de 50 ml, on introduisait 0,5 ml d'acide chlorhydrique concentré. Chaque bouteille était agitée et son contenu filtré dans la fiole de 50 ml contenant l'acide jusqu'au trait de jauge. Le volume final était filtré sur une membrane de cellulose.

Analyse des échantillons au spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (FAAS)

Les concentrations de ces différents métaux, dans les solutions obtenues, ont été

déterminées par spectrométrie d'absorption atomique (Analytical methods, Varian 1989). L'appareil utilisé est un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme, marque VARIAN spectrAA 50B, alimenté par une flamme air-acétylène à la pression de l'air de 2,5-4 bars et celle de l'acétylène : 0,5-0,6 bar. Le courant d'alimentation était de 4 mA.

Préparation des gammes étalons et dosage des échantillons

Les courbes d'étalonnage ont été établies à partir des solutions standard de Cd et de Pb, d'Arlington Texas, à 1000 ppm de métal dissous dans 3% d'acide nitrique (HNO₃) et d'eau déminéralisée. Ces solutions ont été diluées conformément au protocole utilisé (Analytical methods, Varian 1989). Quant au Chrome, sa solution standard

métallique à 1 g/L a été diluée quantitativement dans l'eau distillée pour obtenir des concentrations de 5, 10, 15, et 20 µg/ml de chrome. Les mesures des densités optiques (DO) ont été effectuées pour le cadmium, plomb, chrome aux longueurs d'onde λ respectives de : 228,8 ; 217 et 357,9 nm. Les lampes utilisées étaient : Ag/Cd/Pb/Zn.

Analyses statistiques

L'analyse des résultats a été faite grâce au logiciel Statgraphics Plus version 5.0 à l'aide duquel nous avons effectué l'analyse des variances (ANOVA). Pour la construction des courbes et graphiques, nous avons utilisé les logiciels Sigma Plot 9.0 et Excel 2007.

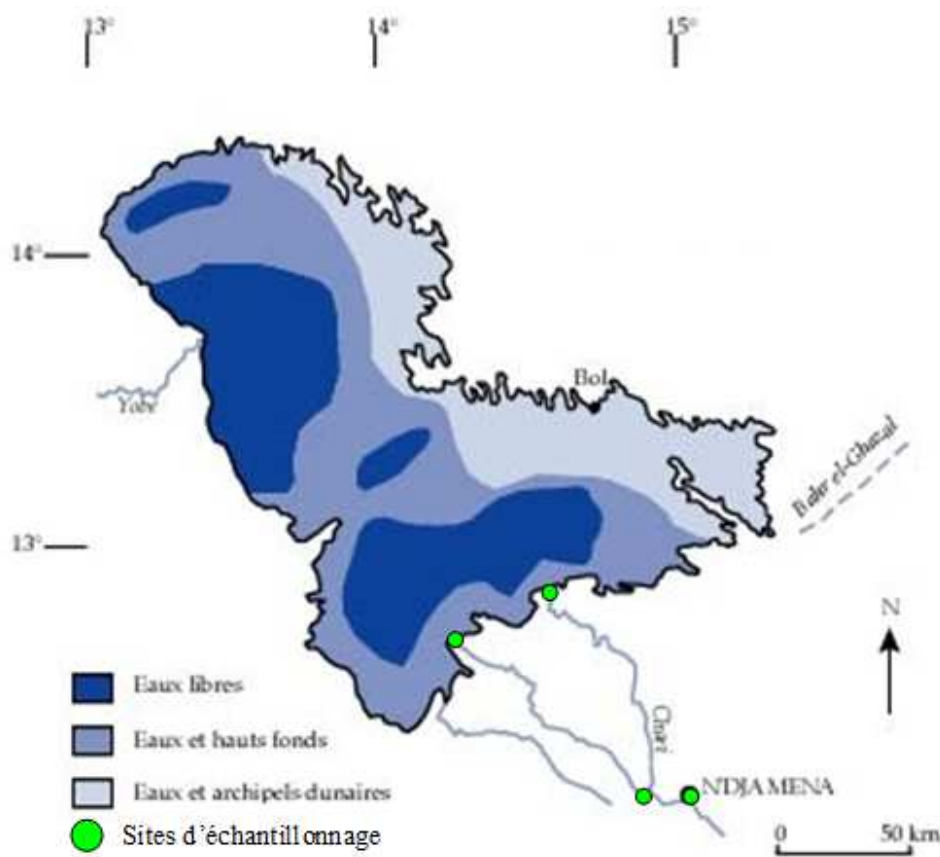


Figure 1: Les sites d'échantillonnage de l'eau et des sédiments.

Source : Images NASA 2002.

RESULTATS

La concentration en $\mu\text{g/ml}$ de la solution inconnue a été calculée à partir de l'équation de régression (DO) de chaque élément, obtenue de la droite d'étalonnage. Les équations linéaires de régression obtenues étaient respectivement de :

Cd : $\text{DO} = 0,0358x$; $R^2 = 0,9951$;

Pb: $\text{DO} = 0,0057x$; $R^2 = 0,9948$ et

Cr: $\text{DO} = 0,0011x$; $R^2 = 0,9135$.

La teneur de chaque métal lourd en ppm de matière sèche (MS) a été calculée comme suit :

$$T = ((X \times V_T \times Tcs) / (m \times Vi)), \text{ avec :}$$

X : concentration en $\mu\text{g/ml}$ de l'échantillon obtenue à partir des densités optique lues ;

V_T : volume total de l'extrait ;

Tcs : teneurs en cendres totales pour 100 g de MS ;

m : masse de l'échantillon ;

V_i : prise d'essai (1 mL).

Le résultat est la moyenne de trois essais ($n = 3$) par échantillon.

Concentration des éléments traces métalliques (ETM) dans les eaux et les sédiments du Lac Tchad

Les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau 1, pour les eaux et dans le Tableau 2 pour les sédiments.

Le cadmium et le plomb étaient en dessous de la limite de détection de notre technique instrumentale employée (Pb : $0,7 \mu\text{g/ml}$; Cd : $0,03 \mu\text{g/ml}$), dans les deux compartiments (eaux et sédiments) et ceci dans tous les échantillons.

La norme américaine pour l'eau potable est de $0,05 \text{ ppm}$, pour le chrome (U.S. EPA, 1985). Nos populations s'abreuvant directement dans les fleuves Chari et Logone, ainsi que des eaux du Lac Tchad, courent un risque réel pour leur santé, car nos résultats moyens obtenus au niveau des fleuves Logone et Chari, sont au moins 40 fois supérieurs à cette norme, tandis qu'au niveau du Lac Tchad, nos résultats sont 46 fois supérieurs.

Cette affirmation doit être cependant nuancée car d'après Davids et al. (1951), les effets toxiques connus du chrome chez l'homme sont attribuables surtout au chrome hexavalent (Cr VI). On considère le chrome trivalent (Cr III) comme un métal non toxique. Notre analyse a concerné le chrome total.

Comme explication à la teneur élevée en Chrome dans les eaux et sédiments du Lac Tchad, nous disons que cela serait dû à l'utilisation des engrais, pigments et peintures importés ; aux activités de la Société Tchadienne des Textiles, STT (utilisation du chrome comme fixateur des teintures), au refroidissement direct dans les fleuves des moteurs de la Société Tchadienne d'Eau et d'Electricité (STEE) et de ceux de la Société Nationale Sucrière du Tchad, SONASUT (Chrome, élément anti corrosion des moteurs).

Bioaccumulation des métaux lourds dans les différentes parties des poissons du Lac Tchad

Le Tableau 3 nous montre la taille et le poids des différents poissons étudiés. Nous avons choisi des poissons de tailles différentes comme critère d'âge, afin d'évaluer la bioaccumulation par espèce.

Nos résultats, en ce qui concerne la teneur en cendres totales (en % de la MS) de chaque organe prélevé, sont présentés dans le Tableau 4 :

Le pourcentage en cendres totales de chaque organe est la moyenne de deux répétitions. La teneur élevée en cendres des os s'expliquerait par le fait que, les os sont constitués des phosphates de calcium ou apatite, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, le calcium restant après incinération.

Dans les Tableaux 5, 6 et 7, sont présentés nos résultats en ce qui concerne les concentrations des métaux, respectivement dans les organes des carpes, des capitaines et des machoirons. Conformément au Tableau 5, la plus grande concentration en cadmium se trouvait dans le foie de la petite carpe ($16,14$

ppm), suivie des concentrations des têtes de la petite (15,14) et moyenne (10,94) carpes. Le plomb a été retrouvé dans un seul organe : dans la tête de la petite carpe, à la concentration moyenne de 5,15 ppm. Des Tableaux 6 et 7, il ressort que le plomb et le cadmium étaient en dessous du seuil de détection du spectrophotomètre utilisé et ceci, dans tous les organes des capitaines et des machoirs. D'après Farkas et al. (2003), la concentration des métaux dans les branchies, reflète la concentration de ces métaux dans l'eau, tandis que la concentration dans le foie, indique le stockage de ces métaux. Dans notre étude, les branchies ont été prélevées en même temps que la tête.

Dans le Tableau 8, nous avons exprimé la quantité de métal lourd en mg par poisson frais. Cette quantité a été obtenue selon la formule suivante : $Q = \Sigma (MS * T)$ où MS est la matière sèche d'un organe, en grammes, obtenue à partir de la prise d'essai fraîche et T, la teneur en métal lourd, par organe, en ppm. Il est à noter que, les organes tels que la

tête entière avec les branchies, le foie et les os de la colonne vertébrale ont été prélevés entiers. La quantité totale fraîche de la chair, a été obtenue par différence du poids entier de poisson d'avec les organes précités et les viscères.

En considérant les normes de l'U.E. (régulation 1881/2006), les doses hebdomadaires tolérables en mg/kg de poisson frais, sont respectivement : pour le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) de : 0,050-0,3 et 0,3. Quant au Chrome, U.S. Food and Nutrition Board (1980) autorise les doses allant de 0,05 à 0,2 mg/j pour l'homme.

Le Tableau 8 nous montre clairement que la consommation quotidienne des poissons du Lac Tchad, expose les consommateurs à des risques élevés pour leur santé car les teneurs en ces métaux sont supérieures aux normes prescrites. Le risque d'accumulation de ces métaux dans l'organisme est réel et les effets néfastes à craindre.

Tableau 1 : Teneur en métaux lourds des eaux, en ppm (mg/L), moyenne \pm écart-type par site d'échantillonnage (n = 3).

Métaux lourds	Sites d'échantillonnage des eaux			
	Logone	Chari	Mani	Lac Tchad
Cr	2,02 \pm 0,13	2,02 \pm 0,13	2,32 \pm 0,34	2,32 \pm 0,27
Cd	nd	nd	nd	nd
Pb	nd	nd	nd	nd

nd : non détecté

Tableau 2 : Teneur en métaux lourds des sédiments, en ppm (μ g/g), moyenne \pm écart-type par site d'échantillonnage.

Métaux lourds	Sites d'échantillonnage des sédiments			
	Logone	Chari	Mani	Lac Tchad
Cr	14,14 \pm 6,74	15,15 \pm 4,04	9,09 \pm 0,00	9,09 \pm 0,00
Cd	nd	Nd	nd	nd
Pb	nd	Nd	nd	nd

Tableau 3 : Taille et poids des poissons de l'étude.

Espèces	Taille	Longueur (cm)	Poids (g)
Carpe	petite (pt)	25	378
	moyenne (moy)	31	682
	grande (grde)	35	1154
Capitaine	petit (pt)	34	510
	moyen (moy)	40	1014
	grand (grd)	62	1714
Machoiron	petit (pt)	39	162
	moyen (moy)	69,5	1496
	grand (grd)	56	2464

Tableau 4 : Teneur moyenne en cendres des différents organes des poissons.

Organes	Carpes	Capitaines	Machoirons
Tête	31.03±2.62	35.19±1.61	30.95±4.88
Foie	5.11 ±2.76	3.84±2.11	7.25±2.89
Chair	5.93 ±0.17	4.81±0.17	5.05±0.13
Os	34.49±0.74	37.69±0.78	35.20±2.34

Tableau 5 : Concentration (ppm de MS) en métaux lourds des organes des carpes du Lac Tchad.

Métaux lourds				
	Organes	Carpe pt	Carpe moy,	Carpe grde
Cd	Tête	15,14 ± 7,57	10,94 ± 4,17	nd
	Foie	16,14 ± 7,53	nd	0,45 ± 0,57
	Chair	2,18 ± 0,36	nd	nd
	Os	nd	nd	nd
Cr	Tête	123,22 ± 0,00	152,54± 0,00	192,5 ±64,17
	Foie	157,61± 0,00	5,57± 0,00	56 ± 18,67
	Chair	26,55± 0,00	28,11± 0,00	51,93± 0,00
	Os	153,58± 0,00	215,74±71,91	258,3±68,88
Pb	Tête	5,15 ± 0,53	nd	nd
	Foie	nd	nd	nd
	Chair	nd	nd	nd
	Os	nd	nd	nd

nd : non détecté ; moy : moyenne ; grde : grande ; pt : petit

Tableau 6 : Concentration (ppm de MS) en métaux lourds des organes des capitaines du Lac Tchad.

Métaux lourds	Organes	Capitaine pt	Capitaine moy	Capitaine grd
Cr	Tête	298,03 ± 0,00	214,74 ± 71,58	339,65 ± 0,00
	Foie	28,37 ± 9,46	6,1 ± 0,00	28,06 ± 0,00
	Chair	30,57 ± 10,19	34,54 ± 9,21	43,92 ± 0,00
	Os	167,46 ± 0,00	283,27 ± 75,57	353,02 ± 0,00
Cd	Dans tous	nd	nd	nd
Pb	les organes	nd	nd	nd

nd : non détecté ; moy : moyenne ; grde : grande ; pt : petit

Tableau 7 : Concentration (ppm de MS) en métaux lourds des organes des machoirons du Lac Tchad.

Métaux lourds	Organes	Machoiron pt	Machoiron moy	Machoiron grd
Cr	Tête	284,47 ± 75,86	287,88 ± 0,00	179,08 ± 47,76
	Foie	105,32 ± 0,00	53,89 ± 14,37	27,68 ± 0,00
	Chair	45,33 ± 0,00	44,75 ± 0,00	39,76 ± 10,60
	Os	351,93 ± 0,00	317,69 ± 0,00	290,25 ± 0,00
Cd	Dans tous	nd	nd	nd
Pb	les organes	nd	nd	nd

nd : non détecté ; moy : moyenne ; grde : grande ; pt : petit

Tableau 8 : Quantité en mg de métal lourd par poisson.

Espèce	Poids en g	Organes	Teneur par organe, µg/g			Quantité par organe, mg			Quantité métal par poisson, mg		
			Pb	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr
Carpe	378	tête	5,15	15,14	123,22	0,15	0,45	3,69			
		foie		16,14	157,61		0,01	0,14			
		chair		2,18	26,55		0,11	1,29			
		os			153,58			1,19	0,15	0,57	6,32
Carpe	682	tête		10,94	152,54		0,36	4,98			
		foie			5,57			0,01			
		chair			28,11			2,46			
		os			215,74			2,86		0,36	10,30
Carpe	1154	tête			192,50			14,83			
		foie		2,15	56,00		0,0048	0,13			
		chair			51,93			8,66			
		os			258,30			7,78		0,0048	31,40
Capitaine	510	tête			298,03			8,93			
		foie			28,37			0,04			
					475						

		chair	30,57	2,30	
		os	167,46	1,83	13,09
Capitaine	1014	tête	214,74	11,51	
		foie	6,10	0,01	
		chair	34,54	5,09	
		os	283,27	6,13	22,74
Capitaine	1714	tête	339,65	34,52	
		foie	28,06	0,01	
		chair	43,92	14,02	
		os	353,02	13,92	62,48
Machoiron	162	tête	284,47	2,15	
		foie	105,32	0,02	
		chair	45,33	0,91	
		os	351,93	1,07	4,15
Machoiron	1496	tête	287,88	25,49	
		foie	53,89	0,12	
		chair	44,75	9,58	
		os	317,69	11,96	47,14
Machoiron	2464	tête	179,08	34,07	
		foie	27,68	0,13	
		chair	39,76	13,18	
		os	290,25	22,76	70,14

DISCUSSION

La moyenne de concentration en chrome des trois échantillons par site pour l'eau, montre une augmentation de l'amont (Logone et Chari) vers l'aval (Lac Tchad). Nos résultats allaient de 2,02 au niveau du Logone et Chari à 2,32 ppm à Mani et au Lac Tchad. Ceci démontre donc un processus d'accumulation vers le Lac Tchad.

Nos résultats obtenus, en ce qui concerne le chrome, montrent que le Lac Tchad est plus contaminé que le Lac Nasser en Egypte et le Lac Beysehir en Turquie.

Rashed (2001), en Egypte, dans le lac Nasser, a relevé une moyenne de 0,24 ppm, résultat presque dix fois inférieur à ce que nous avons trouvé dans le Lac Tchad. Altindag et Sibel (2005), dans le Lac Beysehir en Turquie, ont eu des valeurs allant de 0,027 à 0,028 ppm, ce qui est au moins 70 fois inférieur à la contamination du Lac Tchad.

En ce qui concerne les sédiments, les moyennes de concentrations allaient de 9,09

ppm au Lac Tchad à 15,15 dans le Chari au niveau de N'Djaména. Le site du Chari qui montre une contamination plus élevée que celui du Lac Tchad s'expliquerait par le fait que ce site se trouve en aval du grand canal du Rond-Point de la fontaine. Ce canal draine une bonne partie des eaux usées de la capitale N'Djaména. Ceci peut être une preuve que ces eaux non traitées et directement rejetées dans le Chari, auraient une charge importante en chrome.

Cependant, la contamination des sédiments des deux fleuves tchadiens, et du Lac Tchad, est inférieure à celle du Lac Nasser en Egypte, où Rashed (2001) a révélé une concentration moyenne de 79 ppm dans les sédiments.

Dans les poissons, Le cadmium était détecté uniquement dans les carpes. La chair de la petite carpe avait une concentration de 2,18 ppm. La concentration dans la chair de la carpe est dix (10) fois supérieure à la norme Européenne de 2006 (régulation 1881/2006).

Dans la littérature scientifique, on trouve beaucoup des travaux concernant le cadmium dans les poissons.

La concentration en cadmium, retrouvée dans la chair de nos carpes (2,18 ppm) était inférieure à celle des travaux de Aysun et al. (2005). Aysun et al. (2005) dans la baie Iskenderun, au Nord-est de la mer Méditerranée, en Turquie ; sur trois espèces de poisson, a obtenu la moyenne dans les chairs, variait de 0,02 à 4,16 ppm.

Cependant, nos concentrations en cadmium, trouvées dans la chair des carpes, se sont révélées supérieures à celles des travaux des auteurs ci-dessous : Alam et al. (2002) dans les carpes du Lac Kasumigaura au Japon, ont obtenu les résultats suivants : chair (0,009 ppm), foie (0,010) et reins (0,273). Durali et al. (2005) sur sept espèces de poisson, de sept (7) lacs de la Turquie, ont obtenu des teneurs moyennes allant de 0,1 à 1,2 ppm, tandis que Gabriela et al. (2005) autour du Port Tomis, dans la mer Noire, ont obtenu des valeurs allant de 0,02 à 1,71 ppm.

Beaucoup d'auteurs affirment que la chair de poisson présente habituellement le plus faible potentiel d'accumulation des métaux lourds, tandis que le foie et les reins présentent celui le plus élevé (Ron van der Oost et al., 2003 ; Kamaruzzaman et al., 2010 ; Adeyeye et Ayoola, 2013). Nos résultats obtenus dans les carpes suivent cette évolution. Nous avons obtenu une moyenne de 2,18 ppm dans la chair et celle de 16,14 ppm dans le foie.

Le chrome a été retrouvé dans tous les poissons, à des concentrations très élevées. Les teneurs dans les chairs variaient respectivement de : carpes (de 26,55 à 51,93 ppm) ; capitaines (de 30,57 à 43,92 ppm) et machoirons (de 39,76 à 45,33 ppm). Nos résultats sont supérieurs à tous ceux dont nous avons pris connaissance dans la littérature scientifique, à l'état de nos recherches. L'analyse des variances, en ce qui concerne les poids et les têtes des carpes, a révélé une corrélation positive et significative ($r = 0,99$;

$p = 0,02$). Cela signifie que, lorsque le poids des carpes augmente, il y a bioaccumulation du chrome dans les têtes.

En ce qui concerne les capitaines, on note la même évolution, dans la chair et les os. La concentration du chrome dans les deux organes croît avec le poids.

Les tendances sont inversées dans les machoirons, qui comportaient le plus gros poisson de notre étude (2,464 kg). La concentration du chrome diminuait dans le foie, la chair et les os avec l'augmentation de l'âge. Cette tendance à la diminution de la concentration des métaux lourds, dans les gros poissons, a été soulignée dans les travaux de Pourang et al. (2005). Ces auteurs expliquaient cela par le fait que cela serait dû à l'effet de dilution avec la croissance, et l'échange d'ions dans les milieux du poisson.

En comparant nos résultats obtenus dans les chairs des poissons à la grille de qualité de Mersch (1993) qui permet de définir le niveau de pollution des cours d'eau en utilisant *Dreissena polymorpha* comme standard, nous pouvons dire ceci, en ce qui concerne la pollution du Lac Tchad :

➤ Pour le cadmium, nous avons trouvé une concentration moyenne de 2,18 ppm, dans la chair de carpe. Ceci correspond à la classe 2 : situation intermédiaire de pollution du Lac ;

➤ Pour le chrome, dans la chair de tous nos poissons, la concentration allait de 26,55 à 51,93 ppm, donc supérieure à 10 dans cette grille (classe 4). Cela indique une pollution importante du Lac Tchad ;

➤ Pour le Pb, la concentration moyenne trouvée, qui était de 5,15 ppm, nous indique une pollution certaine (classe 3).

Conclusion

Les résultats obtenus après analyse de nos échantillons nous permettent de conclure que :

➤ Le Lac Tchad et ses poissons (carpes, capitaines et machoirons) sont contaminés par le cadmium (Cd), le chrome (Cr) et le plomb (Pb) ;

- Les concentrations de ces métaux lourds dans les poissons, sédiments, et les eaux du Chari, Logone et Lac Tchad sont supérieures aux normes existantes (UE, USA et JECFA FAO/OMS);
- Dans l'eau, la concentration des métaux lourds augmente d'amont (N'Djaména) en aval (Lac Tchad) ;
- Les sédiments sont plus contaminés en métaux lourds que les eaux ;
- Dans les poissons, en considérant que lors de la cuisson, le foie est jeté avec les viscères, ces métaux dans les parties comestibles se concentrent le plus dans les os, suivis de la tête. La chair est la partie la moins contaminée ;
- Les carpes qui se nourrissent dans les sédiments, concentrent tous les métaux lourds détectés et leurs têtes sont particulièrement contaminées ;
- Dans les plus gros poissons (machoirons), il y a diminution de la teneur en métaux lourds par rapport aux plus petits.
- La teneur en métaux lourds par poisson montre clairement que la consommation quotidienne des poissons du Lac Tchad, expose les consommateurs à des risques élevés pour leur santé car les teneurs en ces métaux sont au-delà des normes prescrites. Le risque d'accumulation de ces métaux dans l'organisme est réel et les effets néfastes à craindre.

Nous avons prévu analyser aussi le mercure (Hg), mais pour des raisons techniques, cela n'a pu être réalisé. Il est très souhaitable que ce métal soit analysé dans les poissons, les sédiments et les eaux des mêmes sites dès que les conditions techniques le permettront.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent particulièrement à l'Ecole Supérieure des Sciences Exactes et Appliquées de Bongor au Tchad (ESSEAB), à travers son Directeur Général, Monsieur Ayambi GOUTIMA, pour

avoir pris en charge les frais de laboratoire et son soutien moral ; au Secrétaire Général, Monsieur Dotarde ALLAL ; à l'agent comptable, Monsieur GRANGUYO Garina Marcel, qui ont risqué leur vie plusieurs fois dans la circulation difficile entre N'Djaména et Kousséri au Cameroun afin de m'apporter le soutien financier ; au Dr Ali AHMED, Directeur de l'IUT de l'Université de Ngaoundéré, Mr. SAIDOU, doctorant ; de m'avoir accepté et aidé dans leur laboratoire de Génie Chimique pour mes analyses ; au Dr NGUINBOU Richard pour son appui documentaire et Alphée GOIMBI qui m'a conduit sur les pistes difficiles, à travers forêts et sur pirogue, vers le Lac Tchad à la recherche des échantillons.

REFERENCES

- Adeyeye A, Ayoola PB. 2013. Heavy metal concentrations in some organs of African Catfish (*Clarias gariepinus*) from EKO-ENDE DAM, IKIRUN, NIGERIA. *Continental J. Applied Sciences*, **8**(1): 43–48.
- AFNOR. 1981. Recueil de normes françaises. Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés (2ème edn). AFNOR : Paris, France.
- Alam MGM, Tanaka A, Allinson G, Laurenson LJB, Stagnitti F, Snow ET. 2002. A Comparison of Trace Element Concentrations in Cultured and Wild Carp (*Cyprinus carpio*) of Lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **53**(3): 348–354.
- Altındag Ahmet, Sibel Yigit. 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of Lake Beysehir, Turkey. *Chemosphere*, **60**: 552–556.
- Analytical methods, Varian. 1989. Flame Atomic Absorption Spectrometry, Varian Australia. Revised march, 1989.

- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis* (15th edn). Association of Official Analytical Chemists: Washington, D. C.
- Asonye CC, Okoline NP, Okenwa EE, Iwuanyanwu UG. 2007. Some physicochemical characteristics and heavy metal profiles of Nigerian rivers, streams and waterways, *African Journal of Biotechnology*, **6**(5): 617-624.
- Aysun T, Mustafa T, Yalcin T, Ihsan A. 2005. Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. *Food Chemistry*, **91**: 167-172.
- Chale FMM. 2002. Trace metal concentrations in water, sediments and fish tissue from Lake Tanganyika, Tanzania. *The Science of the Total Environment*, **299**: 115-121.
- Chen CY, Stemberger RS, Klaue B, Blum JD, Pickhardt C, Folt CL. 2000. Accumulation of heavy metals in food web components across a gradient of lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **45**(7): 1525-1536.
- Dauids HW, Lieber M. 1951. Underground water contamination by chromium wastes. *Water Sewage Works*, **98**: 528.
- Durali M, Ozgür DaU, Erdogan H, Mustafa T, Hayati S, Menderes S. 2005. Determination of trace metal levels in seven fish species in lakes in Tokat, Turkey. *Food*, **90**(1-2) : 175-179.
- Gabriela S, Magdalena M, Simona G. 2005. Pesticides and Heavy Metals Determination in Marine Organisms from Black Sea. *Chem. Bull. "POLITEHNICA" Univ. (Timișoara)*, **50**(64): 1-2.
- Habes Ghrefat, Nigem Yusuf. 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*, **65**(11) : 2114-2121.
- Iltis A. 1975. L'ensemble Yaérés-Bas Chari-Lac Tchad et la production piscicole au Tchad. Notes techniques du centre ORSTOM de N'djaména N° 1, janvier 1975.
- Jobin P. 2006. *Maladies Industrielles et Syndicats au Japon*. Editions de l'EHESS.
- Kaki C, Guedenon P, Kelome N, Eдорh PA, Adechina R. 2011. Evaluation of heavy metals pollution of Nokoue Lake. *African Journal of Environmental Science and Technology*. **5**(3), 255-261.
- Kamaruzzaman BY, Ong MC, Rina SZ. 2010. Concentration of Zn, Cu and Pb in Some Selected Marine Fishes of the Pahang Coastal Waters, Malaysia. *American Journal of Applied Sciences*, **7**(3): 309-314.
- Kalay M, Canl M. 2000. Elimination of essential (Cu and Zn) and non-essential (Cd and Pb) metals from tissue of a freshwater fish, *Tilapia zilli*. Tr. *J. Zool.*, **24**: 429-436.
- Merle A, Nadia B, Pierre L, Nambatingar N. 2007. L'environnement au Tchad. <http://liris.cnrs.fr/~cnriut08/actes/articles/213.pdf>
- Mersch J. 1993. Modalités d'utilisation de la moule zébrée *Dreissena polymorpha* en tant qu'indicateur biologique de la contamination des écosystèmes d'eau douce par les métaux lourds – comparaison avec un autre type d'organismes sentinelles, les mousses aquatiques. Thèse de Doctorat, Université de Metz, 231 p.
- Okwonko JO, Mothiba M. 2005. Physico-chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the rivers in Thohoyandou, South Africa. *Journal of Hydrology*, **308**: 122-127.
- Pourang N, Tanabe S, Rezvani S, Dennis JH. 2005. Trace elements accumulation in edible tissues of five sturgeon species from the Caspian Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, **100**: 89-108.
- Rashed MN. 2001. Monitoring of Environmental heavy metals in fish from

- Nasser Lake, Egypt. *Environment International*, **27**: 27-33.
- Ron van der Oost, Jonny Beyer, Nico PE V. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review article. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **13**: 57-149.
- Sibel Yigit, Ahmet Altindag. 2006. Concentration of heavy metals in the food web of Lake Egirdir, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, **27**(3): 475-478.
- Tchad MEE. 2005. Profil National du Tchad sur la gestion des produits chimiques. Ministère de l'Environnement et de l'Eau. Tchad, UNITAR, deuxième version. Décembre 2005.
- U.E. 2006. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006, at Brussels, setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. For the Commission, Markos Kyprianou, Member of the Commission. *Official Journal of the European Union* L 364/5. 20.12.2006
- U.S. EPA. 1985. *Health Effects Criteria Document for Chromium. Criteria and Standards Division, Office of Drinking Water*. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA): Washington.
- U.S. Food and Nutrition Board. 1980. *Recommended Daily Allowances* (9th rev. edn). National Academy of Sciences: Washington, DC.