

Diagnostic de la contamination des eaux de la rivière Mulungwishi par les éléments traces métalliques (ETM) : Lubumbashi, Haut-Katanga / RD Congo

[Diagnosis of water contamination of the river Mulungwishi by metal trace elements (ETM) : Lubumbashi, Haut Katanga / RD Congo]

Serge Kashimbo Kalala¹, Kanda Ndaya Glodie², Kiyukeno Kitwanyoka Yannick³, Nkulu Masengo Lucien⁴, Kirongozi Swedi⁴, and Kazadi Kanyama Papy⁵

¹Chef des travaux à l'Unité de Gestion des Ressources naturelles, Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P: 1825, RD Congo

²Etudiante, au département d'Agronomie générale, de la Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P: 1825, RD Congo

³Assistant au Département de Génie civile, Ecole Supérieure des Ingénieurs (ESI), Université de Lubumbashi, B.P: 1825, RD Congo

⁴Assistants au Département d'Economie Agricole, Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P: 1825, RD Congo

⁵Assistant à la Faculté de Médecine Vétérinaire, Département de Biochimie, Université de Lubumbashi, B.P 1825, RD Congo

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In the aquatic environment, much of anthropogenic or natural compounds are adsorbed on particulate matter and accumulate in sediment. Sediment can affect the bioavailability of contaminants and therefore toxicity. A transect was established along the river Mulungwishi, 12 stations were selected along this transect and water and sediment samples were collected for laboratory analysis. The results indicate a high concentration of elements in the study (Cu, Co, Pb, Fe, Mn, and Mg), particularly in sediments than in the water. Cu slightly exceeds WHO standards set at 2 mg / L, the station 7. Against the stations 4, 5, 6, 7, and 8 show high concentrations in sediments to Cu, Co. This is explained by the change in physicochemical conditions of rivers. In this case, it is the pH of the water, particularly when acid which facilitates the mobility of certain hazardous components and their transport along the river especially when the speed is great. By contrast when the pH of the water is basic, some other elements precipitate and accumulate in sediment, increasing their concentrations, or of the risk of exposure of aquatic fauna, creatures and aquatic plants as well as the man who would exercise any activity on an exposed river has human pressure in all its forms.

KEYWORDS: Mining, Impact, Water, Sediment, Contents level, Contamination, Exposure, Trophic chain.

RESUME: Dans le milieu aquatique, une grande partie des composés d'origine anthropique ou naturelle s'adsorbent sur les particules en suspension, puis s'accumulent au niveau des sédiments. Les sédiments peuvent modifier la biodisponibilité des contaminants et par conséquent leur toxicité. Un transect a été établi le long de la rivière Mulungwishi, 12 stations ont été retenues le long de ce transect et des échantillons d'eau et des sédiments ont été récoltés pour analyse au laboratoire. Les résultats obtenus indiquent une forte concentration des éléments à l'étude (Cu, Co, Pb, Fe, Mn, Mg), particulièrement dans les sédiments que dans l'eau. Le Cu dépasse légèrement les normes de l'OMS fixées à 2mg/L, à la station 7. Par contre les

stations 4, 5, 6, 7, et 8 présentent de teneurs élevées dans les sédiments pour le Cu, le Co. Ceci s'explique par la variation des conditions physico-chimiques des cours d'eau. Dans le cas présent, il s'agit du pH de l'eau, particulièrement qui lorsqu'il est acide, facilite la mobilité de certains éléments dangereux ainsi que leurs transports le long de la rivière surtout lorsque la vitesse est grande. Par contre lorsque le pH de l'eau devient basique, certains autres éléments précipitent et s'accumulent dans les sédiments, accroissant ainsi leurs concentrations, d'où les risques d'exposition de la faune aquatique, des êtres et plantes aquatiques ainsi que de l'homme qui exercerait une quelconque activité sur un cours d'eau exposé à la pression anthropique sous toutes ses formes.

MOTS-CLEFS: Exploitation minière, Impact, Eau, Sédiments, Niveau des teneurs, Contamination, Exposition, chaîne trophique.

1 INTRODUCTION

La présence de polluants dans les eaux naturelles, même à l'état des traces s'accompagne des conséquences néfastes sur l'environnement et les organismes vivants car la biodisponibilité de ces substances dans l'eau est souvent forte [1]. Berceau de la vie et agent de son développement, l'eau recueille les produits de l'érosion de l'écorce terrestre, notamment les substances indispensables à la croissance des organismes aquatiques et terrestres [2]. Doivent être considérés comme source des problèmes, ceux de ces éléments et composés que les activités humaines concentrent dans les eaux au point d'y menacer la vie [3]. Les activités anthropiques sont la source de nombreux polluants disséminés dans l'environnement [4]. Les éléments traces (ETM), incluant les métaux et les métalloïdes font partie de ces polluants à risque de préoccupation prioritaire car très toxiques et non dégradables [5]. Leur rémanence dans l'environnement implique qu'ils s'accumulent dans les organismes et qu'il est difficile de réduire leur concentration [6] entraînant des effets toxiques sur les êtres vivants et perturbant le bon fonctionnement des écosystèmes [7]. Parmi les contaminants majeurs de l'environnement, on note les éléments traces métalliques (ETM) [8]. Ceux-ci 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 [9].

L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière, vu qu'elle est très altérée et sérieusement menacée par les activités d'exploitation et de traitement des minerais au Katanga. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels [10], l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides, le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs [11], mais aussi altérer les usages de l'eau (captage de l'eau, baignade, etc.) [12].

L'exploitation minière de métaux de base (Cu, Co, Pb, Zn) au Katanga est comptée parmi les activités industrielles génératrices de sérieux problèmes de pollution métallique des ressources en eau [13].

Les activités d'exploitation et de traitement des minerais ainsi que l'exploitation minière artisanale au Katanga sont responsables de la contamination dramatique en ETM, des eaux de surface, sédiments, eaux souterraines, de sols et peuvent également affecter négativement l'environnement local et les ressources en eau par le retrait d'eau douce et la pollution due aux décharges de l'eau des usines de traitement des minerais [14].

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer les teneurs en éléments traces métalliques (Cu, Co, Fe, Mn, Mg) dans les échantillons d'eau et des sédiments récoltés le long de la rivière Mulungwishi. Ceci en vue de mettre en évidence d'une part, l'impact négatif significatif de l'exploitation minière (artisanale ou mécanique) et l'implantation des usines de traitement des minerais sans étude préalable, et d'autre part de mettre en évidence les risques de la présence excessive des ETM sur la santé du cours d'eau, des êtres et plantes aquatiques, de la faune ichthyologique mais aussi et surtout de l'homme à travers la chaîne trophique.

2 MILIEU, MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MILIEU

2.1.1 LOCALISATION DU SITE

Ce site est situé sur la route N°1 (Lubumbashi-Kolwezi), vers Kolwezi à 160 Km au Nord Ouest de la ville de Lubumbashi, et à 35 Km de la ville de Likasi. Il est localisé géographiquement à 10°46'38" de Latitude Sud et à 26°38'15" de Longitude Est. Du point de vue morphométrique, le site de Mulungwishi se trouve sur le plateau de Kundelungu à une altitude de 1180m, en dessous de la chaîne de Mitumba qui débute en Zambie et prend fin à Kigali-Ituri au Sud Kivu. Hydrologiquement, la rivière Mulungwishi fait le prolongement de la rivière Kashengeneke [15].

2.1.2 METHODOLOGIE DE TERRAIN POUR LE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS D'EAUX ET DES SEDIMENTS

Un transect a été établi sur la rivière Mulungwishi partant de l'amont (Kambove) jusqu'à l'aval (Mulungwishi vers Katepe). 12 stations de collecte des échantillons d'eaux et des sédiments superficiels ont été installées le long du transect en partant de la source à l'embouchure.

2.1.3 LOCALISATION DES STATIONS À L'ÉTUDE

Les douze stations retenues dans cette étude sont situées le long de la rivière Musesa, en amont jusqu'à la rivière Mulungwishi (aval).

SW1 : Station se trouvant à 3km de la source de la rivière et avant l'usine d'exploitation minière. Elle passe pour le site témoin;

SW2 : Station se trouvant après l'usine d'exploitation minière, localisée dans une zone exclusivement minière ;

SW3 : Station se trouvant avant la jonction avec une petite rivière appelée Mulungwishi, jusque-là portant toujours le nom de Musesa;

SW4 : Station se trouvant en amont des installations de la carrière Kafundwa. Cette station est un bon site pour évaluer l'impact de l'exploitation minière sur la rivière Mulungwishi;

SW5 : Station se trouvant juste à la jonction de deux rivières qui forment la rivière Mulungwishi;

SW6 : Station se trouvant à quelques kilomètres des exploitations artisanales du cuivre et Cobalt;

SW7 : station se trouvant à environ 3km du site précédent après une végétation abondante. Elle se situe avant le site d'exploitation de gravier, moellon de l'entreprise CRECK 7;

SW8 : Station se trouvant en amont de l'entreprise CRECK 7;

SW9 : Station se trouvant après le pont sur la route nationale N°1. Cette station se situe dans la zone à forte concentration humaine, donc susceptible de recevoir les déversements des déchets divers (ordures ménagères, défécations humaines,...);

SW10 : Station se trouvant à quelques mètres du pont et des rails juste avant que la rivière ne se divise et prenne deux directions différentes ;

SW11 : Station se trouvant sur la branche qui se dirige vers la zone à exploitation agricole (cultures maraichères essentiellement);

SW12 : Station se trouvant sur la branche qui se dirige vers les exploitations piscicoles.

Douze échantillons d'eaux et des sédiments ont ainsi été prélevés dont deux, sur la rivière Musesa avant l'usine d'exploitation, quatre échantillons le long de la rivière Musesa après l'usine, deux échantillons le long de la rivière Mulungwishi avant son fusionnement avec la rivière Musesa et quatre échantillons, après la jonction des deux rivières ou elle prend un seul nom : rivière Mulungwishi.

2.2 MATÉRIELS

2.2.1 MATÉRIELS À ANALYSER

Eaux

Les eaux de la rivière Musesa avant et après l'usine de traitement de cuivre et de cobalt ainsi que celles de la rivière Mulungwishi constituent le matériel sur lequel des mesures au laboratoire seront effectuées.

Sédiments

Les sédiments seront utilisés comme substrat sur lequel des mesures devront être faites, afin de déterminer les phases porteuses d'ETM, qui joue un rôle important dans l'absorption et la libération des ETM en milieu aquatique.

2.2.2 MATÉRIELS DE TERRAIN

Les bouteilles de 500ml, la glacière+ de la glace, Perche (porte bouteille), Burette pour le mélange des solutions et le mélange de deux acides, Pipettes pour un prélèvement précis, Becher pour le mélange et autres verreries.

2.3 ECHANTILLONNAGE

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide des bouteilles en plastique de 500ml préalablement rincées trois fois avec de l'eau distillée afin d'éviter tout risque de biaiser les résultats. Pour récolter l'échantillon d'eau, deux bouteilles doivent être plongées à mi-profondeur et au centre du cours d'eau. Si le cours d'eau est profond, une perche doit être utilisée, loin des bords ainsi que des obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes ou des remous et en évitant la remise en suspension des dépôts. Le prélèvement des sédiments se justifie par le fait que les polluants rejetés au cours des années précédentes, sous l'action des facteurs physico-chimiques s'accumulent dans le fond de la rivière (sédiment).

2.4 MÉTHODE DE LABORATOIRE

2.4.1 CONDITIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons d'eau ont subi une digestion acide simple, conformément aux méthodes standardisées pour l'examen des eaux potables et usées un volume de 10 ml de chaque échantillon d'eau préalablement acidifié et est placé dans une éprouvette à laquelle est ajoutée un volume de 0,5 ml d'acide nitrique ultra pur (concentration résiduelle en ETM < 10ppb). Puis les éprouvettes sont mises dans un bloc chauffant à 105°C sous une hotte pendant 2h sans atteindre l'ébullition. Une fois refroidies, les éprouvettes sont diluées à 10 ml avec de l'eau ultra-pure type I ASTM puis stockées à 4°C en attendant les analyses [16]. Les échantillons des sédiments ont été séchés à l'air, à la température ambiante, puis broyés et tamisés au travers d'un passoir de grosseur de maille de 1.4.µm recommandé dans la démarche d'analyse des sédiments. Environ 1g de sédiment tamisé a été digéré afin d'être soumis à l'analyse [17].

2.4.2 MESURES AU LABORATOIRE

Les échantillons d'eau et de sédiments prélevés dans la rivière ont été conservés au froid et ont été envoyés au laboratoire chimique de Tenke Fungurume Mining (TFM) et au laboratoire chimique de la Gécamines. L'analyse des échantillons d'eau a été réalisée à l'aide du Spectromètre d'absorption atomique suivant le mode opératoire suivant :

- Prendre aliquote (15ml- 20ml) de l'échantillon dans un tube à essai ;
- Mettre sur le rock, les tubes contenant les échantillons ;
- Lecture à l'instrument des paramètres demandés (Cu, Co, Fe, Mn et Mg) ;
- Les éléments à lire sont atomisés dans une flamme de l'ordre de 2400cc- 2500cc selon le principe de Beer-Lambert ;
- Lecture des valeurs des éléments à l'ordinateur.

Pour l'analyse des sédiments, le mode opératoire est le suivant :

- Mettre l'échantillon pesé dans un bécher de 2500ml ;
- Attaquer l'échantillon pesé avec les acides suivants :

HCl : 10ml+10ml

HNO₃ : 5ml

HClO₃ : 5ml;

- Premièrement, on attaque avec les trios acides pendant 25-30 minutes jusqu' à la disparition complète de la fumée blanche qui indique la fin de la réaction.
- Deuxièmement, on utilise 10ml de HCl pendant 3-5 minutes.

L'attaque se fait sur une plaque chauffante à environ 105°c-110°c.

2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

Pour les échantillons d'eaux et de sols, les résultats de laboratoire seront comparés aux normes internationales déterminées par l'organisation mondiale de la santé (OMS) et ceux des sédiments, les résultats seront comparés à la loi canadienne sur la protection de la vie aquatique. Les résultats d'analyses de laboratoire ont été traités à l'aide du logiciel Past, présentés dans les tableaux et sous forme de graphiques.

3 RÉSULTATS

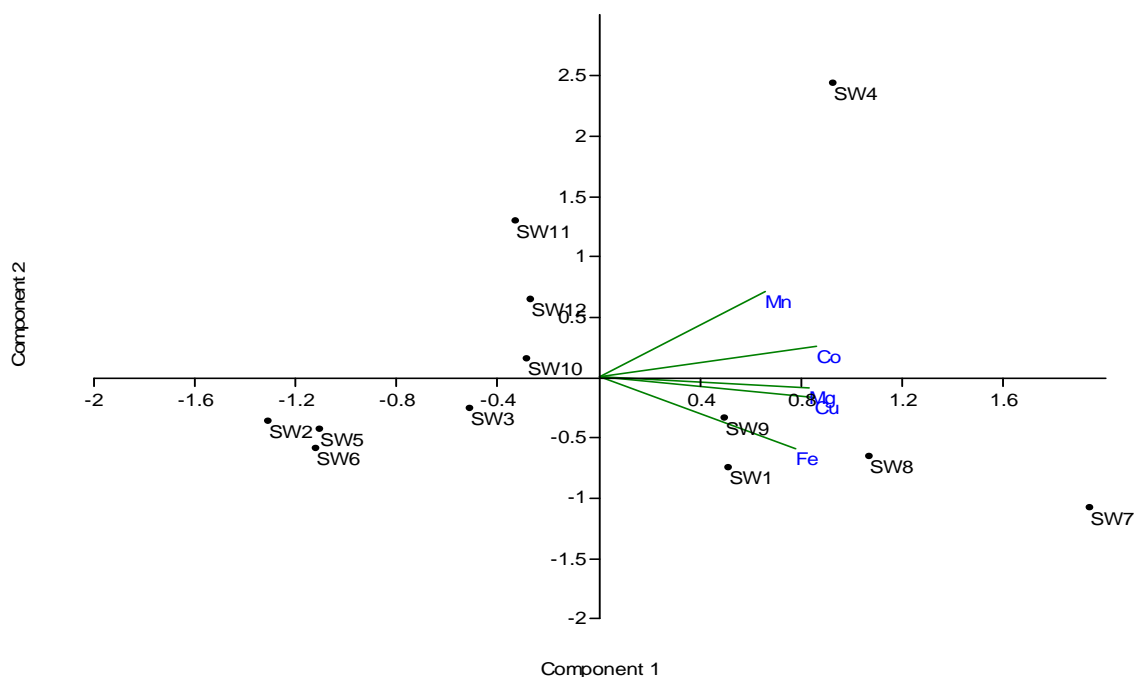
Tableau 1 : Concentration des ETM (mg/L) dans l'eau de la rivière Mulungwishi

	Cu	Co	Fe	Mn	Mg
SW1	1.038	0.394	1.644	0.199	28.681
SW2	-0.006	0.031	-0.014	0.022	19.486
SW3	0.794	0.272	0.989	0.198	17.009
SW4	1.64	0.513	0.075	0.986	24.961
SW5	-0.026	0.02	0.09	0.047	22.861
SW6	0.198	0.089	0.692	0.058	16.949
SW7	2.052	0.6093	3.6206	0.476	31.814
SW8	1.5274	0.4634	2.3111	0.373	29.164
SW9	1.0963	0.3991	1.285	0.272	28.362
SW10	0.3549	0.172	0.4994	0.322	26.423
SW11	-0.5237	0.38	0.198	0.494	24.384
SW12	-0.3607	0.542	0.103	0.185	25.421
* Normes OMS (mg/L)	2	-	0.3	0.4	-

* OMS : Organisation Mondiale de la santé

Le tableau 1 présente les résultats de la concentration des éléments traces métalliques dans l'eau de la rivière Mulungwishi. D'une manière globale, les ETM ont de teneurs qui ne dépassent pas les valeurs limites de l'OMS [18] excepté le Cu à la station 7 où il titre 2.052 mg/L. Il titre 1.0963 à la station 8 et reste inférieur à la norme de l'OMS. Il convient de signaler que les deux stations se situent à proximité d'un site d'exploitation artisanale du cuivre et du cobalt. Le Fe dépasse la norme aux stations 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10 et ne présente aucun danger alors que le Mn dépasse légèrement la norme aux stations 7 et 11. Le Mg est très abondant dans l'eau.

Analyse en composantes principales (ACP) des ETM dans l'eau en fonction des sites



Graphique 1 : Analyse en composantes principales des ETM dans l'eau

Au regard de l'analyse en composantes principales, il apparaît un nuage des points constitué de Cu, Mg, Fe. Ceux-ci sont présents dans les stations SW1, SW9, SW8, SW7 tandis que les stations SW2, SW3, SW5, SW6, SW10, SW11, SW12 ne sont pas influencés par ces ETM, c'est-à-dire ils ont de teneurs qui sont en dessous des normes fixées par l'OMS, donc jouent le rôle utile permettant aux êtres aquatiques de réaliser leurs besoins physiologiques. Un autre nuage des points représenté par le Mn et le Co, est en relation avec la station 4, c'est-à-dire ces deux éléments ont une relation de causalité car cela est une réalité sur le terrain. On observe sur l'arc cuprifère Katangais, un ensemble des minerais qui présentent des corrélations positives, il s'agit du Cu-Co, Cu-Cd, Cu-Mn, Co-Mn.

Les résultats d'analyse du Cu dans l'eau indiquent que celui-ci est plus accumulé dans les sédiments que dans l'eau, il en est de même du Co, du Fe, Mn, et du Mg.

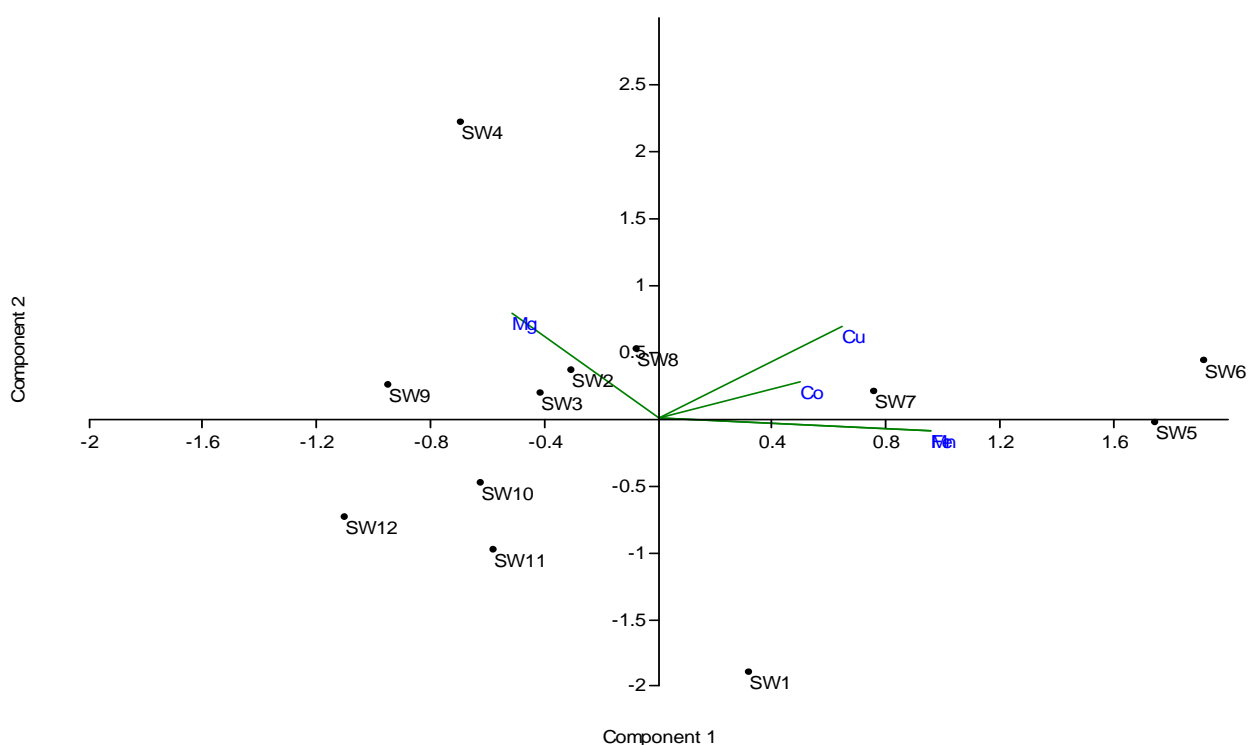
Tableau 2 : Concentration des ETM (ppm) dans les sédiments dans la rivière Mulungwishi

	Cu	Co	Fe	Mn	Mg
SW1	0.18	0.38	79.4	79.4	10.12
SW2	15.2	3.2	66.2	66.2	39.72
SW3	9.5	5.96	64.6	64.6	39.52
SW4	37.7	6.34	51.2	51.2	56.32
SW5	46.8	2.56	103.4	103.4	15.88
SW6	37.4	48.6	98.4	98.4	17.92
SW7	21.9	42.8	74.5	74.5	22.48
SW8	29.6	18.2	56.4	56.4	27.27
SW9	13.3	22.5	36.9	36.9	29.56
SW10	9.01	7.4	51.4	51.4	24.85
SW11	2.4	4.3	55.3	55.3	21.43
SW12	1.2	2.5	42.4	42.4	25.4
*Valeurs Guides	35	35	20	-	-

* : Directives de qualité de sédiments: Recommandations pour la protection de la vie aquatique (Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life).

Les résultats sur le dépôt des ETM dans les sédiments montrent une tendance marquée du Cu, Co, Fe au regard des recommandations pour la protection de la vie aquatique [19]. Les stations 4, 5, 6, 7, et 8 présentent de teneurs élevées dans les sédiments pour le Cu. Il convient de noter que les stations 7 et 8 ont présenté la même tendance du cuivre dans l'eau. Le Co dépasse cette recommandation aux stations 6, 7 respectivement 48.6 et 42.8 ppm. Les stations 8 et 9 ont une teneur en Co aussi élevée mais inférieure à la recommandation canadienne. Le fer très présent dans nos sols reste supérieur dans toutes les stations. La plus grande valeur étant trouvée à la station 5, ne se trouvant pas sous l'influence d'une activité humaine (Usine ou exploitation minière artisanale) écarte toutes possibilités sur l'hypothèse d'une cause anthropogène du fer. La concentration en ETM est très marquée dans les sédiments que dans l'eau. Ceci s'explique par le fait que ces ETM se déposent, suite aux conditions qui règnent dans cette rivière. Il s'agit du pH de l'eau, particulièrement qui lorsqu'il est acide, cela facilite la mobilité de certains éléments dangereux ainsi que leurs transports le long de la rivière surtout lorsque la vitesse est grande [20]. Par contre lorsque le pH de l'eau devient basique, certains autres éléments précipitent et s'accumulent dans les sédiments [21], accroissant ainsi leurs concentrations, d'où les risques de relargage de ceux-ci dans l'eau après un certain temps lorsque les conditions hydrodynamiques du cours d'eau changent [22].

Analyse en composantes principales des ETM dans les sédiments en fonction des sites



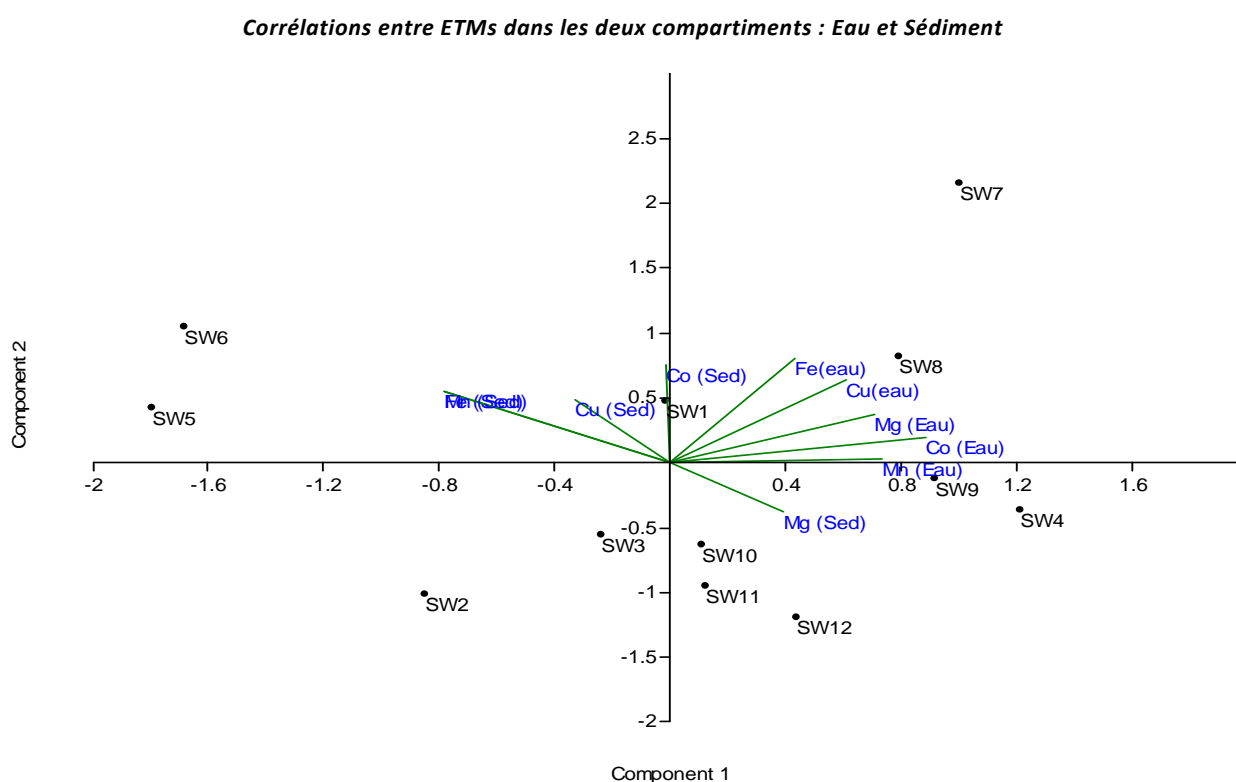
Graphique 2 : Analyse en composantes principales des ETM dans les sédiments

Au regard du graphique 2, indiquant les corrélations entre les ETM en fonctions des stations, on observe trois stations dans lesquelles le Cu, Co, Mn et le Fe présentent des corrélations positives significatives. Il s'agit des stations SW5, SW6 et SW7. Ceci s'explique par le passage de l'arc cuprifère Katangais [23], riche en ces éléments naturellement fixés dans les sols et sous-sols sous forme des roches. C'est par le travail d'exploitation minière (mécanique ou artisanale) que l'homme remet en circulation ces éléments dangereux dans les compartiments de l'Environnement (Eau, Air, Sol) [24]. De l'autre côté, l'on trouve d'autres stations SW2, SW3, SW4, SW8, SW9 qui présentent un taux important de Mg. Dans ces stations, les ETM dangereux dans les sédiments sont à des teneurs inférieures à la recommandation canadienne pour la protection de la vie aquatique. La présence du Mg, élément central de la chlorophylle pourrait justifier la présence des espèces végétales autour des stations sus mentionnées. Ces espèces, en occurrence arbustes ont laissé tomber leurs feuilles dans le cours d'eau ainsi que herbeuses, saisonnières. La dégradation de ces matières organiques entraîne comme conséquence, l'acidification de l'eau ainsi que la précipitation d'autres parties des végétaux, dégradées vers le lit de la rivière [25].

Par contre, un dernier groupe des stations SW1, SW10, SW11, SW12 seraient celles où l'on observe des conditions acceptables au regard de la concentration en ETM dans l'eau ou les sédiments. Ces stations sont situées en général, loin de la pression liée aux différentes activités d'exploitation minière (mécanique, artisanale) que subit la rivière Mulungwishi. Les concentrations en ETM dangereux restent en dessous des valeurs limites fixées par la recommandation canadienne pour la protection de la vie aquatique. Il est évident, au regard des paramètres étudiés, que les stations SW1, SW10, SW11, SW12 ont une eau de bonne qualité avec un substrat (sédiment) indemne de toute contamination (métallique ou organique).

4 DISCUSSION

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état des traces (ETM) pour de nombreux processus cellulaires. Ils se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques [26]. Les ETM contenus dans notre environnement (Eau, Air, Sols) peuvent, par des cycles parfois complexes, se retrouver dans une étape végétale ou animale de notre chaîne alimentaire et entraîner une contamination de l'homme par voie orale [27]. Toutefois, un simple passage passif dans notre chaîne alimentaire aurait un impact limité, sans l'existence d'un phénomène très particulier pour les ETM: la bioaccumulation [9].



Graphique 3 : Interrelations entre ETM suivant les stations (Eau et Sédiment)

En tenant compte des graphiques 1 et 2, montrant les corrélations entre ETM dans l'eau comme dans les sédiments, à l'absence du pH et d'autres facteurs explicatifs, il est impératif de faire une combinaison de deux graphiques afin de voir clairement les tendances sur le comportement des ETM afin d'indiquer les stations qui présenteraient des dangers par rapport à l'usage de l'eau (comme eau de boisson, ou d'usage pour la production des cultures maraichères). En analysant le graphique 3, on se rend compte que les stations 7, 8, 9 présentent un danger réel en terme de la qualité de l'eau. A ces trois endroits, l'eau est de mauvaise qualité, les causes connues sont entre autres la présence d'une usine de production de gravier et moellon, qui serait à l'origine des rejets des déchets (effluents liquides et solides) au cours des opérations mais aussi et surtout aux activités d'exploitation artisanale du cuivre et du cobalt au niveau de la station 6. Ces activités consistent au lavage des minerais dans et avec l'eau de la rivière Mulungwishi. Ce qui contribue à l'augmentation du niveau des teneurs dans les stations en aval, 7, 8, 9. Par contre les stations 5 et 6 présentent de danger par rapport au risque de relargage des ETM dans le milieu aquatique à la suite du changement des conditions hydrodynamiques [28]. La quatrième station est à

cheval entre les deux groupes sus mentionnés. Enfin, les stations 1, 2, 3, 10, 11, et 12 présentent des eaux dont les paramètres chimiques étudiés sont acceptables pour un usage donné.

Les fortes teneurs sont beaucoup plus rencontrées dans les sédiments que dans l'eau pour le cuivre. Ces observations ont été relayées par d'autres auteurs tels que: Sing (2005), Mc Cready (2006) et Ebrahimpour et Mushrifah (2008) qui ont démontré que les sédiments accumulent plus les métaux toxiques que l'eau [29]. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces métaux s'accumulent dans les sédiments, se solubilisent ensuite pour contaminer les milieux aqueux [20]. Tout le long de la rivière, il a été rencontré une usine d'exploitation minière, une carrière et diverses exploitations artisanales de minerais. Ces activités ainsi citées contribuent à l'introduction de déchets divers dans la rivière Mulungwishi, qui s'accumulent dans les boues (sédiments), ce qui explique la teneur en ETM variable car leurs activités consisteraient à récupérer les effluents de l'usine, les faire passer aux tamis et récupérer une quantité de matières premières cuivre et cobalt notamment. Malgré ces activités, la teneur des ETM dans les sédiments demeure toujours très élevée.

Le cobalt stable est présent dans l'environnement, à une concentration moyenne de 23 ppm dans l'écorce terrestre. Sa concentration moyenne dans les eaux douces est 1ppm soit 0,001 mg/L selon Bérard [30].

Les valeurs du cobalt se trouvent en quantités supérieures dans tous les sites mis à part les sixième et septième sites. L'abondance du cobalt par le fait de l'intensification de l'exploitation minière liée à l'existence de l'arc cuprifère Katangais. Parmi les minerais présents sur cet arc, on rencontre habituellement, le Cu, le Co, le Pb, le Zn, l'As, l'U, et le Cd. A très forte concentration, le cobalt stable et ses composés provoquent des intoxications graves (Reins, systèmes nerveux, cardiovasculaire et gastro-intestinal) [31].

Le fer et le manganèse sont des éléments métalliques présents dans les nombreux types des roches au Katanga. La présence excessive de l'un ou de l'autre dans l'eau peut modifier le goût, l'odeur et la couleur de l'eau [32]. Ces deux éléments sont également fréquents dans l'eau et sont indispensables, qu'en petite quantité. Les sources artificielles contribuant à l'augmentation des teneurs en fer et manganèse sont diverses dans les eaux de surface comme souterraines. On peut citer les effluents industriels, les eaux d'exhaure acide, les eaux usées ainsi que les lixiviats provenant des sites d'enfouissement des déchets [33].

Le manganèse dissout dans l'eau potable pourrait avoir un impact sur le développement neurologique de l'enfant, comme une baisse du quotient intellectuel. Quant au fer, sa présence excessive dans l'eau peut causer des problèmes dans les réseaux de distribution en favorisant la croissance des microorganismes [34].

Les teneurs excessives du fer, et du manganèse dans l'eau comme dans les sédiments pourraient être expliquées par le passage de la rivière par les montagnes, elle a emporté à son passage des débris rocheux par érosion. Le fer devient abondant à partir de la station 2, qui vient après l'usine d'évacuation des effluents, en plus ces eaux sont contaminées au contact avec les tuyaux en acier.

Les eaux de surface présentent des teneurs en fer et manganèse très élevées. Or les eaux de surface s'infiltrant et atteignent la nappe phréatique, donc étant polluées en surface, il est évident que le transfert des polluants vers la nappe soit enregistré [35]. Ceci pourrait avoir des conséquences néfastes sur la santé du cours d'eau, des êtres et des plantes aquatiques mais aussi sur la faune ichthyologique. Bref des conséquences néfastes sur l'homme car Mulungwishi étant un milieu rural ou l'eau qui l'alimente provient des eaux souterraines sans aucun traitement.

La dureté de l'eau appelée autrement titre hydrotimétrique est due aux ions calcium et magnésium auxquels peuvent s'ajouter les ions fer, aluminium et manganèse. La présence de ces deux cations dans l'eau tend à réduire la toxicité des éléments traces métalliques [36].

5 CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer les teneurs en éléments traces métalliques (Cu, Co, Fe, Mn, Mg) dans la rivière Mulungwishi en vue de mettre en évidence les risques de leurs présences excessives dans l'eau et les sédiments sur la santé du cours d'eau, des êtres et plantes aquatiques, de la faune ichthyologique mais aussi et surtout de l'homme à travers la chaîne trophique. Un transect a été établi le long de la rivière Mulungwishi dans le but d'étudier l'impact de diverses activités anthropiques observées à différents endroits dans les parages immédiats du site d'étude.

Les résultats de laboratoire ainsi que l'analyse en composante principale présentent une répartition des stations en trois groupes : Le premier groupe représenté par les stations 7, 8, 9 indique que l'eau est de mauvaise qualité au regard des paramètres chimiques pris en compte dans cette étude. Les causes connues sont entre autres la présence d'une usine de

production de gravier, qui serait à l'origine des rejets des déchets (effluents liquides) au cours des opérations mais aussi et surtout les activités d'exploitation artisanale du cuivre et du cobalt au niveau de la station 6. Le deuxième groupe représenté par les stations 1, 2, 3, 10, 11, et 12 indique que les eaux sur lesquelles les paramètres chimiques ont été étudiés sont acceptables pour un usage donné (cultures maraichères, adduction d'eau avec traitement préalable). Le troisième groupe, représenté par les stations 5 et 6 présente de danger par rapport au risque de relargage des ETM dans le milieu aquatique à la suite du changement des conditions hydrodynamiques.

REFERENCES

- [1] Zhou, O ; Zhang, J ; Fu, J ; Shi, J. et Jiang, G., 2008. Biomonitoring: An appealing tool for assesement of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica chimica acta*, 606p.
- [2] Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement (CCMRE). 1987. Recommandations pour la qualité des eaux au Canada, Préparé par le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux du Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement, 350p.
- [3] Concas, A., Ardaou, C., Cristini, A., Zuddas, P., Cao, G., 2006. Mobility of heavy metals from tailings to stream waters in a mining activity contaminated site. *Chemosphere* 63, 230–253
- [4] Atibu, K.E., Devarajan, N., Thevenon, F., Mwanamoki, P.M., Tshibanda, J.B., Mpiana, T.P., Prabakar, K., Mubedi, I.J., Wildi, W., Poté, J., 2013. Concentration of metals in surface water and sediment of Luilu and Musonoie Rivers, Kolwezi-Katanga, Democratic Republic of Congo. *Art.* 26, 1-7.
- [5] Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Dudka M., 1993. Trace elements in legumes and monocotyledons and the suitability for the assessment of soil Contamination in: MARKET B(Ed) plants are biomonitors for heavy Metal in the terrestrial environment. *Wheinheim, VCF*, 485-494.
- [6] Mench M. & Baize D., 2004. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces mesures pour réduire l'exposition. *Courrier de l'environnement de l'INRA n°52*, septembre 2004.
- [7] Banza, C.L.N., Nawrot, T.S., Haufroid, V., Decree, 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. *Environ. Res.* 109, 745–752.
- [8] Chassin P., Baize D., Cambier Ph. et Sterckeman T., 1997, Les éléments traces métalliques et la qualité des sols : impact à moyen et à long termes, *Chambres d'Agriculture, Supplément au n° 856*, pp. 35-39.
- [9] 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.
- [10] Mc KINNEY M.L. (2002). Urbanization, biodiversity and conservation. *Biosci.*, 52, 883-890.
- [11] MULLISS R.M, REVITT D.M., SHUTES R.B.E. (1997). The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. *Water Sci. Technol.*, 36, 195-199.
- [12] BURTON G.A.JR., PITT R.E. (2001). *Stormwater effects handbook, a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers.* CRC/ Lewis Publishers, 875p.
- [13] Maqués M.J., Martínez-conde E, Rovira J.V. et Ordóñez S., Heavy metals pollution of aquatic ecosystem in the vicinity of a recently closed underground lead-zinc mine (Basque Country, Spain). *Environ. Geol.*, 40, 1125-1137 (2001).
- [14] Akwerali Sombo J., et al 2013. Plan d'aménagement et de gestion des ressources en eau dans la ville de Lubumbashi. UNILU/Faculté des sciences. Rapport, 56p.
- [15] Dibwe dia Mwembu, D. 2008. Le tissu économique dans les bassins miniers du Katanga, cas du bassin minier de Kipushi, Likasi et Kambove, 65p.
- [16] APHA, AWWA et WPC, 1999. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Washington DC, USA, APHA , 20eéd., 1368 p
- [17] CHAPMAN D., KIMSTACH V. 1996. Selection of water quality variables. *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E and FN Spon, London, pp. 40-126.
- [18] W.H.O. 1998. *Guideline for drinking water quality*, 2nd ed., vol. 2, health criteria and other supporting information. World Health Organisation, Geneva.
- [19] CCME EPC-98E (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1999. *Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life.* <[http:// www.ccme.ca/](http://www.ccme.ca/)>.
- [20] Yu J.Y. et Heo., B. 2001. Dilution and removal of dissolved metals from acid mine drainage along Imgok Creek, Korea. *Appl. Geochem.* 16, 1041-1053.
- [21] Stromberg B. et Banwart S., 1999. Weathering of waste rock from the Aitik copper mine, Sweden: scale dependent rate factors and pH controls in large column experiments. *J. Contam. Hydrol.*, 39, 59-8.

- [22] Perrono, 1999. Les micropolluants métalliques des boues des stations d'épuration urbaine et l'épandage agricole. Thèse de doctorat, Université de Picardie.
- [23] François A., 1987. Synthèse géologique sur l'arc cuprifère du Shaba (Rép Du Zaïre). Centenaire de la Société belge de géologie. p 55-65.
- [24] SUPERGEON DJ & HOPKIN SP. 1996. The effect of metal contamination on earthworm populations around a smelting works: quantifying species effect. *Applied soil Ecology* 4 (1996) 147-160
- [25] HOWARTH R. W., MARINO R., GARRITT R. et D. SHERMAN, 1992. Ecosystem respiration and organic carbon processing in a large, tidally influenced river: the Hudson River. *Biogeochem.*, 16, 83-102.
- [26] Nkulu, C Banza Lubaba; Nawrot, T; Haufroid, V; Lison, D; Smolders, E; Nemery, B. Biomonitoring of Metals in the Population of Southern Katanga, a Mining Area of the D.R. Congo, *Epidemiology*, September 2007, volume 18, Issue 5, ppS131-S132, doi: 10.1097/01. Ede. 0000276722.58421. F8, ISEE 2007, Mexico;
- [27] Adriano, DC. 2001. Traces elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York.
- [28] HEBERT S., LEGRE S. (2000). Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
- [29] Sing K.P., Mohan D., Singh V.K., et malik A., 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments a tributary of the Ganges, *Indian, J. Hydrol.*, 312: 14-27.
- [30] Bérard P., Perrin M.L., Desprès A., 2001. Fiche radionucléique. Cobalt 60, éd.1.
- [31] Nordberg G. F., Fowler B. A., Nordberg M., Friberg L. T. Handbook on the toxicology of metals. Third édition; Elsevier; 2007;
- [32] Agence de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches, 2011. Quoi faire si la quantité de Manganèse (Mn) ou de Fer (Fe) est élevée ? Quand l'eau de votre puits dépasse la recommandation ? p 2.
- [33] Thierry De Putter, Sophie Decrée, Célestin Lubaba Nkulu Banza, Benoit Nemery. Mining the Katanga (DRC) Copperbelt: geological aspects and impacts on public health and the environment-towards a holistic approach. Abstract, La proceedings of the Inaugural Workshop IGCP/SIDA Project N° 594, Kitwe, Zambia, October 17th-18th, 2011, Mining and the Environment in Africa. KRIBEK B. (Editor), Czech Geological, Prague, 2011. ISBN 978-80-7075-119-0.C;
- [34] Fergusson, J.E., 1990. The Heavy Elements, Chemistry. Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press, 614pp.
- [35] Miller, J.R., Hudson-Edwards, K.A., Lechler, P.J., Preston, D., Macklin, M.G., 2004. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of Rio Pilcomayo basin, Bolivia. *Sci. Total Environ.* 320, 189–209.
- [36] Boissonneault S.D., Bourrinet P., Ramade F., 2008. Pollution et suivi des cours d'eau à partir des indicateurs environnementaux. P 62, p 68.