

Evaluation 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)

B. Katemo Manda¹, G. Colinet², L. André³, A. Chocha Manda¹, J.-P. Marquet⁴ & J.-C. Micha^{5*}

Keywords: Effluent- Plancton- *Phragmites australis*- *Oreochromis macrochir*- *Tilapia rendalli*- *Clarias gariepinus*- Katanga/DR Congo

Résumé

Sept éléments traces (Cu, Co, Zn, Cd, Pb, U, V et As) ont été analysés à l'aide d'un HR ICP-MS dans des échantillons d'eau, de plancton, de feuilles de *Phragmites australis* ainsi que de muscles et de branchies de trois espèces des poissons (*Oreochromis macrochir*, *Tilapia rendalli* et *Clarias gariepinus*) récoltés dans le bassin de la Lufira supérieure. Les résultats indiquent une forte teneur en cuivre (70,9 ppm) et cobalt (32,3 ppm) dans les effluents du complexe hydrométallurgique de Shituru. Si la contamination des cours d'eau diminue avec l'éloignement de la source de pollution, les valeurs sont très élevées dans le lac Tshangalele pour le plancton et les feuilles de *P. australis*. Pour les poissons, les résultats indiquent que le Pb, U, V, Cu, Co et Cd s'accumulent préférentiellement dans les branchies alors que le Zn s'accumule plus dans les muscles. L'As s'accumule dans le même ordre de grandeur dans les deux organes. Ces résultats confirment la pollution du bassin de la Lufira par les effluents du complexe hydrométallurgique de Shituru.

Summary

Evaluation of Contamination of the Food Chain by Trace Elements (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V and As) in the Basin of the Upper Lufira (Katanga/DR Congo)

Seven trace elements (Cu, Co, Zn, Cd, Pb, U, V and As) were analyzed using a HR ICP-MS in samples of water, plankton, leaves of *Phragmites australis*, muscle and gills of three fish species (*Oreochromis macrochir*, *Tilapia rendalli*, *Clarias gariepinus*) collected in the basin of the upper Lufira. The results indicate a high copper (70.9 ppm) and cobalt (32.3 ppm) content in the effluent of complex hydrometallurgical Shituru. If contamination of rivers decreases with distance from the pollution source, the values are very high in lake Tshangalele for plankton and leaves of *P. australis*. For fish, the results indicate that Pb, U, V, Cu, Co and Cd accumulates preferentially in the gills but Zn accumulates more in the muscles. As accumulates in the same order of magnitude in both organs. These results confirm the pollution of the basin by the effluents from Lufira complex hydrometallurgical Shituru.

Introduction

Les problèmes posés par la dispersion des polluants dans l'environnement suscitent l'intérêt de la communauté scientifique depuis maintenant de nombreuses années car la protection de l'environnement passe par la connaissance du devenir de ces polluants dans l'environnement et de leurs effets sur les écosystèmes aquatiques.

Parmi les contaminants majeurs de l'environnement, les métaux lourds posent de sérieux problèmes écologiques, tant par le caractère ubiquiste de leur présence au sein de la biosphère que par leur toxicité et leur bioaccumulation potentielle dans plusieurs espèces aquatiques induisant des effets dévastateurs sur la balance écologique de l'environnement aquatique (1, 3).

Ces dernières années, on assiste à une intensification

de l'exploitation minière dans la ceinture du cuivre au Katanga. Parmi les minerais exploités, on cite le cuivre (Cu), le cobalt (Co), le zinc (Zn), le plomb (Pb), l'uranium (U), l'arsenic (As) et le cadmium (Cd) (2). Dans la région de Likasi, les eaux de lavage des minerais et les effluents des usines contiennent des métaux lourds qui sont rejetés sans traitement préalable dans le bassin de la Lufira supérieure. Ainsi donc pour maintenir la qualité des produits halieutiques, il est important d'évaluer le niveau de la pollution des cours d'eau et de la chaîne trophique car aucune étude de ce genre n'a jusque là été faite dans la ceinture du cuivre au Katanga.

Cette étude poursuit deux objectifs, d'abord identifier la source de pollution dans le bassin de la Lufira supérieure, en suite mesurer l'accumulation des

¹ Unité de recherche en aquaculture, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo.

² Unité de Science du sol, Gembloux Agro Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique.

³ Minéralogie-Pétrographie/Géochimie, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique.

⁴ Projet de développement de la pêche artisanale et de l'aquaculture au Katanga de la coopération technique Belge, Lubumbashi, RD Congo.

⁵ Unité de Recherche en Biologie des Organismes, Faculté Universitaire Notre-Dame de la Paix, Namur, Belgique.

*Auteur correspondant

Reçu le 25.10.10 et accepté pour publication le 08.11.10.

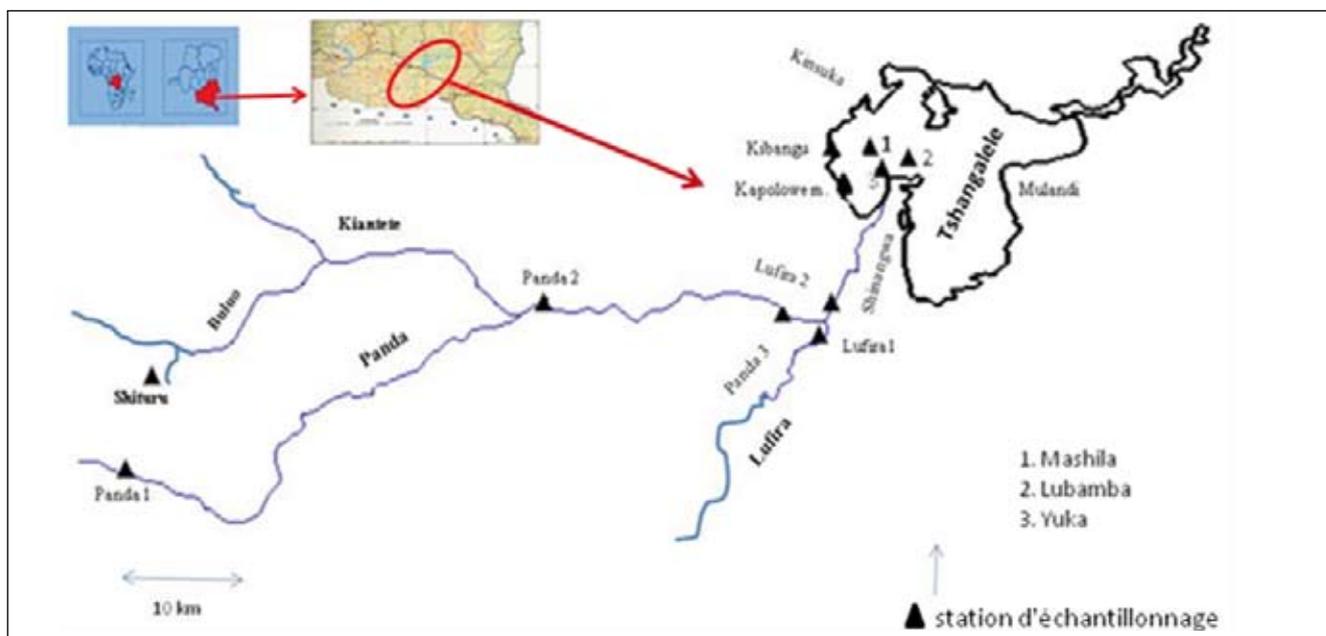


Figure 1: Le bassin de la Lufira supérieure et la zone d'étude.

éléments traces dans la chaîne trophique afin d'évaluer les risques sur la santé humaine.

Matériels et méthode

1. Echantillonnage

Les échantillons d'eau, de plancton, des feuilles de *Phragmites australis* (Cav.) et de trois espèces des poissons à savoir *Oreochromis macrochir* (Boulenger, 1912), *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1897) et *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) ont été récoltés dans le bassin de la Lufira supérieure (Figure 1).

Le traitement des feuilles de *P. australis* consistait à nettoyer l'échantillon composite de 10 plantes à l'eau du robinet puis à l'eau déminéralisée, à le faire sécher à l'étuve pendant 72 heures à 80 °C, à le découper et le broyer dans un broyeur universel M20.

La pêche de plancton dans le lac Tshangalele s'est faite à l'aide d'un filet à plancton à mailles de 150 µm. Les échantillons ont été surgelés puis séchés à l'étuve (80 °C pendant 48 h) avant leur stockage dans des flacons en plastiques.

Quant aux poissons, dix individus par site ont été récoltés et placés au froid immédiatement après le

prélèvement. Au laboratoire, les branchies et 2 cm² de muscle pris au niveau du pédoncule caudale ont été prélevés et séchés à l'étuve (80 °C) jusqu'à ce que le poids ne varie pas et enfin les échantillons ont été broyés et conservés dans un endroit obscur à 4 °C.

2. Analyse au laboratoire et traitement statistique

L'analyse d'éléments traces métalliques (Co, Cu, Zn, As, Cd, Pb, U et V) dans les échantillons d'eau, de feuilles de *P. australis* et des muscles et branchies des poissons a été réalisée au laboratoire du Musée Royale d'Afrique centrale à Tervuren (Belgique). Les analyses ont été réalisées en moyenne résolution (R= 4000) pour tous les éléments à l'exception de l'arsenic qui nécessite la haute résolution (R= 10000) à l'aide d'un ICP-MS haute résolution (ELEMENT 2 de Thermo Finnigan). Le plancton a été analysé à Lubumbashi (RD Congo) au laboratoire de l'Office Congolais de Contrôle et le programme analytique concernait les éléments Cu, Co, Zn et Pb.

L'analyse de la variance et le test t ont été utilisés pour traiter les données grâce au logiciel Statistica 7.1 (Stat soft, Inc.)

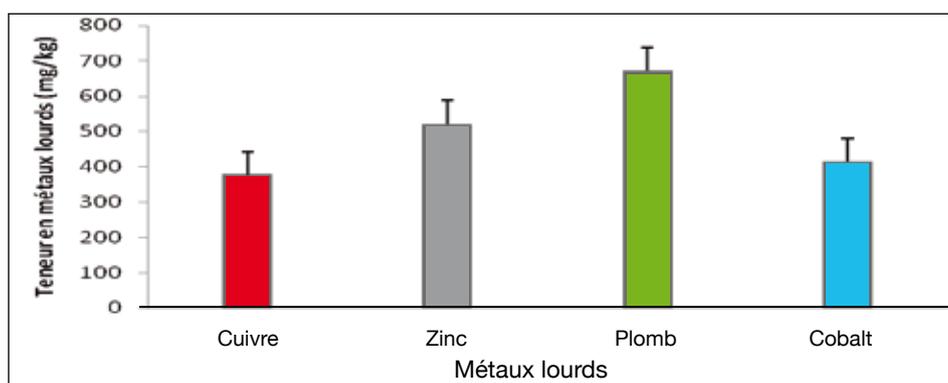


Figure 2: Teneurs des planctons en quelques métaux lourds (mg/kg) dans le lac Tshangalele en 2009.

Résultats

Les résultats relatifs à la concentration en éléments traces dans l'eau sont présentés dans le tableau 1. Ces résultats indiquent une forte concentration en éléments traces dans les effluents du complexe hydrométallurgique de Shituru qui pollue fortement la rivière Panda où les valeurs du Pb sont multipliées par 6, celles du Zn par 9 et celles du Cd par 22 mais les plus fortes contaminations concernent le Cu et le Co où les valeurs en aval de Shituru représentent respectivement 84 et 68 fois celles de l'amont.

Dans le lac Tshangalele, les résultats indiquent qu' hormis les sites situés loin de l'embouchure de la rivière Lufira, tous les autres présentent des fortes teneurs en éléments traces et les plus fortes valeurs concernent le Cu, le Co et le Zn.

Si les valeurs des métaux lourds dans l'eau diminuent avec l'éloignement de la source de pollution, on constate que les valeurs des métaux lourds dans le niveau supérieur de la chaîne trophique sont très élevées. Pour le plancton pêché dans le lac Tshangalele, les résultats (Figure 2) indiquent une forte contamination en tous les métaux lourds analysés.

Les résultats d'analyse des métaux lourds dans les feuilles de *P. australis* démontrent une forte contamination des feuilles. Ici tous les échantillons ont été prélevés en aval du complexe hydrométallurgique de Shituru et indiquent en général une diminution de la contamination en métaux lourds avec l'éloignement de la source de pollution (Tableau 2).

Les poissons attirent l'attention car ils sont au sommet de la chaîne trophique dans le milieu aquatique et

peuvent, par conséquent, affecter directement la santé humaine. Dans cette étude, deux espèces de la famille des Cichlidae et une de la famille des Clariidae ont été étudiées en raison de leurs régimes alimentaires différents et de leur importance par rapport à la pêche.

La première espèce en termes de capture de pêche est l'*O. macrochir* qui est planctonophage et la seconde espèce est le *T. rendalli* qui est macrophytophage tandis que *Clarias gariepinus* est omnivore à tendance carnivore.

L'analyse des résultats présentés dans le tableau 3a sur les muscles et les branchies d'*O. macrochir* indique que dans le lac Tshangalele, les échantillons prélevés sur les sites se trouvant loin de l'embouchure de la Lufira contiennent moins des contaminants (2 à 10 mg/kg pour le Co; 3 à 5 mg/kg pour le Cu et 72 à 73 mg/kg pour le Zn) que ceux prélevés dans les sites proches de l'embouchure (34 à 84 mg/kg pour le Co; 19 à 37 mg/kg pour le Cu et 100 à 184 mg/kg pour le Zn)

La comparaison des résultats obtenus sur les branchies et les muscles (Tableau 4a) indique que les polluants ne sont pas accumulés de la même manière dans ces organes. Quel que soit l'élément, les branchies semblent contenir plus des contaminants que les muscles (58,91 contre 6,79 mg/kg pour le Co ou 38,25 contre 3,85 mg/kg pour le Cu) à l'exception du zinc qui ne montre pas de différence ($p < 0,05$) entre les deux organes (108,65 mg/kg pour les branchies contre 112,04 mg/kg pour les muscles).

Tableau 1
Concentration en métaux lourds dans les eaux du bassin hydrographique de la Lufira et dans son lac de barrage Tshangalele (moyenne de 2 échantillons prélevés en septembre 2008 et avril 2009)

SITE	Métaux lourds (mg/l)							
	Pb	U	V	As	Cd	Co	Cu	Zn
Panda 1	0,006 ^a	0,015 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,187 ^a	0,336 ^a	0,160 ^a
Shituru	0,078 ^c	0,023 ^b	0,036 ^b	0,012 ^b	39,7 ^b	32,3 ^b	70,9 ^c	2,38 ^b
Panda 2	0,034 ^b	0,002 ^a	0,011 ^a	0,005 ^a	0,022 ^a	12,8 ^a	28,2 ^b	1,41 ^a
Panda 3	0,006 ^a	0,001 ^a	0,002 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,861 ^a	0,458 ^a	0,429 ^a
Lufira 1	0,009 ^a	0,002 ^a	0,003 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,402 ^a	0,328 ^a	5,24 ^c
Lufira 2	0,005 ^a	0,004 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,218 ^a	0,481 ^a	0,193 ^a
Lufira 3	0,004 ^a	0,001 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,221 ^a	0,323 ^a	0,118 ^a
Kapolowe M.	0,004 ^a	0,001 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,108 ^a	0,093 ^a	3,24 ^b
Kibangu	0,006 ^a	0,001 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,083 ^a	0,111 ^a	1,66 ^{ab}
Lubamba	0,004 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,001 ^a	0,304 ^a	0,123 ^a	0,591 ^a
Mashila	0,002 ^a	0,001 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,000 ^a	0,046 ^a	0,050 ^a	0,295 ^a
Yuka	0,002 ^a	0,002 ^a	0,002 ^a	0,001 ^a	0,002 ^a	0,591 ^a	0,111 ^a	0,439 ^a
Shinangwa	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,001 ^a	0,006 ^a	0,008 ^a
Kisunka	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,005 ^a	0,005 ^a

Les chiffres affectés d'une même lettre dans la colonne ne sont pas significativement différents au seuil de confiance de 5%.

Tableau 2
Concentration en métaux lourds (mg/kg) dans les feuilles de *Phragmites australis* prélevés dans les cours d'eau du bassin hydrographique de la Lufira et dans son lac de barrage Tshangalele en 2009

Site	Métaux lourds (mg/kg)							
	Pb	U	V	Co	Cu	Zn	As	Cd
Panga 2	376 ^b	7,55 ^a	109 ^{ab}	3683 ^a	6371 ^a	5518 ^a	520 ^{ac}	48,0 ^a
Panga 3	286 ^{ab}	14,20 ^{ac}	138 ^{ab}	3699 ^a	11543 ^a	4071 ^a	436 ^a	51,5 ^a
Lufira 1	190 ^a	3,74 ^a	62,7 ^{ab}	367 ^a	3235 ^a	2066 ^a	192 ^{ab}	22,4 ^a
Lufira 2	421 ^b	10,68 ^a	189 ^b	3586 ^a	7452 ^a	5279 ^a	514 ^a	64,7 ^{ab}
Kapolowe M.	160 ^a	3,28 ^a	38 ^a	1187 ^a	5721 ^a	4523 ^a	313 ^a	50,7 ^a
Kibangu	141 ^a	1,45 ^{ab}	17,7 ^a	285 ^a	2564 ^a	3899 ^a	232 ^a	33,8 ^a
Lubamba	138 ^a	1,27 ^{ab}	21,0 ^a	135 ^a	2468 ^a	4387 ^a	185 ^a	24,3 ^a
Yuka	147 ^a	0,96 ^{ab}	16,2 ^{ac}	211 ^a	2564 ^a	2613 ^a	172 ^{ab}	17,1 ^{ac}
Mashila	108 ^a	1,01 ^{ab}	16,3 ^a	28 ^a	2081 ^a	4871 ^a	172 ^{ab}	14,0 ^{ac}

Les chiffres affectés d'une même lettre dans la colonne ne sont pas significativement différents au seuil de confiance de 5%.

Tableau 3
Teneur en métaux lourds dans les poissons (moyenne branchies et muscles) capturés dans la rivière Lufira et dans le lac de barrage Tshangalele en 2009: 3a: *Oreochromis macrochir*, 3b: *Tilapia rendalli*, 3c: *Clarias gariepinus*

Sites/Espèces	Métaux lourds (mg/kg)							
	Pb	U	V	Co	Cu	Zn	As	Cd
3a: <i>O. macrochir</i>								
Lufira 1	0,139 ^a	0,054 ^a	1,19 ^a	2,87 ^a	7,25 ^a	76,8 ^a	0,545 ^a	0,097 ^a
Kapol. M	0,491 ^a	0,138 ^a	3,26 ^a	36,6 ^a	28,5 ^a	183 ^b	0,337 ^a	0,872 ^a
Kibangu	0,359 ^a	0,172 ^a	2,60 ^a	34,8 ^a	30,5 ^a	127 ^{ab}	0,402 ^a	1,01 ^a
Lubamba	0,357 ^a	0,104 ^a	1,06 ^a	34,9 ^a	18,7 ^a	100 ^a	0,157 ^a	0,540 ^a
Mashila	1,23 ^a	0,162 ^a	2,00 ^a	84,7 ^a	37,1 ^a	109 ^{ab}	0,409 ^a	1,62 ^a
Yuka	0,405 ^a	0,069 ^a	1,91 ^a	55,6 ^a	37,3 ^a	139 ^{ab}	0,203 ^a	0,611 ^a
Shinangwa	0,198 ^a	0,083 ^a	0,437 ^a	2,84 ^a	3,01 ^a	72,8 ^a	0,188 ^a	0,152 ^a
Mulandi	0,495 ^a	0,135 ^a	3,24 ^a	10,6 ^a	5,98 ^a	73,3 ^{ac}	0,332 ^a	0,822 ^a
3b: <i>T. rendalli</i>								
Lufira 1	0,115 ^a	0,025 ^a	0,232 ^a	2,19 ^a	9,52 ^a	72,4 ^a	0,118 ^a	0,080 ^a
Kapolowe M	0,507 ^a	0,068 ^a	0,457 ^a	35,0 ^a	23,47 ^a	133 ^a	0,124 ^a	1,31 ^a
Kibangu	0,437 ^a	0,099 ^a	1,31 ^a	20,5 ^a	12,71 ^a	113 ^a	0,182 ^a	1,28 ^a
Lubamba	0,366 ^a	0,046 ^a	0,371 ^a	25,3 ^a	20,51 ^a	81,7 ^a	0,112 ^a	0,472 ^a
Mashila	0,506 ^a	0,065 ^a	0,867 ^a	25,3 ^a	13,65 ^a	259 ^a	0,150 ^a	1,11 ^a
Yuka	0,598 ^a	0,165 ^a	0,698 ^a	28,9 ^a	23,40 ^a	386 ^a	0,106 ^a	0,762 ^a
Shinangwa	0,598 ^a	0,061 ^a	0,304 ^a	1,58 ^a	3,6 ^a	138 ^a	0,376 ^b	0,064 ^a
Mulandi	0,271 ^a	0,063 ^a	0,653 ^a	3,55 ^a	5,0 ^a	64,6 ^a	0,280 ^b	0,156 ^a
3c: <i>C. gariepinus</i>								
Lufira 1	1,06 ^a	0,014 ^a	1,06 ^a	37,2 ^a	88,0 ^a	299 ^a	3,69 ^a	0,335 ^a
Kapolowe M	0,951 ^a	0,014 ^a	1,71 ^b	64,7 ^b	136 ^a	377 ^b	6,93 ^b	0,516 ^a
Kibangu	0,535 ^a	0,005 ^a	0,030 ^a	14,0 ^c	47,4 ^{ab}	114 ^{cd}	4,25 ^{ac}	0,330 ^a
Shinangwa	0,140 ^a	0,003 ^a	0,038 ^a	0,628 ^c	2,85 ^b	67,2 ^c	0,230 ^d	0,018 ^a
Mulandi	0,510 ^a	0,008 ^a	0,022 ^a	1,89 ^c	4,94 ^b	60,1 ^c	0,236 ^d	0,024 ^a
Kisunka	0,181 ^a	0,010 ^a	1,16 ^{ab}	0,958 ^c	3,44 ^b	70,0 ^c	0,260 ^d	0,114 ^a

Les chiffres affectés d'une même lettre dans la ligne ne sont pas significativement différents au seuil de confiance de 5%.

Tableau 4
Comparaison de la teneur en métaux lourds (mg/kg) entre branchies et muscles de poissons capturés dans le rivière Lufira et son lac de barrage Tshangalele en 2009: 4a: *Oreochromis macrochir*, 4b: *Tilapia rendalli*, 4c: *Clarias gariepinus*

Métaux lourds (ppm)	Branchies		Muscles	
	Valeur	BCF	Valeur	BCF
4a: <i>O. macrochir</i>				
Pb	0,776 ^a	155	0,141 ^b	28
U	0,183 ^a	92	0,047 ^b	24
V	3,04 ^a	1518	0,893 ^b	447
Co	58,9 ^a	230	6,80 ^b	27
Cu	38,2 ^a	281	3,8 ^b	28
Zn	108 ^a	57	112 ^a	59
As	51,1 ^a	51163	0,346 ^b	346
Cd	1,29 ^a	1287	0,143 ^b	143
4b: <i>T. rendalli</i>				
Pb	0,565 ^a	113	0,264 ^b	53
U	0,113 ^a	57	0,035 ^b	18
V	0,985 ^a	493	0,237 ^b	119
Co	31,6 ^a	123	4,03 ^b	16
Cu	24,5 ^a	180	3,53 ^b	26
Zn	102 ^a	54	209 ^b	110
As	0,204 ^a	204	0,157 ^a	157
Cd	1,21 ^a	1260	0,101 ^b	101
4c: <i>C. gariepinus</i>				
Pb	0,848 ^a	170	0,278 ^b	56
U	0,015 ^a	8	0,003 ^b	2
V	0,735 ^a	368	0,337 ^a	169
Co	23,4 ^a	92	16,4 ^a	64
Cu	58,8 ^a	432	35,7 ^a	262
Zn	168 ^a	88	160 ^a	84
As	2,65 ^a	2649	2,55 ^a	2548
Cd	0,448 ^a	448	0,017 ^b	17

Les chiffres affectés d'une même lettre dans la ligne ne sont pas significativement différents au seuil de confiance de 5%.

Comme pour *O. macrochir*, le *T. rendalli* présente des valeurs en métaux lourds qui sont très variables entre les sites proches de l'embouchure de la Lufira et ceux situés loin de l'embouchure (Tableau 3b). Les sites situés loin de l'embouchure semblent ne pas être contaminés par les effluents de la Gécamines/Shituru.

La comparaison des résultats obtenus sur les muscles et les branchies de *T. rendalli* (Tableau 4b) confirme la différenciation entre organes. Les

branchies accumulent plus des contaminants que les muscles (31,6 contre 4,03 mg/kg pour le Co; 24,5 contre 3,53 mg/kg pour le Cu ou 1,21 contre 0,10 mg/kg pour le Cd)   l'exception du zinc qui s'accumule préférentiellement dans le muscle (102 contre 210 mg/kg). Quant à l'arsenic, on ne note pas de différence ($p < 0,05$) entre les deux organes (0,21 mg/kg contre 0,16 mg/kg).

Enfin, les résultats sur le *C. gariepinus* montrent encore une fois une forte variabilité entre les sites

d'échantillonnage (Tableau 3c). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les échantillons récoltés à Kapolowe mission et à la Lufira 1 (Kapolowe gare) respectivement 377 et 299 mg/kg de Zn ou 64,7 et 37,2 mg/kg de Co vraisemblablement à cause de leur proximité avec la Lufira polluée par les effluents de la Gécamines/Shituru. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans le lac Tshangalele sur les sites situés loin de l'embouchure de la Lufira (60,1 à 69,9 mg/kg de Zn ou 2,85 à 4,94 mg/kg de Cu).

La comparaison de la répartition des métaux lourds dans les différents organes du *C. gariepinus* indique que le plomb, l'uranium et le cadmium s'accumulent préférentiellement dans les branchies pendant que les autres se répartissent dans le même ordre de grandeur entre les muscles et les branchies (Tableau 4c).

Discussion

La contamination de l'eau douce par les métaux lourds est devenue une matière préoccupante, non seulement parce qu'elle limite l'utilisation de l'eau pour les usages domestiques mais aussi pour les dommages qu'elle cause aux organismes aquatiques (4).

Au Katanga, la qualité de cours d'eau est particulièrement menacée par la reprise de l'activité minière qui se fait sans tenir compte des critères de protection de l'environnement récemment introduits à travers la législation minière congolaise. Les eaux de lavage des minerais et les effluents des usines de traitement rejetés sans traitement préalable dans les cours d'eau contiennent des métaux lourds ainsi que des résidus des différents produits chimiques intervenant soit dans les processus d'extraction et de séparation, soit dans les processus de raffinage (12,15). Les polluants solubilisés deviennent toxiques, détruisent les biotopes aquatiques à l'aval des rejets sur des distances importantes, sont métabolisés dans l'ensemble de la chaîne alimentaire et, de ce fait, présentent des risques pour la santé des populations riveraines (15).

Les résultats d'analyse de la contamination du plancton montrent des valeurs extrêmement élevées pour tous les métaux analysés. Il ne fait aucun doute que cette contamination résulte de la contamination de l'eau. Ceci peut affecter la physiologie et le comportement des planctons car pour certains métaux lourds le BCF est plus élevé chez les producteurs primaires que chez les poissons.

Pour les feuilles de *P. australis*, les valeurs sont aussi très élevées et diminuent avec l'éloignement de la source de pollution. Les valeurs les plus élevées sont constatées dans la rivière Panda suivie de la rivière Lufira et en fin du lac Tshangalele. Les études récentes indiquent que cette plante peut être utilisée pour la phytoremédiation des cours d'eau contaminés par le Ca, Cu, Ni, Pb et Zn (5, 13, 16, Ali et al., 2004;) de 80% des métaux absorbés resteraient localisés dans les organes souterrains et la translocation des métaux

vers les organes aériens serait donc très faible. Les teneurs élevées obtenues dans cette étude pourraient être dues à la contamination des feuilles par les poussières. En effet, une étude effectuée au Katanga (6) sur 12 plantes réputées hyperaccumulatrices a révélé qu'en fait les valeurs élevées obtenues dans les anciens travaux (9, 10) étaient dues à l'insuffisance du protocole de nettoyage d'échantillons. Les auteurs notent qu'au Katanga, la poussière est très chargée en métaux lourds (5-10% de Cu et de Co). Ils recommandent le nettoyage d'échantillons avec un détergent. Dans cette étude, l'objectif étant de trouver la teneur en métaux lourds dans les feuilles que mangent les poissons, nous avons estimé qu'il ne fallait pas nettoyer les feuilles avec un détergent mais seulement avec de l'eau déminéralisée. Ce qui peut expliquer les valeurs élevées en métaux lourds obtenues dans cette étude.

Les poissons attirent l'attention car ils sont au sommet de la chaîne trophique dans le milieu aquatique et peuvent, par conséquent, affecter directement la santé humaine. L'analyse des BCF montre des valeurs élevées pour l'arsenic, le cadmium et le vanadium et beaucoup plus faibles pour l'uranium.

L'arsenic et le cadmium sont très toxiques pour l'organisme et ils n'ont aucune fonction biologique connue. Ils induisent la production des radicaux libres causant la détérioration oxydative des lipides, des protéines et de l'ADN. Chez les poissons, ils induisent des dommages oxydatifs sur les branchies et le foie (7). Par contre, le vanadium est indispensable pour l'organisme, il intervient dans la régulation du niveau de sucre, et participe à plusieurs systèmes enzymatiques comme cofacteur et catalyseur de l'oxydation de diverses amines (17). Cependant, une forte contamination des poissons par le vanadium présente un risque pour la santé humaine. Bu-Olayan et Al-Yakoob (1998) notent que la consommation des produits contaminés peut avoir comme conséquence l'inhibition des pompes Na⁺/K⁺ ATPases et l'interférence avec les enzymes phosphatées.

Quant à l'uranium, les faibles BCF sont logiques car on considère qu'à chaque fois que l'on s'élève d'un niveau trophique on assiste à une diminution d'un ordre de grandeur du facteur de concentration (11) mais ceci n'enlève pas le pouvoir toxique de l'uranium qui, malgré son omniprésence dans l'environnement, est considéré comme un élément non essentiel car n'ayant aucune fonction métabolique ou physiologique connue.

L'analyse des résultats obtenus sur les poissons indique aussi une forte contamination des poissons par le cuivre et le cobalt. Même si ces deux métaux lourds sont indispensables pour l'organisme, ils deviennent toxiques à forte dose. On pourrait noter que pour le cobalt les teneurs obtenues sont les plus élevées du monde car dans la littérature, les valeurs

les plus élevées ont été obtenues en Turquie pour les branchies (0,92 mg/kg) et en Inde pour les muscles (0,67 mg/kg) (14) résultats de loin inférieurs aux nôtres. Ceci serait dû au fait que le bassin de la Lufira se trouve dans l'hinterland minier du Katanga qui détient 80% de réserves mondiales de cobalt (8) dont l'exploitation pollue l'environnement. En effet, Banza *et al.* (2) ont trouvé que les valeurs en Co dans les urines humaines varient entre 5,72 et 15,7 µg/g suivant que les individus échantillonnés se trouvent près (< 3 km) ou loin (3-10 km) d'un site minier ou une raffinerie opérationnelle alors que l'US National Health And Nutrition Examination Survey (NHANES) fixe le seuil à 0,36 µg/g.

Les recommandations du conseil supérieur d'hygiène publique de France (1996) sur la comestibilité des muscles des poissons fixent les seuils du Zn à moins de 100 mg/kg et du Cu à 0,10 mg/kg. Les résultats des toutes les espèces de poissons analysées dans le cadre de cette étude sont supérieurs à ces normes et donc la consommation des ces poissons présente

un risque sur la santé humaine.

En conclusion, les résultats présentés dans cette étude indiquent qu'il y a effectivement contamination du bassin de la Lufira supérieure par les éléments traces. La source principale de pollution identifiée dans ce bassin est le complexe hydrométallurgique de Shituru et que la zone d'influence de ses effluents s'étend jusque dans le lac Tshangalele

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le Projet pour le Développement de la Pêche Artisanale et de l'Aquaculture au Katanga (PRODEPAK) de la Coopération Technique Belge pour le financement et l'appui logistique de cette étude. Ils remercient également le Musée Royal d'Afrique Centrale à Tervuren en Belgique pour les analyses chimiques et le projet PIC REMEDLU, financé par la CUD pour son assistance.

Références bibliographiques

- Atolaye B.O. & Aremu M.O., 2007, Bioaccumulation of some trace elements in the body parts of fish species associated with soil sediment and water from Eoemaganiâ confluence in nasarawa state, Nigeria. *EJEAFChE*; 6, 5, 2001-2008.
- Banza CLN, Nawrot TS, Haufried V., Decrée S, De Putter T., Smolders E., Kabyla B.I., Luboya O.N., Ilunga A.N., Mutombo A.M. & Nemery B., 2009, High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. *Environ. Res.* doi:10.1016/j.envres. 04.012
- Canli M. & Kalay Ö.A.M., 1998, Level of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in tissue of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* and *Chondrostoma regium* from the Seyhan River, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 22, 149-157.
- Cobert R.G., 1977, Effect of coal mining on ground and surface water quality. Monongalia county, West Virginia. *Sci. Total. Environ.* 8-12.
- Ederli L., Reale L., Ferranti F. & Pasaqualini S., 2004, Responses induced by high concentration of cadmium in *Phragmites australis* roots. *Physiol. Plant.* 121, 1, 66-74.
- Faucon M.-P., Shutcha N.M. & Meerts P., 2007, Revisiting copper and cobalt concentrations in supposed hyperaccumulators from SC Africa: influence of washing and metal concentrations in soil. *Plant Soil*, 301, 29-36.
- Giguère A., Campbell G.C.P., Hare L., McDonald D.G. & Rasmussen J.B., 2004, Influence of lake chemistry and fish age on cadmium, copper, and zinc concentrations in various organs of indigenous yellow perch (*Perca flavescens*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61,9, 1702-1716.
- Gizenga A., 2007, Programme du gouvernement 2007-2011, République Démocratique du Congo. Kinshasa, , 70 p.
- Malaisse F., Baker A.J.M. & Ruelle S., 1999, Diversity of plant communities and leaf heavy content at Luiswishi copper/cobalt mineralization, Katanga, Dem. Rep. Congo. *Biotechnol Agron Soc Environ.* 3, 104-114.
- Malaisse F. & Grégoire J., 1999, Contribution à la phytogéochimie de la Mine de l'Étoile (Shaba, Zaïre). *Bull Soc Roy Bot Belg.* 111, 252-260.
- Ribera D., Labrot F. & Tisnerat G., 1996, Uranium in the environment: occurrence, transfer, and biological effects. *Reviews in Environmental Contamination and Toxicology*, 146, 53-89.
- SNC-LAVALIN International, 2003, Etude sur la restauration des mines de cuivre et de cobalt en République Démocratique du Congo, Rapport préliminaire M-6708 (603082), Montréal. 222 p.
- Southchak B., Nakano K., Nomura M., Chiba N. & Nishimura O., 2006, *Phragmites australis*, a novel biosorbent for the removal of heavy metal from aqueous solution. *Water Res.* 40, 12, 2295-2302.
- Türkmen M., Türkmen A. & Yalçın T., 2008, Metal contaminations in five fish species from black, marmara, aegean and mediterranean seas, turkey. *J. Chil. Chem. Soc.* 53, 1, 14-35.
- Vande Weghe J.-P., Franssen J., Kalambay G., Kramkimel J.D., Musibono D., 2005, Etude "Profil environnemental (PEP) de la République Démocratique du Congo"; Délégation de la commission Européenne. EURATA; 228 p.
- Ye Z.H., Baker A.J.M., Wong M.H. & Willis A.J., 2003, Copper tolerance, uptake and accumulation by *Phragmites australis*, *Chemosphere*, 50, 795-800.
- Zaki MS, Sharaf H.E. & Osfar M.H., 2007, Effect of vanadium toxicity on biochemical, haematological and clinicopathological changes in *Clarias lazera* present in river Nile. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 2, 6, 741-745.

B.K. Manda, Congolais, Ingénieur Agronome Zootechnicien, Université de Lubumbashi (2006), DEA en Biologie Végétale et Environnement, Université de Lubumbashi (2009), Assistant Faculté d'Agronomie, Université de Lubumbashi, RD Congo.

G. Colinet, Belge, Ingénieur agronome Sciences du Sol (1991), Docteur en Environnement (2003), Chef de Travaux/Charge de Cours Gembloux Agro Bio Tech / Université de Liège.

L. André, Belgian, PhD in Geochemistry, Head of the Earth Sciences Department at the Royal Museum for central Africa, Professor at the Brussels Free University, Member of the CNRS (France) "Planet and Universe" Scientific Council, Belgian delegate to the Joint Expert Group from the AU-EU partnership for "Science, Information Society and space"

A.C. Manda, Congolais, Ingénieur Agronome, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (1966), depuis 2005, doctorant aux Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix de Namur, chef de travaux à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Lubumbashi.

J.-P. Marquet, Belge, Ingénieur Agronome FSAGx 1978), Chef de projet à la Coopération Technique Belge (CTB: Projet de Développement de la Pêche Artisanale et de l'Aquaculture au Katanga, Station INERA KIPOPO, Lubumbashi, Katanga, RDC.

J.-C. Micha, Belge, Licencié en Sciences, groupe sciences biologiques (ULg 1968), Docteur en sciences (ULg 1973), Professeur Emérite FUNDP (Namur) et UCL (Louvain-La-Neuve), consultant en aménagement et gestion des zones humides, pêches et pisciculture.