

Etude d'impacts des rejets liquides de l'usine STL (Société de Terril de Lubumbashi) sur la rivière Lubumbashi : Lubumbashi, Haut-Katanga/RD Congo

[Impacts study of Liquid discharges from Terril Company Plant (STL) on Lubumbashi River : Lubumbashi, Haut-Katanga/DR Congo]

Kashimbo Kalala Serge¹, Mukanya Senga Serge Christian², Mukoj Kavund Alain³, Mwenge Twakale Lazare³, Kesonga Nsele Meurice³, Meli Kimpinde Adelin¹, and Kiyukeno Kitwanyoka Yannick⁴

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

²Chef des travaux au Département de Métallurgie, Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, B.P:1825, RD Congo

³Assistants à l'unité de recherche de production et nutrition Animale, Biodiversité et exploitation durable des zones humides et Economie agricole, Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P: 1825, RD Congo

⁴Assistant à l'Ecole Supérieure des Ingénieurs (ESI), Département de Génie civile, 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: The lack of modern equipment management and recycling of waste from the enrichment process metals made the Hydrometallurgy Lubumbashi is the cause of high concentrations of metals found today in the waters, soils and that plants, due to liquid effluent discharges untreated out of Copper and Cobalt production sites. Transects were established along rivers (Lubumbashi receiving effluents Society Terril de Lubumbashi (STL), and Oven Electric Lubumbashi (FEL) and Naviundu which it receives Chemical Of Africa (CHEMAF) in the to determine the levels of Cu content, Co, Pb, Fe in the samples of water, soil and Plant to highlight the potential risks of humans living in such an environment. The results of study indicate a critical environmental problem in view of the values obtained after laboratory analysis performed on water samples, soil and plant harvested on the ground.

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

RESUME: L'absence des dispositifs modernes de gestion et de recyclage des déchets issus des procédés d'enrichissement des métaux a fait que l'Hydrométallurgie à Lubumbashi soit à l'origine de fortes concentrations en métaux constatées de nos jours dans les eaux, les sols ainsi que les plantes, du fait des rejets d'effluents liquides non traités hors des sites de production de Cuivre et Cobalt. Des transects ont été établis le long des rivières (Lubumbashi recevant des effluents de la Société de Terril de Lubumbashi (STL), et du Four Electrique de Lubumbashi (FEL) et Naviundu, qui elle en reçoit de Chemical Of Africa (CHEMAF) dans le but de déterminer les niveaux des teneurs en Cu, Co, Pb, Fe dans les échantillons d'eau, de sol et des végétaux afin de mettre en évidence les risques que peut présenter l'homme vivant dans un tel environnement. Les résultats de l'étude indiquent un problème environnemental crucial au regard des valeurs obtenues après analyse de laboratoire réalisée sur les échantillons d'eau, de sol et des végétaux récoltés sur le terrain.

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

1 INTRODUCTION

La ville de Lubumbashi est essentiellement à vocation industrielle depuis 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 rejettent leurs effluents liquides dans les différents cours d'eau de la ville à savoir: Karavia, Kampemba, Kimilolo, Naviundu, Kasapa et Lubumbashi [4]. Ces cours d'eau convergent au sud de la ville en se jetant tous dans la Kafubu.

Un inventaire de 8 usines, des sources de contamination et des enjeux environnementaux a été réalisé dans la ville de Lubumbashi afin de déterminer leurs impacts sur l'environnement, d'en déceler les conséquences liées au non respect des normes respectueuses d'une politique de gestion et de protection de l'environnement. Les sources de contamination observées sur le terrain (usines inspectées) conduisent à la définition de 3 grands enjeux environnementaux dans cette étude:

ENJEU 1: LES PARCS A RESIDUS

L'usage courant au sein des usines pour la gestion des résidus miniers, consistant à fermer une vallée de rivière avec une digue et d'y déverser les résidus est incompatible avec les pratiques modernes. De nos jours, les parcs à résidus sont des sites confinés où les eaux de surface n'entrent pas en contact avec les résidus et dont les eaux contaminées sont recirculées dans le procédé [5]. On a constaté que plusieurs digues construites par ces usines se sont effondrées, provoquant l'épanchement des résidus vers l'aval, là où on trouve souvent des rivières dont l'eau sert à plusieurs usages mais aussi des établissements humains.

ENJEU 2: LA GESTION DES REJETS LIQUIDES

Les effluents liquides des diverses installations prises en compte dans cette étude (mines, concentrateurs et usines métallurgiques) sont déversés sans traitement dans l'environnement [6]. Le pH des eaux naturelles se situe entre 8 et 9 [7,8], par contre les échantillons d'eau prélevés dans ces installations présentent des valeurs de pH variant entre 7.4 et 7.8, le cadmium et le plomb sont très solubles dans ces conditions.

ENJEU 3: LA GESTION DES REJETS SOLIDES

Outre les problèmes déjà mentionnés à l'enjeu 1, l'enjeu principal lié à ces rejets découle de l'érosion éolienne qui transporte ces résidus vers les zones habitées, causant des irritations pulmonaires et oculaires aux populations locales [9,10]. En fonction du degré de contamination en éléments traces métalliques d'un site, il convient de distinguer les mesures correctives (rémédiation) des mesures de restauration de sites. Les mesures correctives s'appliquent aux sites présentement actifs ou à ceux dont les rejets possèdent encore une valeur économique mais qui constituent une source de pollution.

L'objectif principal de cette étude étant de dresser un inventaire des sites d'extraction du cuivre, cobalt afin d'évaluer leur impact global sur l'environnement et la chaîne alimentaire via le sol, l'eau et les plantes cultivées dans le but de décrire le contexte environnemental de la zone d'étude, identifier les sources de contamination, les enjeux environnementaux liés aux activités industrielles des usines hydrométallurgiques situées dans la ville de Lubumbashi.

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 3.500.000 habitants, extensions comprises. 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. 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 [11].

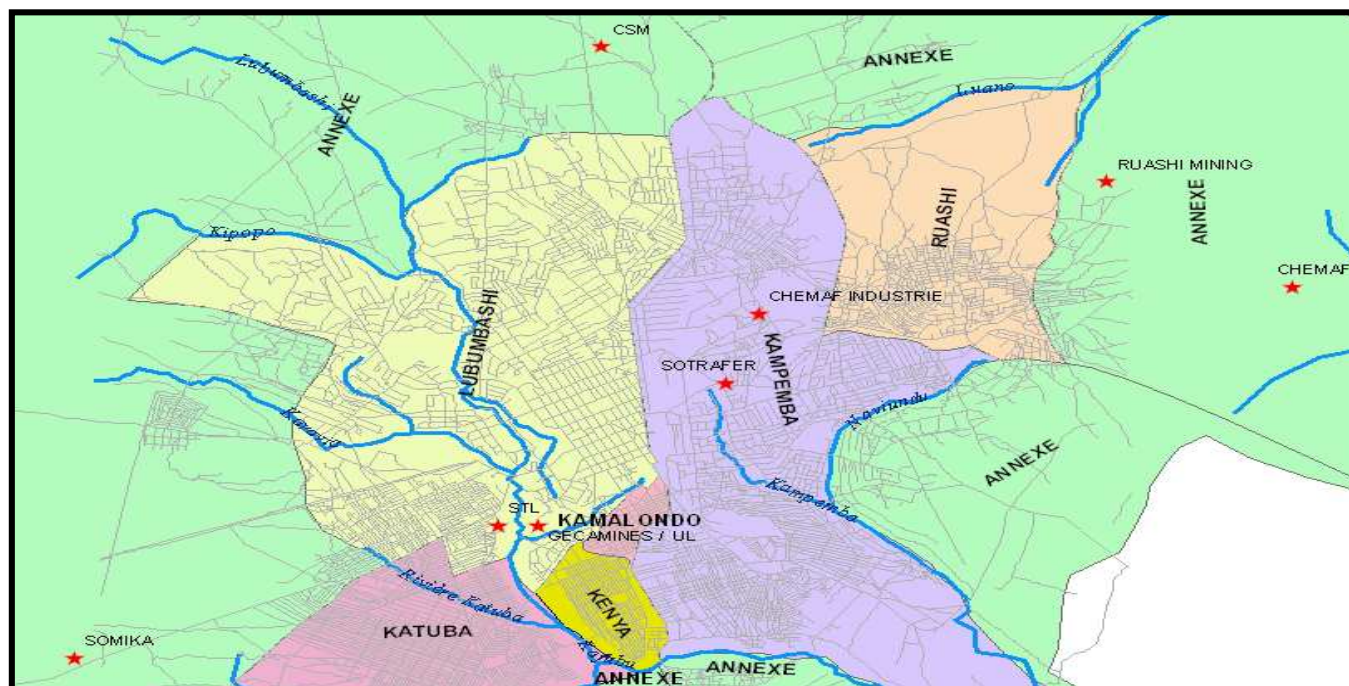


Figure 1: Carte politique et hydrographique de la ville de Lubumbashi

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. 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.

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, Formulaires 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 celle 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 [12].

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 [13].

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

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 respectivement par les usines hydrométallurgiques STL, FEL dont les effluents sont déversés dans la rivière Lubumbashi. La rivière Lubumbashi se rencontre avec celle de Naviundu (point de jonction) avant de se jeter toutes dans la rivière Kafubu au niveau du quartier Kalebuka (Tableau 1).

Tableau 1: Teneurs en métaux lourds dans les eaux de refroidissement de STL

STL/GCM	pH	Cu (ppm)			Co (ppm)			Pb (ppm)			Fe (ppm)		
		Eau	Eau	Sol Plante	Eau	Sol	Plante	Eau	Sol	Plante	Eau	Sol	Plante
Pont Tshondo Q/GCM	7.83	180	380	40	100	200	20	90	400	20	290	600	90
Sortie Eau de STL Riv. L'shi	7.78	220	450	60	120	300	30	120	790	50	300	750	100
Point sur Riv. L'shi	7.68	120	250	30	80	175	20	78	345	20	180	345	80
Jonction Riv. L'shi et Kamalo	7.58	170	300	61	85	298	40	80	300	30	200	300	70
Aval Affluent Kamalondo	7.65	200	350	35	90	200	15	100	350	25	220	445	100

EFFLUENTS LIQUIDES ET COURS D'EAU

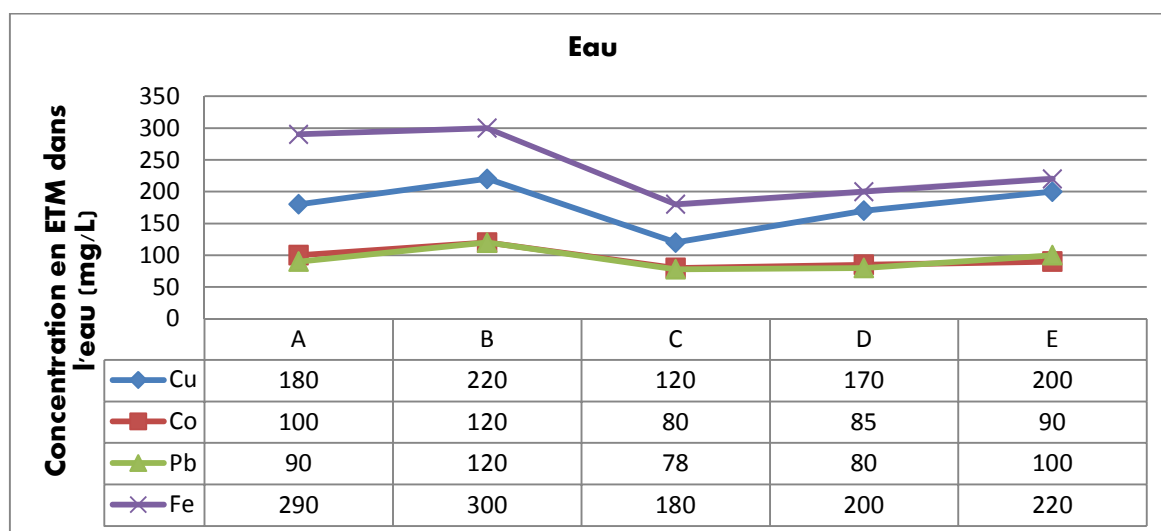
Le pH sur la rivière Lubumbashi est neutre (7,83 – 7,32), au niveau du pont Tshondo jusqu'au-delà du pont du Boulevard Katuba. Au niveau de la rivière Lubumbashi, la conductivité augmente de 0,158ms/cm en amont des usines GCM et STL à 259ms/cm en aval (jonction avec la rivière Lubumbashi).

Les zones aux abords de la rivière Lubumbashi, particulièrement entre le Boulevard Katuba et l'avenue de la digue sont des espaces de prédilection pour les cultures maraichères et souvent des techniques d'irrigation sont utilisées pendant la saison sèche. L'excès de teneur en sels et en métaux est l'un des soucis principaux avec l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sels et en métaux dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des propriétés du sol et une pollution des eaux (surface et souterraine) et une intoxication due à la consommation des légumes cultivés sur ce type de sols. Les effluents de STL induisent une augmentation de température dans la rivière Lubumbashi et la variation sur 2 à 3 Kilomètres est de l'ordre de plus ou moins 7°C (23°C – 30°C).

S'agissant des teneurs en métaux lourds dans l'eau, le sol et les plantes récoltées sur les berges de la rivière Lubumbashi, qui reçoit les effluents de la Société Terril de Lubumbashi (STL) ainsi que les eaux de refroidissement du Four Electrique de Lubumbashi situé dans les installations de la Gécamines, il ressort du tableau 1 que les résultats sont alarmants, au regard des teneurs en métaux surtout à la sorties des eaux de la Société de terril de Lubumbashi. Les Cu, Co, Pb, Fe ont des teneurs très élevées et dépassent les valeurs limites fixées par l'OMS dans l'eau, le sol et les plantes. Au point 1, au niveau du pont Tshondo, la forte teneur en Cu est justifiée par la contamination du plateau Penga Penga, qui a reçu pendant plus d'un demi-siècle, les particules métalliques contenues dans les fumées rejetées dans l'atmosphère par la cheminée du four de la GCM. Ces particules retombées sur le sol du plateau de Penga-Penga, les fumées étant riches en SO₂ se sont concentrées dans le sol en l'acidifiant et ont atteint des teneurs en métaux dépassant parfois 50 fois plus que la normale. En fonction de la topographie et surtout des activités anthropiques sur ce site, les métaux ont été transportés par ruissellement et érosion dans le lit de la rivière Lubumbashi, le long de laquelle le point 1 (pont Tshondo) est situé. Par contre, les fortes teneurs en Cu, Co, Pb, et Fe au niveau des autres points de prélèvement sont la conséquence des déversements parfois acides des effluents non traités par les entreprises susmentionnées. En résumé, la pollution est réelle, dans cette partie de la ville de Lubumbashi, elle affecte au regard des valeurs reprises dans le tableau 1, trois compartiments de l'environnement à savoir l'eau, le sol et les plantes donc par ricochet l'homme.

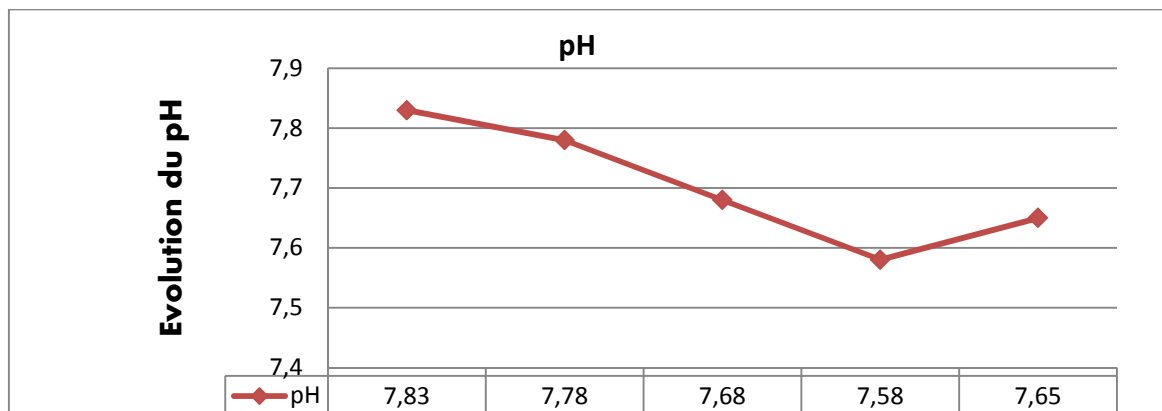
4 DISCUSSION

USINE DE LA STL/ FOUR ELECTRIQUE DE LUBUMBASHI(GECAMINES)

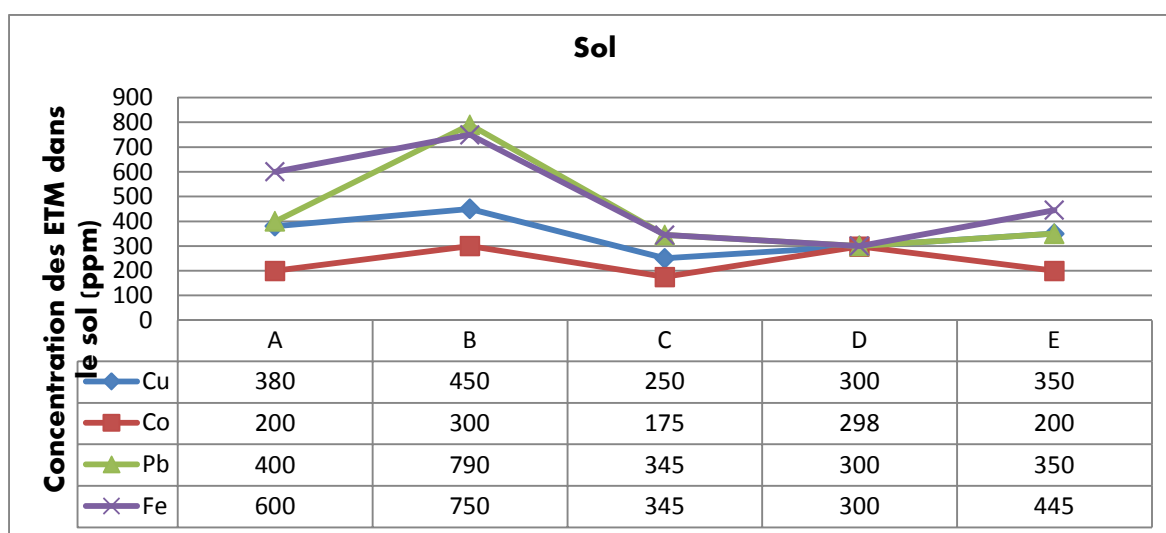


Graphique 2 : Concentration des éléments traces métalliques dans l'eau (mg/L)

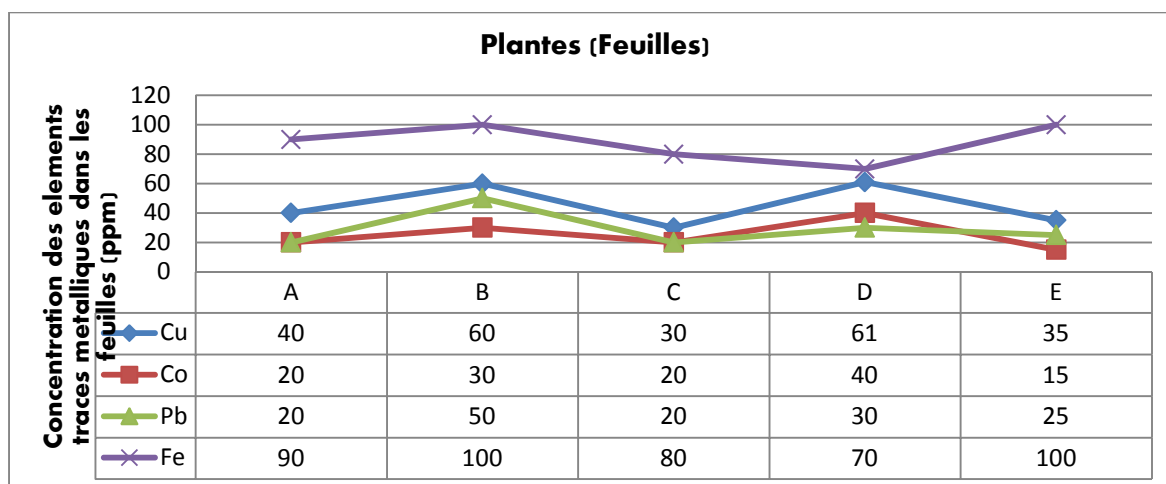
Légende : A: Pont Tshondo Quartier/GCM ; B: Sortie de l'Eau de la STL vers la Rivière Lubumbashi ; C: Point sur Riv. L'shi, D: Jonction Rivière Lubumbashi et Kamalondo ; E: Aval de l'Affluent Kamalondo.



Graphique 3 : Evolution du pH dans l'eau



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



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

Du graphique 2, ressort la concentration des ETM (Cu, Co, Pb, Fe) dans l'eau. Plusieurs études [6, 14, 15] menées sur la problématique de la pollution de l'eau en éléments traces métalliques démontrent que leurs concentrations diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source de contamination. Il en est de même dans cette étude où les fortes concentrations

dans le sol, l'eau et les feuilles des plantes s'observent au point B pour tous les éléments retenus dans cette étude. Le point B indique la sortie des eaux de l'usine STL, ce qui prouve le manque de traitement des effluents avant leurs rejets [6] au regard de ces fortes concentrations allant 10 ou parfois 20 fois plus que les teneurs limites fixées par l'organisation mondiale de la santé [25]. Une étude réalisée sur la même rivière a démontré que l'usage de l'eau de la rivière Lubumbashi pour l'arrosage constitue un supplément en ces éléments métalliques [16]. Les résultats d'analyse des métaux lourds dans l'eau de la rivière servant à l'irrigation des cultures ont révélé des teneurs en Fe, Mn, Ni, supérieures à la limite fixée par l'OMS pour l'eau d'irrigation [16]. Ces résultats soutiennent l'hypothèse d'un apport des métaux par l'eau et d'une accumulation, laquelle deviendrait importante au fil du temps (Kashimbo S. *et al*, 2015). Le pH étant un facteur important dans la détermination du comportement des métaux dans l'eau, le sol [17]. Il est en général neutre avec des valeurs comprises dans la fourchette de 7.83 à 7.58. Ces conditions de pH sont à l'origine de la solubilité de certains métaux tels que le Pb, le Cd ce qui contribue à leurs mobilités [18].

Les rejets des quantités importantes des eaux issues de différentes activités métallurgiques de la STL ainsi que du Four Electrique de Lubumbashi sont à l'origine de fortes concentrations des métaux étudiés dans le sol, et l'eau. Ces eaux usées transportent des particules, qui se déposent sous l'effet de précipitation [19] sur le sol du lit de la rivière Lubumbashi et ses berges. La production du cuivre par la Gécamines pendant près d'un demi-siècle, a contribué à l'acidification et à l'enrichissement du sol et de l'eau en métaux lourds [20] des zones situées dans le cône de pollution. Ainsi le point A, situé le long de la rivière Lubumbashi a reçu d'importantes quantités de matériaux issus de l'érosion sur le plateau [20], ce qui justifie de teneurs élevées en Cu, Co, Pb et Fe, qui dépassent largement les valeurs limites fixées par AFNOR [21,22] dans le sol. Kaya (2008) et Mukobo (2008) ont trouvé des résultats similaires autour de l'usine de la Gécamines dans le sol. Ces fortes concentrations des métaux dans le sol, ont entraîné une contamination de l'eau et des végétaux par le fait de deux phénomènes majeurs: érosion et transport des matériaux de surface [23] (Graphique 4).

Du graphique 5, ressort la concentration des métaux dans la partie aérienne des plantes récoltées et analysées au laboratoire. En tenant compte des normes [24] fixant le seuil limite de concentration des métaux dans les légumes à consommation humaine, il est clair qu'il se pose un sérieux problème de santé publique au regard des valeurs inscrites dans le tableau 1 et aux courbes du graphique 5, montrant le comportement de chacun des éléments étudiés à différents endroits de prélèvement.

5 CONCLUSION

Il ressort de cette étude qualitative que les effluents liquides rejetés par les usines hydrométallurgiques de la STL/FEL et de CHEMAF, hors de leurs concessions présentent un risque potentiel et réel pour la population de la ville de Lubumbashi et pour l'environnement. Ces résultats ont montré une pollution thermique et chimique par les unités pyro et hydro-métallurgiques. Une faible teneur en oxygène remarquée en amont des points de déversement a montré l'existence d'une pollution autre que celle créée par les entreprises du secteur concerné. Les résultats obtenus au loin des points de déversement ont mis en évidence un faible pouvoir auto épurateur des cours d'eau. La diminution des concentrations en ETM analysés au loin des points de déversement des effluents, a été remarquée sur beaucoup de cours d'eau au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la société de Terril de Lubumbashi. Cette diminution est justifiée par l'accumulation des ETM dans les sédiments, leur diffusion vers les sols des berges ou leur absorption par les végétaux aquatiques ou ceux situés sur les berges. Et les analyses sur les sols des berges et des plantes l'ont confirmé.

Deux recommandations urgentes sont à mettre en place par la société de Terril de Lubumbashi (STL):

- La mise en place d'un dispositif de recyclage des effluents liquides en évitant autant que possible leurs relâchements dans la nature (rivières) ;
- Le traitement rigoureux de ces effluents en s'assurant de la qualité de ceux-ci par une surveillance environnementale permanente avant leurs relâchements dans la nature.

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 10Fevrier 2015.

- [4] SHENGO, L., MANSOJ, M., *The Pollution of the Surface Waters and Its Impact on the Quality of the Vegetables Cultivated and Consumed in the City of Lubumbashi*, in *Environmental Health*, Vol. 8, n°2, 2008, pp. 50-67.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] OMS-Directives de qualité pour l'eau de boisson ; troisième édition ; 2004 ;
- [8] Commission Européenne, 2001. Règlement N° 466/2001 de la Commission du 08 mars 2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Journal officiel des communautés européennes du 16 mars 2001 ; 13 pages ;
- [9] Nordberg G. F., Fowler B. A., Nordberg M., Friberg L. T. *Handbook on the toxicology of metals*. Third édition; Elsevier; 2007;
- [10] Célestin Banza Lubaba Nkulu et Benoit Nemery. *Exposition humaine au cobalt et autres métaux toxiques dans les zones minières du Katanga. Le secteur minier de la République Démocratique du Congo à la croisée des chemins*. TF MIRECA, GECCO, Tervuren, Décembre 2010 ;
- [11] Petit P., Bukome E., Dibwe D.M. et Kalaba M., 2003. *Ménages de Lubumbashi entre précarité et recomposition*, l'Harmattan. p 81 à 150.
- [12] APHA, AWWA et WPC, 1999, Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington DC, USA, APHA , 20eéd., 1368 p
- [13] 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.
- [14] Kashimbo Kalala S., Mongoli Mwanga B., Kazadi Kanyama.,P, and Mpundu Mubemba., 2015.- Influence d'une usine hydrométallurgique en activité sur la qualité des eaux de la rivière Naviundu: Cas de l'usine Chemical of Africa (CHEMAF). ISSN 2351-8014 Vol. 16 No. 2 Jul. 2015, pp. 433-44715p.
- [15] Yu J.Y. et Heo B. Dilution and removal of dissolved metals from acid mine drainage along Imgok Creek, Korea. *Appl. Geochem.* 16, 1041-1053 (2001).
- [16] Kashimbo Kalala S., Mbikayi M., Ngoy Shutcha M., and Lukens L., 2015. Evaluation du risque de contamination de la chaîne Alimentaire en éléments traces métalliques de trois espèces maraichères cultivées au bord de la rivière Lubumbashi. ISSN 2028-9324 Vol. 10 No. 4 Mar. 2015, pp. 1125-1133.
- [17] Prost R., 2000, *Protocole du suivi de la qualité des sols, des eaux et des végétaux autour des installations de deuxième fusion du plomb*, GSC
- [18] Fergusson, J.E., 1990. The Heavy Elements, Chemistry. Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press, 614 pp.
- [19] Mukobo, 2007. Evaluation et cartographie des contaminations des sols autour du site de la Gécamines, DEA UNILU, 50p.
- [20] Kaya.D, 2007. *Contribution à l'étude des facteurs de distribution spatiale des teneurs en éléments traces métalliques dans les sols et les sédiments dans le quartier Gécamines*, DEA UNILU 50 p.
- [21] AFNOR, 1996. *Qualité des sols*. Recueil de normes françaises. 3ième édition. Paris-La défense. 534 p.
- [22] OMS-Directives de qualité pour l'eau de boisson ; troisième édition ; 2004 ;
- [23] Schaub, T. A. et Feix, I., 2005. *Contamination des sols. Transferts des sols vers les plantes*. EDP. Sciences/EDME.420p.
- [24] Tremel- Schaub A., Feix I., 2005. Contamination des sols : transferts des ETM des sols vers les plantes. EDP Sciences/ADEME. 156 p.
- [25] Gupta N., Khan D. K., Santra S. C., 2008. An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater-irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 115-118.