

Impacts des rejets liquides de la Société de Terril de Lubumbashi (STL) sur la qualité des eaux de la rivière Lubumbashi: Cas du bassin versant de la Kafubu (Lubumbashi, Haut-Katanga / RD Congo)

[Impacts of liquid discharges Society Terril of Lubumbashi (STL) on the water quality of the river Lubumbashi: Case of Watershed Kafubu (Haut-Katanga / DR Congo)]

Serge Kashimbo Kalala¹⁻², Mukanya Senga Serge Christian³, Mukoj Kavund Alain⁴, Mwenge Twakale Lazare⁴, Kiyukeno Kitwanyoka Yannick⁵, and Meli Kimpinde Adelin¹

¹Chef des travaux à l'Unité de Gestion des ressources naturelles, Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, RD Congo

²Chef des travaux à la Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, RD Congo

³Chef des travaux au Département de Métallurgie, Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, RD Congo

⁴Assistants à l'unité de recherche de production et nutrition Animale; Biodiversité et exploitation durable des zones humides, Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, RD Congo

⁵Assistant à l'Ecole Supérieure des Ingénieurs (ESI), Département de Génie civile, Université de Lubumbashi, 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: Katanga is nowadays dominated by mining activities, due to the presence of rich deposits of copper ore mainly but also cobalt, zinc, germanium and many others. These deposits left on the Katangan Copperbelt arc attracted investment capital needed to implant metal production plants (Cu, Co,...). These plants are generally hydrometallurgical expected to use large amounts of water and generated waste in the form of large quantities of liquid effluents. Sustainable Environmental Management recommends the use of modern devices to recycle wastewater from hydrometallurgical plants; unfortunately this is not the case of the STL, which discharges into the river Lubumbashi. Its rich effluents discharged minerals in the water have contributed to the change of the physicochemical conditions of the river. contents of the increase is noted in trace metals such as Cu, Co, Pb and Fe in water, soil and plants along the river Lubumbashi, through one of the Kafubu before flowing in the watershed of the Kafubu. This places the river water Lubumbashi on the list of those subject to special treatment before being used for various needs. Unfortunately, the population ignorant and uninformed on the matter is in use in the risk of contracting various diseases.

KEYWORDS: Effluents, Waste management device, Hydrometallurgy, Metal, Water, Plant, Soil.

RÉSUMÉ: Le Katanga est de nos jours dominé par les activités d'exploitation minière, à cause de la présence des gisements riches en minerais de cuivre principalement mais aussi du cobalt, du zinc, du germanium et bien d'autres. Ces gisements repartis sur l'arc cuprifère Katangais a attiré l'investissement des capitaux nécessaires pour implanter des usines de production des métaux (Cu, Co,...). Ces usines sont généralement Hydrométallurgiques, censées utiliser de grandes quantités d'eau puis générées des déchets sous forme de grandes quantités d'effluents liquides. La gestion durable de l'environnement recommande l'usage des dispositifs modernes pour recycler les eaux usées issues des usines hydrométallurgiques,

malheureusement ce n'est pas le cas de la STL, qui rejette ses effluents dans la rivière Lubumbashi. Ses effluents riches en substances minérales déversées dans l'eau, ont contribué au changement des conditions physico-chimiques de ce cours d'eau. On note l'augmentation des teneurs en éléments traces métalliques tels que le Cu, Co, Pb et le Fe dans l'eau, le sol et les plantes le long de la rivière Lubumbashi, en passant par celle de la Kafubu avant de se jeter dans le bassin versant de la Kafubu. Cette situation place l'eau de la rivière Lubumbashi sur la liste de celles qui font l'objet d'un traitement particulier avant d'être utilisé pour les besoins divers. Malheureusement, la population ignorante et non informée sur la question en fait usage aux risques de contracter diverses maladies.

MOTS-CLEFS: Effluents, Déchets, dispositif de gestion, Hydrométallurgie, Métaux, Eau, Plante, Sol.

1 INTRODUCTION

La ville de Lubumbashi est essentiellement à vocation industrielle départ son histoire, sa situation géomorphologique, géologique et géographique [1]. Elle est caractérisée par un bassin hydrographique constituant un exutoire pour les différentes unités industrielles qui y opèrent [2]. L'activité industrielle la plus prépondérante dans la ville de Lubumbashi est axée autour des unités de production métallurgiques [3]. La plupart des usines de traitement des minerais installées à Lubumbashi manquent des dispositifs modernes de gestion des déchets issus des procédés métallurgiques [4]. Elles rejettent leurs effluents liquides dans les différents cours d'eau de la ville à savoir: Kimilolo, Naviundu, Kasapa, Karavia, Lubumbashi et Kafubu [5]. Ces cours d'eau convergent au sud de la ville et se jettent tous dans le bassin versant de la Kafubu [6]. Le Katanga regorge d'importants gisements miniers de cuivre à haute teneur et des minerais associés tels que le cobalt, le zinc, le plomb, or [7]. L'exploitation minière des 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 [8, 9]. L'on a recensé une dizaine d'usines hydrométallurgiques en province n'étant pas dotées d'un système de traitement et recyclage des effluents liquides, déchets finaux des procédés métallurgiques. Ces déchets toxiques résultant des activités minières et métallurgiques sont massivement déversés sans traitement préalable dans le milieu et entraînent la contamination des eaux de surface, des sédiments, des sols et des eaux souterraines avec comme conséquences la contamination de la chaîne alimentaire et la perte de la biodiversité aquatique [10]. L'extraction du cuivre, du cobalt à la fonderie de l'usine de la Gécamines ainsi que l'extraction du cuivre de Terril par la STL sont accompagnées de rejets de sous-produits riches en zinc, plomb, arsenic, cadmium ou encore de composés soufrés [11]. Ces rejets ont un effet néfaste sur les trois composantes de l'environnement : l'air, l'eau, le sol. Ces éléments traces métalliques se sont accumulés dans les trois composantes en occurrence dans l'eau. Ils ont atteint des valeurs très élevées, dépassant les normes ainsi, leurs propriétés et fonctionnements sont perturbés et des troubles sur les êtres vivants et leur environnement sont constatés [12]. La rivière Lubumbashi étant un affluent principal, draine les eaux des rivières Kipopo, Karavia, Kisanga et Kafubu pour les acheminer dans le bassin versant de la Kafubu (Exutoire). Les différentes activités anthropiques réalisées sur chacune des rivières par la population ainsi que les usines hydrométallurgiques situées en amont ou à proximité justifient l'état actuel des teneurs très élevées en ETM dans les eaux de la rivière Lubumbashi. L'étude a été délimitée à partir du boulevard Katuba (pont Katuba) jusqu'au bassin versant de la Kafubu (aval du pont de la digue).

L'objectif de l'étude est de déterminer l'incidence des activités actuelles et passées par rapport au traitement et à la production du Cuivre par l'usine Gécamines et la Société de Terril de Lubumbashi (STL) sur les compartiments de l'environnement (eau, sédiment, plantes). D'une part, sur le diagnostic de l'état actuel des eaux de la rivière Lubumbashi suite aux nuisances majeures causées par les rejets des déchets non traités, et d'autre part, sur l'évaluation du niveau de concentration en éléments traces métalliques (ETM) toxiques dans l'eau, les sédiments et les plantes cultivées (Matières sèches) en vue de proposer des mesures adéquates pour utiliser rationnellement et durablement la ressource Eau.

2 MILIEU, MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MILIEU

2.1.1 DESCRIPTION DU SITE D'ETUDE, VILLE DE LUBUMBASHI

Chef-lieu de la province du Katanga située au sud-est de la République démocratique du Congo, Lubumbashi (11°41 S., 27°29 EO.) a une population estimée à 5.000.000 habitants, extensions comprises [13]. Elle est la deuxième grande ville de la République Démocratique du Congo après Kinshasa. Lubumbashi est réputée pour ses activités minières et a subi un essor

industriel au sein d'une région excessivement riche en minerais de cuivre [14]. Mais cette industrialisation est responsable d'une forte pollution de l'environnement (eau, sol et air), due aux rejets des résidus et effluents non traités, riches en cuivre et autres métaux (cobalt, plomb, cadmium) venant des usines de traitements et de transformation des minerais [15].

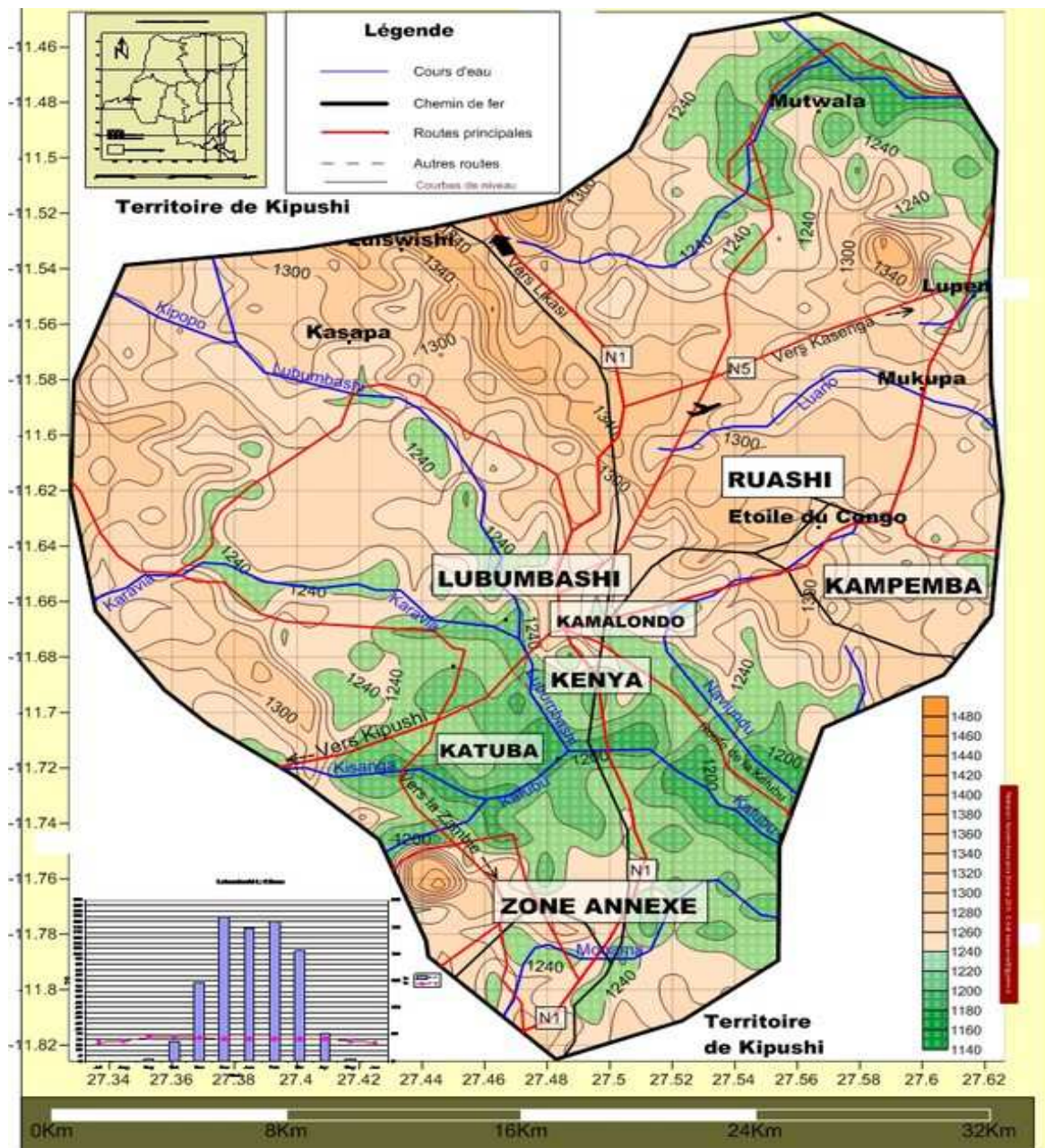


Figure 1: Carte administrative et hydrographique de la ville de Lubumbashi

2.1.2 CADRE HYDROGRAPHIQUE

La ville de Lubumbashi est traversée par la rivière qui porte le même nom, laquelle est connectée au Nord à la rivière Kasapa, au Sud à la rivière Kafubu et Kimilolo. Et dans sa partie orientale la ville est baignée par la rivière Kampemba, le Canal Naviundu et la rivière Naviundu [16]. La plupart des usines de traitement de minerais installées à Lubumbashi rejettent leurs effluents liquides dans les cours d'eau qui se jettent tous dans les rivières Lubumbashi et Kafubu en passant par le canal Naviundu et la rivière Kampemba pour terminer dans le bassin versant de la Kafubu.

2.2 MATÉRIELS

2.2.1 MATÉRIELS À ANALYSER

Trois types d'échantillons ont été récoltés à savoir : Les échantillons liquides (effluents et l'eau des cours d'eau et rivières en connexion avec les unités de production métallurgiques ciblées). Les échantillons solides des sols des berges des canaux d'évacuation des effluents et des cours d'eau. Les échantillons des plantes colonisant les berges des cours d'eau.

2.2.2 MATÉRIELS DE TERRAIN

2.2.2.1 MATÉRIELS SERVANT A LA RECOLTE DES ECHANTILLONS DE SOLS ET DE L'EAU

Les matériels qui ont servi à la récolte des échantillons d'eau et de sols sur le terrain sont: Bouteilles plastiques, Sachets en polyéthylène, Gants en latex sans talc, Formulaire de prise des paramètres de terrain, Eau distillée, Détergent, Sac plastique dur pour le transport des échantillons, Mètre ruban d'environ 3m.

2.2.2.2 LES APPAREILS

Le travail sur le terrain exige pour son bon déroulement, des appareils permettant le prélèvement des paramètres de terrain ainsi que les coordonnées géographiques. Il s'agit d'un multi probe, un GPS, une montre pour préciser l'heure de prélèvement et un appareil photo.

2.3 METHODOLOGIE DE TERRAIN: PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS D'EAU ET DE SOL DES BERGES

Pour le besoin de cette étude, la ville de Lubumbashi a été divisée en 5 zones d'étude :

(1) La première zone est constituée par les usines de la GCM-FEL et La STL avec la rivière Lubumbashi, (2) La deuxième zone est constituée des usines de CHEMAF et KMP et les drains d'évacuation qui y sont associés, (3) La troisième zone est celui de RUASHI Mining, (4) La quatrième est celle de SOTRAFER, (5) La cinquième zone, celle de SOMIKA.

2.4 MÉTHODE DE LABORATOIRE

2.4.1 PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON

Après l'étape de terrain, les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre (au soleil). Vient ensuite, le broyage des échantillons, qui a consisté à réduire les grosses mottes en fraction plus petites avant de les soumettre au tamis de 2mm afin d'obtenir la partie fine(Argile), matière de base sur laquelle les analyses physico-chimiques peuvent être réalisées [17].

Les échantillons d'eau passeront par une digestion d'acide simple pour l'examen des eaux potables et usées : un volume de 10 ml de chaque échantillon d'eau préalablement acidifié est placé dans une éprouvette à laquelle est ajouté un volume de 0,5 ml d'acide nitrique ultra pur (concentration résiduelle en ETM < 10 ppm), puis les éprouvettes sont mises dans un bloc chauffant à 105°C sous une hotte pendant 2 h sans atteindre l'ébullition. Une fois refroidies, les éprouvettes sont diluées à 10 ml avec de l'eau ultra-pure type IASTM puis stockées à 4°C en attendant les analyses [18].

2.4.2 LES ANALYSES DEMANDÉES

2.4.2.1 LA CONCENTRATION EN ETM DANS L'EAU

L'eau ainsi échantillonnée sera analysée à " l'Inductively Coupled Plasma" (ICP) autrement dit plasma à couple inductif » (PCI). L'objectif est de déterminer les concentrations en ETM dans l'eau en tenant compte des limites de détection de l'appareil, fixées pour chaque élément métallique: Cu, du Co, du Cd, du Pb.

2.4.2.2 LA CONCENTRATION EN ETM DANS LES SOLS ET LA MATIERE SECHE

Dans les mêmes conditions, sur l'ICP, les échantillons de sol subiront aussi la même analyse par le principe de la "spectrométrie d'émission atomique" afin de déterminer la concentration en Cu, Co, Cd, Pb, U, Fe, Mn ainsi que le pH.

3 RÉSULTATS

3.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Au cours de ce chapitre, l'on présentera les résultats des échantillons prélevés dans la première zone d'étude représentée par les usines Gécamines (FEL) et la Société de Terril de Lubumbashi (STL). Il convient de préciser que le prélèvement des échantillons a concerné la partie allant du pont, sur le boulevard Katuba correspondant aux eaux de la rivière Lubumbashi jusqu'au bassin versant de la Kafubu en passant par le pont de la digue correspondant aux eaux de la rivière Kafubu. La rivière Lubumbashi se rencontre avec celle de la Kafubu (point de jonction) avant de se jeter tous dans le bassin versant de la Kafubu (Tableau 1).

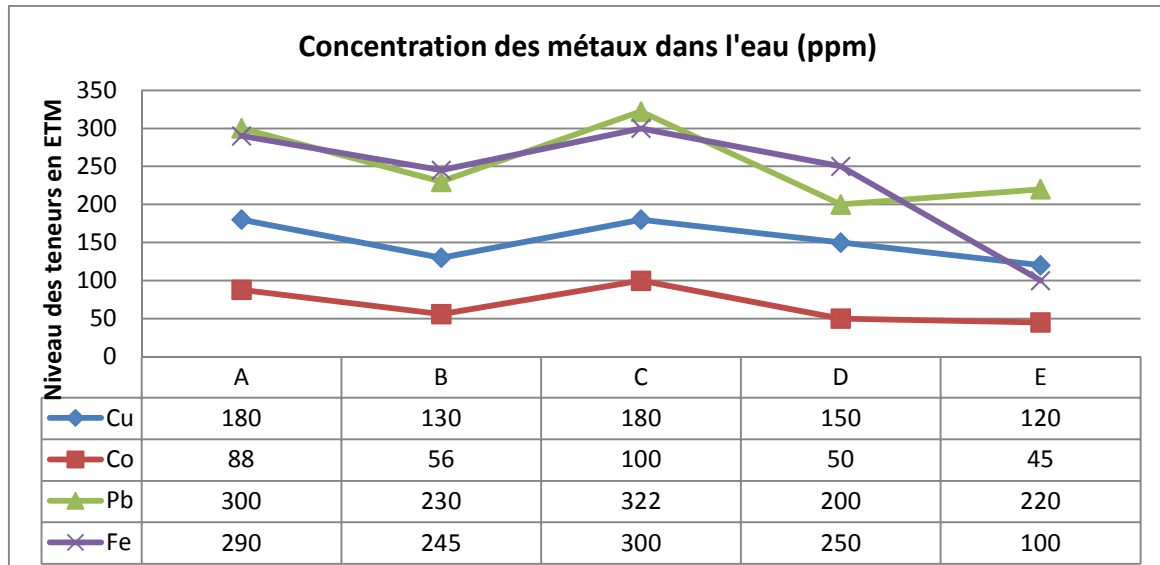
Tableau 1: Teneurs en métaux lourds dans les eaux de la rivière Naviundu (Bief de la rivière Lubumbashi)

Sites	pH			Cu (ppm)			Co (ppm)			Pb (ppm)			Fe (ppm)		
	Eau	Eau	Sol	Plante	Eau	Sol	Plante	Eau	Sol	Plante	Eau	Sol	Plante		
Pont Blvd Katuba Riv. L'shi	7.32	180	215	39	88	140	23	300	310	60	290	400	180		
Pont de la Digue Riv. L'shi	6.74	130	120	43	56	90	20	230	220	50	245	350	126		
Jonction Riv. Kafubu et L'shi	6.85	180	210	69	100	160	41	322	300	80	300	500	150		
Amont Riv. Kafubu	5.29	150	150	56	50	60	30	200	100	50	250	300	130		
Aval Riv. Kafubu	6.6	120	180	46	45	40	28	220	80	30	100	286	100		

Au regard des résultats présentés dans le tableau 1 ci-dessus, il est à constater que les valeurs obtenues en rapport avec la concentration des éléments traces étudiés sont excessivement élevées et dépassent pour chacun d'eux, les normes de l'AFNOR [19] et de l'OMS [20] pour les eaux de consommation humaine ainsi que les feuilles légumes cultivés dans la plupart des jardins à Lubumbashi. Le pH présente des valeurs comprises entre 5.29 et 7.32. Au niveau du pont Katuba, le pH est de 7.32, ceci reflète le résultat obtenu sur le premier bief étudié ou les valeurs nageaient dans la gamme de pH neutre. L'on constate après le pont sur le boulevard Katuba, le pH vire vers l'acidité avec une valeur de 6.74 au niveau du pont de la digue. Le pH devient très acide encore après la jonction de deux rivières avec la valeur de 5.29. Le brassage des eaux de ces deux rivières s'accompagnent de déchets divers charriés par chacune d'elles. A ce point de jonction, on note aussi la diminution de la vitesse d'écoulement de l'eau, ce qui a comme conséquence des dépôts sédimentaires à cet endroit du bief [21]. On observe même des concentrations élevées du Cu, Co, Pb, Fe dans l'eau, le sol et les plantes à la jonction des rivières Lubumbashi et Kafubu. Comparativement aux résultats du bief de la rivière Lubumbashi situé en aval de l'usine de la société de Terril de Lubumbashi (STL), le pH présente des valeurs plus acides excepté le point au niveau du pont Katuba. D'un point de vue général, on note une diminution des teneurs en métaux, le long de la rivière Lubumbashi mais ceux-ci demeurent toujours à un niveau élevé comparés aux normes. L'on constate des teneurs particulièrement élevées au niveau des ponts, point ou différentes activités sont concentrées pour l'usage de l'eau. Les valeurs sont très élevées au niveau de ces deux ponts situés sur le deuxième bief de la rivière Lubumbashi.

4 DISCUSSION

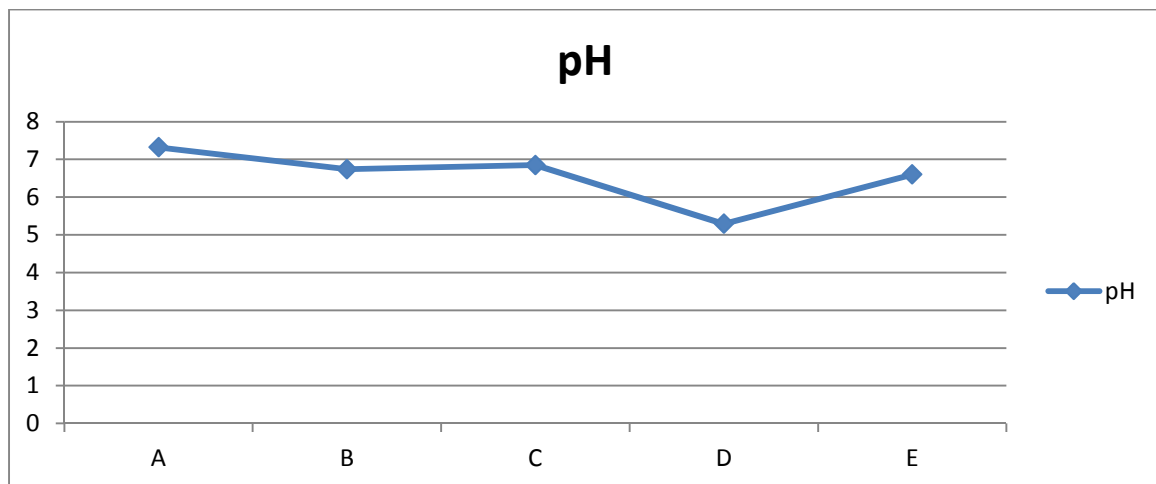
SOUS ZONE I : BIEF DE LA RIVIÈRE LUBUMBASHI À PARTIR DU PONT SUR BOULEVARD KATUBA



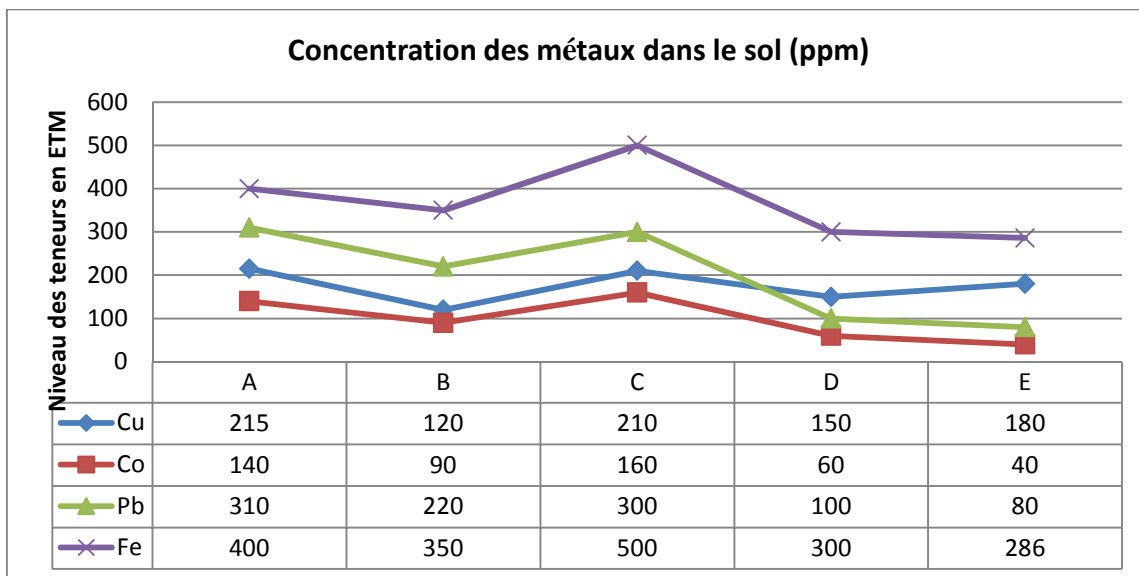
Graphique 2: Concentration en éléments traces métalliques dans l'eau (ppm)

A: Pont Boulevard Katuba Rivière L'shi ; **B:** Pont de la Digue Rivière L'shi ; **C:** Jonction Rivière Kafubu et L'shi ; **D:** Amont Rivière Kafubu ; **E:** Aval Rivière Kafubu.

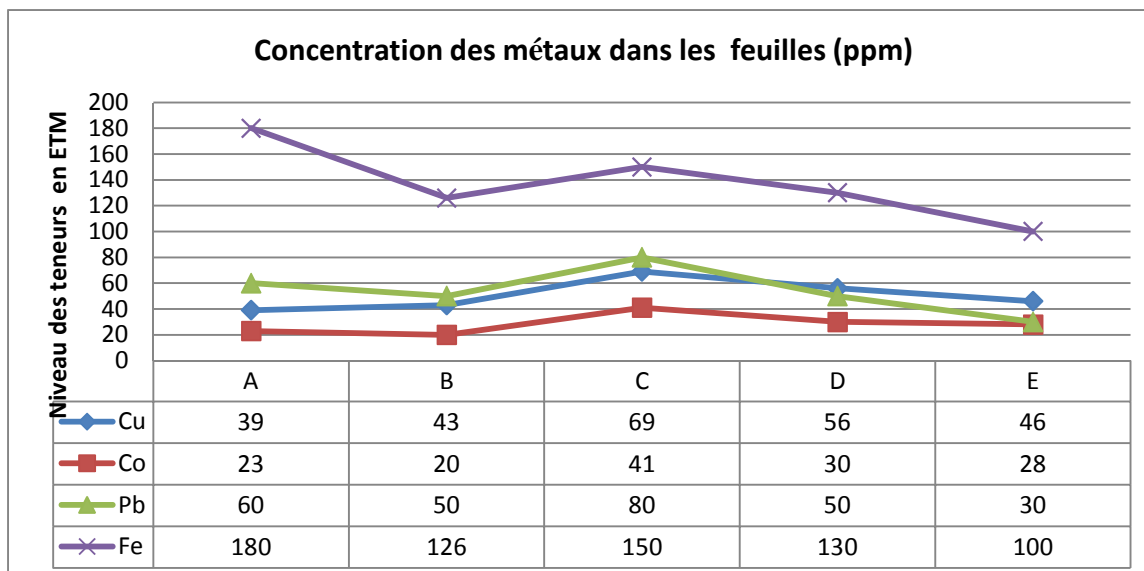
EVOLUTION DU PH LE LONG DES RIVIERE LUBUMBASHI ET KAFUBU (A-E)



Graphique 3: Evolution du pH dans l'eau



Graphique 4: Concentration en éléments traces métalliques dans le sol (ppm)



Graphique 5: Concentration en éléments traces métalliques dans les feuilles des plantes (ppm)

NIVEAU DE CONCENTRATION DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES (ETM)

EAU

D'une manière globale, les éléments traces métalliques se trouvent à un niveau de concentration élevé dans l'eau. La teneur du Cu est de 180ppm aux points A et C, c'est-à-dire au niveau du pont Katuba et la jonction entre les deux rivières. Elles diminuent aux points B, D, E respectivement de 130, 150, 120ppm. Il convient de noter que ces valeurs dépassent la limite fixée par l'OMS concernant l'eau de boisson [22]. Le retraitement métallurgique des scories par la STL vise l'extraction des minerais du Cuivre, Cobalt et Germanium. C'est ainsi que les déchets qui en découlent se trouvent riches en ces éléments. On note l'antithèse de la théorie confirmée par plusieurs auteurs ayant travaillé sur la pollution des rivières au Katanga. L'éloignement par rapport à la source de contamination s'accompagne de la diminution des teneurs en éléments contaminants dangereux [23], contrairement dans cette étude, on note des valeurs élevées très en aval de la STL. Ceci peut être justifié par l'intensification des activités anthropiques effectuées le long de la rivière à savoir les pratiques de cultures vivrières dans les jardins avec fertilisation (engrais) et amendement pour accroître la production, le lavage des véhicules

ainsi que des vêtements avec des détergents chimiques sont au tant d'activités qui contribuent à l'augmentation des concentrations en ETM dans l'eau [24]. L'autre hypothèse est celle qui confirme le processus de sédimentation lié à la réduction de la vitesse de l'eau dans la rivière Lubumbashi. Cette situation s'observe particulièrement au niveau des ponts (Katuba (A) et de la Digue (C)) ou l'on constate une forte concentration des ETM dans l'eau en occurrence le Cu. Enfin une dernière hypothèse est celle liée à l'usage de plusieurs réactifs chimiques [25] par la STL pour extraire le Cu, Ge, Co dans le terril. Les déchets qui en découlent contiendraient les traces de ces éléments en quantité importante. Ils sont déversés dans la rivière Lubumbashi sans traitement préalable, ce qui a été observé sur les rivières Naviundu, Musonoi et Luilu [4,23]. Le Co quant à lui présente des valeurs élevées qui dépassent les valeurs seuils fixées par l'OMS. On note la teneur la plus élevée au niveau du pont de la digue. Le Katanga ayant des anomalies géochimiques est riche en minerais cupro-cobaltifères [26], les deux éléments Cu et Co présentent toujours des corrélations positives [27], c'est ainsi que les fortes concentrations du Cu dans l'eau s'accompagnent de celles du Co. Le Pb se trouve à des concentrations élevées dans l'eau au niveau de toutes les stations (A, B, C, et D). On note la valeur la plus élevée au niveau du pont de la digue, 322ppm. Les fortes concentrations du Pb sont imputées aux anomalies géochimiques des sols du Katanga mais aussi à l'intensification de la circulation des véhicules qui rejettent des fumées riches en Pb. Les sols du Katanga, étant ceux tropicaux ont une richesse en Fe et Al [28], sa forte présence dans l'eau serait imputée à l'origine géogène et non aux activités de traitement métallurgique de la STL.

SOL ET PLANTES

Tableau 2: Directives de qualité de sédiments: Recommandations pour la protection de la vie aquatique (Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life) ppm

Cu	Co	Pb	Fe
35	35	35	20

Au regard des valeurs présentées dans le tableau 1, en rapport avec la concentration des éléments traces métalliques dans le sol, le constat est alarmant si l'on s'en tient au tableau 2 ci-dessus. Tous les éléments étudiés présentent chacun, une teneur qui dépasse excessivement cette directive pour la protection de la vie aquatique [29]. Ceci est le résultat qui pourrait être justifié par trois hypothèses. La première pourrait être le fait que les sols du Sud de la province présentent des teneurs totales élevées en Cu appuyant ainsi le fait que la fixation des valeurs seuils des métaux dans les sols devrait tenir compte des types de sol et du background de chaque région car dans le cas d'espèce, le Cu a été trouvé à des teneurs biodisponibles de 4 ppm seulement [30]. La deuxième serait le fait des phénomènes des crues et étiages de la rivière qui reçoit les effluents des eaux de traitement de l'usine GCM et STL. En effet, lors des crues, la rivière apporterait des métaux qui s'accumuleraient ensuite sur les sols des bordures lors du dépôt des sédiments. Cette accumulation aurait probablement été renforcée, surtout dans le cas du Cu, par des apports des fumées métallifères provenant des émissions de la cheminée [31]. Enfin la troisième est la conséquence de différentes activités humaines se déroulant le long de la rivière comme mentionné ci-haut. Réunies ensemble, ces trois hypothèses soutendent la situation actuelle de contamination polymétallique, observée sur la rivière Lubumbashi à laquelle on peut annexer celle de la Kafubu.

Tableau 3 : Seuils utilisés pour diagnostiquer la contamination des végétaux (ppm)

ETM	Teneur	References
Legumes Feuilles		
Cu	5-10	Teneur maximale du règlement 1881/2006/CE [32].
	10	Valeur normale [33]
Co	1	Valeur normale [33]

Les végétaux récoltés le long des rivières Lubumbashi et Kafubu dont la matière sèche a servi à l'analyse de laboratoire, en éléments traces métalliques (Cu, Co, Pb, Fe) sont des plantes comestibles cultivées par la population riveraine. Le tableau 3 ci-dessus présente les seuils utilisés pour diagnostiquer la contamination des végétaux. Lorsqu'on se réfère aux valeurs présentées dans le tableau 1, relatives à la concentration des ETM dans les parties comestibles (légumes feuilles), on se réalise du niveau élevé du Cu, Co, Pb et Fe avec des maximaux au niveau des ponts Katuba et de la Digue. Cette situation est liée aux fortes concentrations d'ETM constatées dans l'eau et le sol [34]. Cependant au vu des résultats d'analyse, il ressort clairement que les concentrations en Cu, Co, Pb et Fe excèdent largement surtout pour le Cu et le Pb, les valeurs seuils

permises dans les denrées destinées à la consommation humaine [35]. Ceci soutient la théorie que l'exposition aigue des organismes vivants à une dose élevée d'éléments traces qu'il soit oligoélément ou contaminant strict ou bien l'accumulation dans les tissus suite à une exposition chronique entraîne des effets de toxicité chez les espèces non tolérantes [36].

5 CONCLUSION

Après ce tour d'horizon effectué le long des rivières Lubumbashi et Kafubu, il ressort au regard des valeurs présentées dans le tableau 1, que les teneurs en ETM (Cu, Co, Pb et Fe) ayant fait l'objet d'enquête dans cette étude sont excessivement élevées et dépassent largement dans tous les cas les seuils fixés par l'OMS pour l'eau, la directive pour la protection de la vie aquatique pour le sédiment ainsi que le seuil utilisé pour diagnostiquer la contamination des végétaux. Cette situation est expliquée par la présence en amont de l'ex usine Gécamines en faillite mais aussi de celle de la STL en activités. Ces deux usines sont responsables de déversements acides des eaux issues de leurs traitements hydrométallurgiques dans la rivière Lubumbashi. L'entrée de ces effluents liquides non traités mais surtout chargés en diverses particules chimiques sous forme de déchets dans la rivière Lubumbashi entraîne des changements majeurs de qualité et de quantité de la ressource Eau et en réduit les usages importants liés aux besoins de la population de Lubumbashi. Le niveau de pollution en ETM des eaux des rivières Lubumbashi et Kafubu devrait pousser les autorités de la ville ainsi que la communauté scientifique à prendre des dispositions allant dans le sens de proposer des solutions durables face à cette grande question de santé publique. Parmi les solutions proposées, l'on retiendra le traitement préalable (usage de la chaux vive) des eaux usées avant leurs relâchements dans le milieu naturel par les usines de traitement et de production des cathodes de Cu. Aux populations riveraines faisant des jardins familiaux sur les sols fortement chargés en ETM, d'utiliser les amendements organiques ainsi que la chaux afin de les immobiliser dans les sols, par la même occasion réduire leurs translocations dans les parties aériennes censées être consommées par l'homme.

REFERENCES

- [1] Bruneau J.C., 1983. « Cartographie de l'environnement et aménagement urbain à Lubumbashi » dans *Revue internationale d'écologie et de géographie tropicales* 1(4): 19-47.
- [2] Assani, A. A., 1998. L'état de l'environnement en République Démocratique du Congo à l'aube du troisième millénaire: Thème 2. La pollution des eaux, des sols et de l'air en République Démocratique du Congo. Res. 56, 15-20.
- [3] GHISLAIN, Y., GECOMIN. Traitement métallurgique, in *Les expatriés de Lubumbashi*, [en ligne], <http://lubum2.free.fr/umhk/gecomin/traitement.htm>, page consultée le 10 Février 2015.
- [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] KAZADI M. (2006) : Contribution à l'étude hydrologique et hydrogéologique de la rivière Karavia et son impact sur la source de Kimilolo, Mémoire en Géologie, UNILU, 56p.
- [6] KASONGO N. (1985) : Contribution à l'étude hydrologique et hydrogéologique du bassin versant de Kafubu supérieur, Thèse en Géologie. 280p.
- [7] OKITAUDJI R. L. 2002. Model de formation des gisements de cuivre-cobalt du Shaba en République Démocratique du Congo, *Bull. ac. Lor. Sc.*, 40, 4,
- [8] 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).
- [9] Denimal S., Tribouvillard N., Barbecot F. et Dever L., Leaching of coal-mine tips (Nord-Pas-de-Calais coal basin, France) and sulphate transfer to the chalk aquifer: example of acid mine drainage in biffered environment. *Environ. Geol.*, 42, 966- 981 (2002).
- [10] Haller, L., Tonolla, M., Zopfi, J., Peduzzi, R., Wildi, W., Poté, J., 2011. Composition of bacterial and archaeal communities in freshwater sediments with different contamination levels (Lake Geneva, Switzerland). *Water Res.* 45, 1213–1228.
- [11] Ngoy S. M., Mpundu M. M., Faucon M-P., Michel Ngongo L.M., Marjolec in Visser M., Colinet G., Meerts P., 2010. Phytostabilisation of copper contaminated Soil in Katanga: An experiment with three native grasses and two amendments. *International Journal of Phytoremediation*, 12:616–632.
- [12] 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.
- [13] Rapport statistique de la Mairie de la ville de Lubumbashi., 2012. Croissance démographique dans la ville de Lubumbashi a l'heure du boom minier, 88p.

- [14] DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET, 1963 : Cuivre et végétation au Katanga. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 96. 93-231.
- [15] Petit P., Bukome E., Dibwe D.M. et Kalaba M., 2003. Ménages de Lubumbashi entre précarité et recomposition, l'Harmattan. p 81 à 150.
- [16] NAWAJ T. (2011) : Caractérisation hydrogéologique du système aquifère du bassin versant de la rivière Lubumbashi, Mémoire en Géologie. 48p.
- [17] APHA, AWWA et WPC, 1999, Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington DC, USA, APHA , 20^eéd., 1368 p.
- [18] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1996, Method 1669: Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Level, Washington DC, USA, Office of water, 39 p.
- [19] AFNOR, 1996. Qualité des sols. Recueil de normes françaises. 3^{ème} édition. Paris-La défense. 534 p.
- [20] OMS-Directives de qualité pour l'eau de boisson ; troisième édition ; 2004 ;
- [21] Gray N.F. Acid mine drainage composition and the implications for its impact on lotic systems. Water Res., 32, 2122-2134 (1998).
- [22] W.H.O. 1998. Guideline for drinking water quality, 2nd ed., vol. 2, health criteria and other supporting information. World Health Organisation, Geneva.
- [23] Kashimbo, S; Mongoli, B; Kazadi, P; Mpundu, M 2015, 2015. Innovative Space of Scientific Research Journals. ISSN 2351-8014 Vol. 16 No. 2 Jul. 2015, pp. 433-447
- [24] 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, 190-199.
- [25] GHISLAIN, Y., GECOMIN. Traitement métallurgique, in Les expatriés de Lubumbashi, [en ligne], <http://lubum2.free.fr/umhk/gecomin/traitement.htm>, page consultée le 10 Février 2015.
- [26] Malaisse F., 1995. Cuivre et végétation au Shaba (Zaïre). Bull. Séance. Acad. R. Sci. Outremer. 40 (1994-4). p 561-580.
- [27] François A., 1987. Synthèse géologique sur l'arc cuprifère du Shaba (Rép Du Zaïre). Centenaire de la Société belge de géologie. p 55-65.
- [28] Ngongo M.L., Van Ranst E., Baert G., Kasongo E.L., Verdoort A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M., 2009. Guide des Sols en R.D.Congo, Tome I. Étude et Gestion. UGent, HoGent, UNILU. Lubumbashi, 262 p.
- [29] 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/>>.
- [30] Kabata-Pendias A., Pendias H ; 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Fla, 413p.
- [31] SEAWARD MRD & RICHARDSON DHS. 1990. Atmospheric sources of metal pollution and effect on vegetation. In Shaw AJ. 1990. Heavy Metal tolerance in plants: Evolutionary Aspects. pp 75-92.
- [32] Tremel- Schaub A., Feix I., 2005. Contamination des sols : transferts des ETM des sols vers les plantes. EDP Sciences/ADEME. 156 p.
- [33] Kabata- Pendias A., Pendias H., 2001. Trace elements in soils and plants, Boca Raton, CRC Press Inc. 3^eEd.
- [34] Soares, H.M.V.M., R.A.R. Boaventura, A.A.S.C Machado et J.C.G. Esteves da Silva, 1999, Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal) : multivariate analysis of data, Env. Poll., 105, 3 , pp. 311-323.
- [35] 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.
- [36] Kouassi J.K., Yves-A.B., Ahoua E. S., Baize D., Denezon O.D., Moussa B., Fatiha Z., Peggy M., 2008. Diagnostic D'une Contamination par les Éléments Traces Métalliques de L'épinard (Spinacia Oleracea) Cultivé Sur des Sols Maraîchers de la Ville D'Abidjan (Côte D'ivoire) Amendés Avec de la Fiente de Volaille. European Journal of Scientific Research, 21:471-487.