

## Evaluation du risque de contamination de la chaîne Alimentaire en éléments traces métalliques de trois espèces maraichères cultivées au bord de la rivière Lubumbashi (KATANGA/RD CONGO)

[ Risk assessment of the chain Food of contamination in metal trace elements of three garden crops species cultivated along the Lubumbashi's River (Katanga / DR. CONGO) ]

S. Kashimbo Kalala<sup>1</sup>, E. Mbikayi<sup>2</sup>, M. Ngoy Shutcha<sup>1</sup>, and L. Lukens<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, BP 1825, Lubumbashi, RD. Congo

<sup>2</sup>Departement de Chimie, Université de Lubumbashi (2004), Faculté des Sciences, technicien de Laboratoire, BP 1825, RD. Congo

Copyright © 2015 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 Katanga, the diversity of metallurgical processes has led to contamination of the environment by trace metals (TM). An essay was set for the purpose of determining the level of TM contents in the water of the river Lubumbashi, the ground on which families make crops and plants produced on it to assess the risk of contamination of the food chain. Soil samples were collected at the study site, sieved, homogenized and made of a composite left in the pots. The 2x3 factorial designs with 6 repetitions, 36 treatments were installed. The "soil" factor 2 variants: **T<sub>0</sub>**, **T<sub>1</sub>**, and "plant species" factor has 3 levels (cabbage, spinach, and amaranth).

The results showed very high levels, Cu [1200], Co [1600], Mn [1200] ppm in soils of the Lubumbashi's river, they are superior to the standard NFU 44-041 in force France. These high levels of TM ground **T<sub>1</sub>** have led a deleterious effect on plant growth involving their dead. The irrigation water provided an additional TM soil of about **0.00063 mg/L Cu, 0.000225 Co, Fe 796.5, 504 Mn, Cd and 0.513 0 36 Pb**, which is important inputs.

Contamination of the food chain through the consumption of vegetables grown on this soil is evident and real. The use of effective technologies bioremediation of contaminated soils is important to reduce the risk of food poisoning in humans.

**KEYWORDS:** Mining Waste, Effluents, River Lubumbashi, ETM, Contamination, Noxious effect.

**RESUME:** Au Katanga, la diversité des procédés métallurgiques a entraîné une contamination de l'environnement en éléments traces métalliques(ETM). Un essai a été installé dans le but de déterminer le niveau des teneurs en ETM dans l'eau de la rivière Lubumbashi, le sol sur lequel les familles font des cultures ainsi que des plantes produites sur celui-ci afin d'évaluer le risque de contamination de la chaîne alimentaire.

Des échantillons de sols ont été récoltés sur le site d'étude, tamisés, homogénéisés et constitués en un composite reparti dans les pots. Le dispositif factoriel **2x3** dont **6** répétitions, 36 traitements a été installé. Le facteur "sol" ayant 2 variantes: **T<sub>0</sub>**, **T<sub>1</sub>**, et le facteur "espèce végétale" a 3 niveaux (chou, épinard, amarante).

Les résultats obtenus ont montré des teneurs très élevées, en **Cu (1200), Co (1600), Mn (1200) ppm** pour les sols du bord de la rivière Lubumbashi, celles-ci sont supérieures à la norme **NFU 44-041** en vigueur en France. Ces fortes teneurs en ETM du sol **T<sub>1</sub>** ont entraîné un effet délétère sur la croissance des plantes impliquant leurs morts. L'eau d'arrosage a apporté un supplément d'ETM aux sols de l'ordre de **0,00063 mg/L de Cu, 0,000225 de Co, 796,5 de Fe, 504 de Mn, 0,513 de Cd et 0,36 de Pb**, ce qui constitue des apports importants. La contamination de la chaîne alimentaire par la consommation des légumes

cultivés sur ce sol est évidente et réelle. Le recours aux techniques efficaces de bioremédiation des sols contaminés est important pour réduire les risques d'intoxication alimentaire chez l'homme.

**MOTS-CLEFS:** Déchets miniers, Effluents, Rivière Lubumbashi, ETM, Contamination, Effet délétère

## **1 INTRODUCTION**

L'exposition humaine aux ETM constitue potentiellement un danger pour la population de la ville de Lubumbashi où l'exploitation minière s'est intensifiée dans toutes les parties de la province du Katanga [1]. Le danger avec ces ETM, ce qu'ils sont toxiques même à des faibles concentrations. Ils sont d'autant plus dangereux qu'ils sont non biodégradables et ne se dégradent ni lors de la transformation des produits alimentaires, ni dans le corps, quand bien même il existe quelques moyens d'élimination [2]. Ils contaminent de plusieurs manières les aliments notamment par leurs absorptions à partir du sol (via les racines) par les plantes cultivées, ou suite de leurs présences sous forme des précipitations des poussières sur les végétaux (via les feuilles). Ainsi par le biais des animaux contaminés ou de l'eau souillée, ils sont absorbés dans l'organisme humain [3]. 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 [4].

L'on constate de nos jours, la présence de déchets de traitement des minerais (stériles) entreposés au sol sous forme des montagnes des remblais dans la concession de l'usine de la Gécamines, sans aucune disposition de protection de sol contre le ruissellement, le lessivage et l'érosion pendant la saison des pluies. Ces trois phénomènes contribuent au transfert des ETM contenus dans les déchets vers les autres compartiments à savoir le Sol, l'Eau, et l'air [5]. Ces ETM sont déversés dans la rivière Lubumbashi et par la même occasion contaminent l'eau, le sol, les sédiments, la flore ainsi que la faune aquatiques [6]. Pendant la saison sèche, un autre phénomène se produit suite à la présence des montagnes des remblais, ce sont les envols des poussières riches en ces éléments et les émissions de SO<sub>2</sub> venant de la cheminée du four de l'usine d'extraction et de transformation du Cuivre[7] suivant la direction des vents dominants [8]. Les résultats d'une étude ont démontré les effets des poussières riches en ETM ainsi que les émissions de SO<sub>2</sub> sur les êtres vivants situés à proximité des usines de transformation et de production des métaux à Lubumbashi (Gécamines et Chemaf) [9]. Ces poussières sont en outre responsables des diverses maladies respiratoires et dermatologiques recensées sur la population vivant à proximité et autour des usines Gécamines et Chemaf comme dit ci-haut dans [9]. Une autre étude menée à Kolwezi a démontré que les effluents liquides non traités constituaient une source importante de contamination en éléments toxiques pour les environnements aquatiques incluant l'eau et le sédiment [10].

L'objectif de l'étude est de déterminer l'incidence des activités passées en rapport avec le traitement et la production du Cuivre de l'usine Gécamines sur les différents compartiments de l'environnement. D'une part, sur le diagnostic de l'état actuel des eaux de surface en occurrence les 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 contamination en éléments traces métalliques (ETM) toxiques dans les eaux de surface, les sédiments et les plantes cultivées (Matières sèches) en expérimentation sur les sols récoltés sur le site d'étude.

## **2 MATÉRIELS ET MÉTHODE**

### **2.1 SITE ETUDIE (BIEF DE LA RIVIERE LUBUMBASHI)**

Cette étude a été menée en République Démocratique du Congo, dans la province du Katanga réputée comme celle où les activités d'exploitation minière évoluent à une vitesse exponentielle et affectent pratiquement 80% de son territoire. Le site étudié est localisé le long du boulevard Katuba, au bord de la rivière Lubumbashi, dans la commune de Katuba, ville de Lubumbashi, province du Katanga. Le site est localisé aux coordonnées géographiques suivantes: 11°41'49.3'' de Latitude Sud, et 27°28'19.9'' de Longitude Est, et à 1193 mètres d'altitude. Il est en outre situé en aval de la fonderie de l'usine de la Gécamines (UL/GCM) de laquelle il reçoit les eaux usées issues de traitement et d'enrichissement des minerais par celle-ci. L'on observe le long et au bord de la rivière Lubumbashi, la présence de jardins familiaux où l'on installe différentes cultures, lesquelles sont arrosées en saison sèche avec de l'eau de cette dernière. L'image Google Earth ci-dessous indique le site

d'étude ainsi que la source probable de contamination de deux compartiments de l'écosystème qui font l'objet d'étude dans cette recherche: Eau et Sol.

L'usine de la Gécamines Lubumbashi, située en amont de la rivière Lubumbashi.



Fig. 1. Vue en photo du site d'étude

Source : Image Google Earth

## 2.2 MATÉRIEL

### 2.2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

3 espèces végétales ont été testées, il s'agit de l'amarante, l'épinard bette et le chou de chine. Pour l'amarante (*Amaranthus hybridus*), la variété *Gombe* a été utilisée, elle a un cycle végétatif de 3,5 semaines, un degré de germination de 100% et un degré de pureté de 100%. La variété "épinard viking" a été utilisée pour la culture de l'épinard (*Beta vulgaris*). Les plantules transplantées ont été achetées dans la vallée Tingi Tingi sur la route Kasapa, son cycle végétatif est de 60 jours. Enfin, pour le chou de chine (*Brassica chinensis*), la variété utilisée est *Michihilli*. Les plantules transplantées sont venues aussi de la vallée de Tingi Tingi sur la route Kasapa. Son cycle végétatif est de 60 jours avec un degré de germination de 100% et un degré de pureté de 100% [11].

### 2.2.2 SOL

Les sols du bord de la rivière Lubumbashi ( $T_1$ ) et celui du champ expérimental de la faculté des Sciences Agronomiques ( $T_0$ ) ont été utilisés comme substrat pour les trois cultures testées dans cette expérimentation. Le sol du bord de la rivière Lubumbashi est de texture sableuse tandis que celui du champ expérimental, de couleur brun-jaune est de texture argilo-sableuse [12].

### 2.2.3 EAU

L'eau de la rivière Lubumbashi a servi à l'arrosage des cultures sur les deux types de sols. La rivière Lubumbashi est située en aval de la fonderie de l'usine de la Gécamines Lubumbashi de laquelle elle reçoit ses eaux usées ainsi que celles des pluies

chargées en particules de diverses natures. L'usage de l'eau de la rivière Lubumbashi pour arrosage a été opté afin de permettre à l'étude de rester dans le même contexte de culture que celui des habitants vivant le long de celle-ci afin d'évaluer effectivement la situation de la contamination de la chaîne alimentaire en ETM qui prévaut dans la ville de Lubumbashi.

### **2.3 TRAITEMENT ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL**

L'expérimentation a été conduite en pots selon un dispositif factoriel **2x3** avec **6** répétitions pour un total de **36** traitements. Le premier facteur a été constitué par le facteur "sol" avec 2 variantes: le sol du champ expérimental de la faculté des Sciences Agronomiques et celui du bord de la rivière Lubumbashi. Le second facteur a été constitué par l'espèce végétale cultivée avec 3 niveaux constitués par chacune des espèces testées (chou, épinard, amarante).

### **2.4 OBSERVATIONS**

Les mesures ont été prises sur toutes les plantes de différents blocs, aux quatorzièmes, aux trente et nièmes et aux quarante quatrièmes jours, c'est-à-dire 2 semaines après le repiquage et le semis, puis 17 jours après l'apport de la dose d'urée, enfin à 45 jours soit à la fin de l'expérimentation. Il convient de noter que seule la moyenne a été retenue pour l'analyse statistique. Les paramètres végétatifs faisant l'objet des mesures sont :

- *La hauteur de la plante* a été prise à l'aide d'une latte de 30 cm, du collet jusqu'au bout des feuilles rabattues vers le haut sans toutefois arracher les plantes ;
- *Le nombre des feuilles* : Pour compter le nombre des feuilles, l'on considère les deux feuilles cotylédonaire et une foliole, seulement les vraies feuilles ;
- *La surface foliaire* (cm<sup>2</sup>) Calculé à l'aide de la formule suivante: **Lx1 x 0,83**

Avec **L** : longueur des feuilles

**1** : largeur des feuilles

**0,83** : facteur correctif ;

- *Le poids à la récolte* : La pesée s'est effectuée à l'aide de la balance pour chaque plante de chacun des 36 pots.

### **2.5 CONDUITE DE L'EXPÉRIMENTATION**

L'expérimentation a commencé par le prélèvement des échantillons de sols au bord de la rivière Lubumbashi et au champ expérimental de la faculté des Sciences Agronomiques. Ces échantillons de sols ont été tamisés avec un tamis de 2 mm de maille. Une quantité de sol a été prélevée, mis en sachet et acheminée au laboratoire pour l'analyse des métaux lourds bien avant le démarrage de l'expérimentation. Les échantillons d'eau ont été prélevés sur le site, dans des bouteilles plastiques et expédiés aussi au laboratoire pour analyse des métaux lourds. Enfin, 5 kg de sol ont été mis en sachets, troués à leurs bases pour faciliter l'infiltration de l'eau afin de permettre aux plantules de se développer normalement.

Avant la transplantation, les 36 sachets contenant le sol ont été imbibés d'eau, ceci pour préparer le sol à recevoir la culture, puis vient le semis pour la culture d'amarante et la transplantation pour les 2 autres cultures (chou et épinard). Après transplantation, les plantules ont accusé une bonne reprise et un bon démarrage. Des arrosages quotidiens d'une fréquence de deux fois par jour ont été effectués avec l'eau de la rivière Lubumbashi à raison de 100 ml d'eau par pot et par jour. Les 36 sachets contenant chacun 5Kg de sol ont été fertilisés à raison de 2 grammes d'urée par pot et par plant au quatorzième jour de l'expérimentation.

### **2.6 ANALYSE DES MÉTAUX LOURDS DANS LE SOL, L'EAU ET LA MATIÈRE SÈCHE**

La teneur en métaux lourds dans le sol, l'eau comme la matière sèche a été déterminée par la méthode triacide au Spectrophotomètre d'absorption atomique au moyen d'une extraction: Acide Chlorhydrique (**HCl**) + Acide Nitrique (**HNO<sub>3</sub>**) + Acide Perchlorique (**HClO<sub>4</sub>**) à 4cc au Laboratoire des Sciences de l'Université (UNILU), à la Société Minière du Katanga (SOMIKA) et à la Faculté universitaire des sciences Agronomiques de Gembloux.

## 2.7 TRAITEMENT DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

L'Analyse de la variance (ANOVA) a été faite afin de ressortir les effets du facteur sol sur le facteur espèces végétales cultivées (Amarante, Chou, Epinard) en fonction du traitement appliqué, cela par l'observation des paramètres végétatifs. Il s'agit d'une ANOVA à un facteur (Sol) pour chaque culture étudiée.

Pour les teneurs en métaux lourds dans le sol, l'eau et la matière sèche, une comparaison des moyennes entre elles et par rapport à des valeurs limites internationales a été faite vu que la R.D.Congo ne dispose pas encore de son propre système de normalisation.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 RESULTATS D'ANALYSE DE LABORATOIRE D'ECHANTILLONS DE SOL ET DE L'EAU

**Tableau 1: Teneur en métaux lourds (ppm) dans les deux types de sols**

	pH	Cu	Co	Mn	Fe
Sol du champ experimental <sup>1</sup>	5.6	<b>168</b>	22	-	<b>59000</b>
Sol bord Rivière Lubumbashi <sup>2</sup>	6.63	<b>1200</b>	<b>1600</b>	1200	<b>28100</b>
Valeurs Limites (Norme Française)	6.5-8.5	100	50- 140	-	-

<sup>1</sup>: Analyse effectuée à la Faculté universitaire des sciences Agronomiques de Gembloux ;

<sup>2</sup>: Analyse effectuée à SOMIKA (Société Minière du Katanga).

Le tableau 1 illustre les résultats d'analyse de sol au laboratoire par rapport au pH et à la concentration des métaux lourds dans le sol. Les valeurs indiquent un pH acide dans les deux types de sols avec une tendance plus acide dans le sol du champ expérimental. Le cuivre et le cobalt ont des teneurs très élevées dans le sol du bord de la rivière Lubumbashi, concentration largement supérieure avec des valeurs 10 fois plus que la limite **NFU 44- 041** en vigueur en France [13]. Il en est de même du manganèse et du fer qui présentent des teneurs élevées dans le sol. Le Cu dépasse légèrement la valeur limite de 100ppm dans le sol de la faculté de Sciences Agronomiques, tandis que le Co reste dans la limite acceptable de concentration dans un sol agricole. Le Mn n'a pas été analysé, par contre le Fe présente une teneur très élevée qui dépasse largement la limite fixée dans le sol.

**Tableau 2 : Teneurs en métaux lourds dans l'eau en mg/L**

Elements	Eau Rivière Lubumbashi	Valeurs Limites OMS <sup>3</sup>
Cu <sup>1</sup>	0,0014	<b>2</b>
Co <sup>1</sup>	0,00005	<b>0,05</b>
Fe <sup>2</sup>	<b>177</b>	<b>0,1</b>
Mn <sup>2</sup>	<b>112</b>	<b>0,4</b>
Cd <sup>1</sup>	<b>0,011</b>	<b>0,003</b>
Ni <sup>2</sup>	<b>96</b>	<b>0,07</b>
Pb <sup>2</sup>	0,008	<b>0,01</b>

<sup>1</sup>: Analyse effectuée au laboratoire de la faculté des Sciences (UNILU) ;

<sup>2</sup>: Analyse effectuée au laboratoire de la Société Minière du Katanga (SOMIKA) ;

<sup>3</sup>: Valeurs limites pour les eaux de traitement utilisées en irrigation continue.

Le tableau 2 révèle la présence des métaux lourds dans l'eau de la rivière Lubumbashi, qui a servi à l'arrosage des cultures pendant la période de l'expérimentation. Les Cu, Co, ainsi que le Pb présentent des teneurs en dessous de la valeur limite fixée par l'OMS en fonction de chaque élément par contre les Fe, Ni, Cd et Mn présentent des teneurs supérieures, à la limite de l'OMS pour les eaux d'irrigation [14].

Tableau 3 : Quantités d'éléments apportés au sol par l'eau d'irrigation (100 ml)

Eléments	Quantités/Jour (mg)	Quantités/Cycle (mg)
Cu	0,000014	0,00063
Co	0,000005	0,000225
Fe	<b>17,7</b>	<b>796,5</b>
Mn	<b>11,2</b>	<b>504</b>
Cd	<b>0,0114</b>	<b>0,513</b>
Ni	9,6	432
Pb	0,008	0,36

Le tableau 3 reprend les quantités totales des métaux apportés journalièrement par l'arrosage de chaque pot avec 100 ml d'eau d'irrigation durant tout le cycle végétatif des cultures. L'arrosage a contribué à apporter un supplément des métaux lourds au sol comme on peut le voir sur le tableau ci-dessus.

### 3.2 TRAITEMENT DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Les moyennes de résultats, en rapport avec les paramètres végétatifs de trois espèces cultivées dans cette expérimentation sont représentées dans les tableaux 4, 5, 6 aux trois dates de prélèvement à savoir le 14<sup>ième</sup>, 31<sup>ième</sup> ainsi que le 45<sup>ième</sup> jour.

Tableau 4 : Moyennes des tailles des plantes aux trois dates de prélèvement

Sols	Cultures	14jours	31jours	44jours
Sol champ Expérimental (T <sub>0</sub> )	Chou	8,5	16	19,5
	Epinard	12,5	15	20,4
	Amarante	12,0	18	34,3
Sol Bord rivière Lubumbashi (T <sub>1</sub> )	Chou	5,5	-	-
	Epinard	6,5	6,0	3,5
	Amarante	-	-	-
Effet Sol		*	*	*

- : Dégénérescence des plantes

\* : Effet significatif du sol du bord de la rivière Lubumbashi.

L'analyse de la variance en rapport avec la taille des plantes, le nombre des feuilles, la surface foliaire (Tableaux 4, 5, et 6), prélevés aux trois dates sur le sol témoin (T<sub>0</sub>) ne montre pas une différence significative dans l'évolution de la taille, du nombre des feuilles et de la surface foliaire chez les trois espèces cultivées comparées entre elles. Au regard de la valeur de  $P = 0.5594 > 0.05$ . Ce qui signifie  $T_{0Ch} = T_{0Ep} = T_{0Am}$ ,  $P = 0.5665 > 0.05$  que l'évolution de la taille chez le chou, l'épinard et l'amarante n'a pas montré de différence sur le sol témoin.

Pour le nombre des feuilles,  $P = 0.8796 > 0.05$ . En comparant le  $T_{0Ch} = T_{0Ep}$ ,  $P = 0.9468 > 0.05$ ,  $T_{0Ch} = T_{0Am}$ ,  $P = 0.9804 > 0.05$ , on conclut qu'il n'y a pas de différence significative dans l'apparition des feuilles chez le chou, l'épinard et l'amarante cultivés sur le sol témoin. Le sol témoin n'a pas exercé un effet inverse sur une de trois cultures en rapport avec l'apparition des feuilles.

Pour la surface foliaire,  $P = 0.314 > 0.05$ . En comparant le  $T_{0Ch} = T_{0Ep}$ ,  $P = 0.9093 > 0.05$ ,  $T_{0Ch} = T_{0Am}$ ,  $P = 0.3087 > 0.05$ , on conclut qu'il n'y a pas de différence significative dans l'augmentation de la surface foliaire chez le chou, l'épinard et l'amarante cultivés sur le sol témoin. Ce paramètre a évolué uniformément en fonction de l'espèce testée dans l'expérimentation.

L'analyse de la variance en rapport avec la taille de l'épinard faite sur les deux types de sols permet de ressortir l'influence de T<sub>0</sub> et T<sub>1</sub> sur l'évolution de la taille des espèces cultivées. Le résultat de l'ANOVA montre que T<sub>0</sub> est différent de T<sub>1</sub> au regard de  $P = 0.01346 < 0.05$ , ce qui signifie que l'évolution de la taille des plantes sur le sol du champ expérimental est différente de celle des plantes sur celui du bord de la rivière Lubumbashi.  $P = T_{0Ep} \neq T_{1Ep}$ , avec  $P = 0.014346 < 0.05$ , donc le facteur T<sub>1</sub> a un effet significatif négatif sur l'évolution de la taille des espèces testées en expérimentation. Ce qui justifie la

dégénérescence des plantes de chou et l'absence de levée des graines d'amarante sur ce sol du bord de la rivière Lubumbashi.

**Tableau 5: Moyennes du nombre des feuilles des plantes aux trois dates de prélèvement**

Sols	Cultures	14jours	31jours	44jours
Sol champ Expérimental ( $T_0$ )	Chou	4	11	10
	Epinard	6,5	7	9
	Amarante	4,5	10	12
Sol Bord rivière Lubumbashi ( $T_1$ )	Chou	2,5	-	-
	Epinard	4	3	2
	Amarante	-	-	-
Effet Sol		*	*	*

- : Dégénérescence des plantes

\* : Effet significatif du sol du bord de la rivière Lubumbashi

En comparant le nombre des feuilles sur les plantes d'épinard cultivées sur les deux types de sols, l'analyse de la variance montre que  $T_0$  est différent de  $T_1$  au regard de la valeur de  $P= 0.009468 < 0.05$ ,  $T_{0Ep} \neq T_{1Ep}$ , avec  $P= 0.009468 < 0.05$ , donc le facteur  $T_1$  a un effet significatif négatif sur l'apparition du nombre des feuilles de l'espèce testée en expérimentation. Ce qui justifie la réduction du nombre des feuilles de l'épinard qui est passé d'une moyenne de 3 aux trente et unièmes jours à 2 aux quarante quatrièmes jours sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi.

**Tableau 6: Moyennes de la surface foliaire sur les plantes aux trois dates de prélèvement**

Sols	Cultures	14jours	31jours	44jours
Sol champ Expérimental ( $T_0$ )	Chou	65,4	132,8	134,4
	Epinard	56,02	112,05	124,5
	Amarante	24,4	48,9	104,5
Sol Bord rivière Lubumbashi ( $T_1$ )	Chou	2,3	-	-
	Epinard	2,4	4,93	2,93
	Amarante	-	-	-
Effet Sol		*	*	*

- : Dégénérescence des plantes

\* : Effet significatif du sol du bord de la rivière Lubumbashi

En comparant la surface foliaire des plantes d'épinard cultivées sur les deux types de sols (**Tableau 6**), l'analyse de la variance montre que  $T_0$  est différent de  $T_1$  au regard de la valeur de  $P= 0.01112 < 0.05$ ,  $T_{0Ep} \neq T_{1Ep}$ , avec  $P= 0.01127 < 0.05$ , donc le facteur  $T_1$  a un effet significatif négatif sur l'augmentation de la surface foliaire de l'épinard testé en expérimentation. Ce qui justifie la réduction de la surface foliaire des feuilles de l'épinard qui est passée d'une moyenne de 4,93 aux trente et unièmes jours à 2,93 cm<sup>2</sup> aux quarante quatrièmes jours.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 LES PARAMÈTRES VÉGÉTATIFS

D'une manière générale, les paramètres végétatifs ont montré une variation nette entre les deux types de sols étudiés (Tableaux 4, 5 et 6). La taille des plantes, le nombre des feuilles ainsi que la surface foliaire ont montré une évolution similaire de la croissance du Chou de chine, de l'Epinard et de l'Amarante sur le sol du champ expérimental (sol témoin) que sur celui du bord de la rivière Lubumbashi. L'analyse de la variance a montré une différence significative du facteur sol sur la taille, le nombre des feuilles et la surface foliaire lorsqu'on compare l'évolution des paramètres végétatifs de l'épinard aux trois dates de prélèvement, sur les deux types du sol. Il est donc à constater que dans l'ensemble, les données obtenues sur les paramètres végétatifs de ces trois espèces cultivées montrent que le sol du bord de la rivière Lubumbashi a exercé un effet délétère sur la croissance des plantes [15]. Cet effet délétère s'est caractérisé par un retard de levée des graines d'amarante ainsi que par la mort de l'amarante 4 jours après levée, de chou, 8 jours après reprise et de l'épinard 32 jours

après reprise. Il s'est donc dégagé que des trois cultures testées l'épinard serait plus tolérant parce qu'ayant résisté plus longtemps au cours de l'expérimentation [16].

#### **4.2 TENEUR EN METAUX LOURDS DANS LE SOL ET L'EAU**

Les teneurs en cuivre «normales» de beaucoup de pays du monde et selon le type de sol sont rarement supérieures à 200 ppm, avec des moyennes comprises entre 6 et 80 ppm [17]. Les résultats sur la teneur en métaux lourds dans les sols ont révélé des teneurs en **Cu**, **Co**, et **Mn** très élevées, respectivement **1200, 1600, 1200 ppm** sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi comparativement au sol du jardin expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'UNILU, ou seul le **Fe** montre une tendance inverse. Le Cu a été retrouvé à des teneurs supérieures à la limite selon la norme **NFU 44-041** en vigueur en France tandis que le Co dépasse cette norme uniquement dans le sol du bord de la rivière Lubumbashi. Pour le Cu, la teneur élevée par rapport à la limite dans les deux types de sols 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 [18].

Les fortes concentrations en ces éléments dans le sol du bord de la rivière Lubumbashi seraient la cause de l'effet délétère des trois espèces étudiées, sur les deux types de sols. Cet effet délétère s'est manifesté par la mort des plantules d'amarante quelques jours après levée sur ce sol pendant que sur le sol témoin, l'espèce a survécu jusqu'au terme de l'expérimentation. Il se pourrait donc que les fractions biodisponibles de ces éléments dans le sol du bord de la rivière Lubumbashi soient assez importantes pour engendrer un effet létal sur les plantes cultivées et exigeant ainsi un apport préalable d'amendement (chaux, matière organique) [19] pour assurer des productions végétales.

La présence des fortes concentrations en métaux analysés dans le sol du bord de la rivière serait le fait du phénomène des crues et étiages de la rivière qui reçoit les effluents des eaux de traitement de l'usine GCM. 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, le vent soufflant en sens inverse des vents dominants en saison des pluies comme dit dans [8].

L'usage de l'eau de la rivière Lubumbashi pour l'arrosage constitue un supplément en ces éléments métalliques. Les résultats de l'analyse des métaux lourds dans l'eau de la rivière servant pour l'irrigation des cultures (**Tableau 3**) ont révélé des teneurs en Fe, Mn, Ni, supérieures à la limite fixée par l'OMS pour l'eau d'irrigation, les Cu, Co, Cd, Pb ont été trouvés en quantité inférieure. Ces résultats soutiennent l'hypothèse d'un apport des métaux par l'eau et d'une accumulation, laquelle deviendrait importante au fil du temps. En effet, pour une culture de 45 jours irriguée journalièrement avec 100 ml d'eau de la rivière, les apports sont de l'ordre de (**mg/L**) **0,00063 de Cu, 0,000225 de Co, 796,5 de Fe, 504 de Mn, 0,513 de Cd et 0,36 de Pb**, ce qui constitue des apports importants.

## **5 CONCLUSION**

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer le risque de contamination de la chaîne alimentaire en éléments traces métalliques par la consommation des légumes cultivés au bord de la rivière Lubumbashi, située en aval de l'usine de la Gécamines, de laquelle elle reçoit les effluents de traitement métallurgique.

Ainsi, le chou, l'épinard, l'amarante ont été cultivés en pots sur deux sols: le sol du champ expérimental de la faculté des sciences agronomiques et celui du bord de la rivière Lubumbashi.

Les résultats obtenus ont montré que le sol du champ expérimental a eu un effet significatif positif sur la croissance des plantes au regard des paramètres de croissance pris en compte dans cette expérimentation. Les plantes cultivées sur celui-ci ont donné un bon rendement malgré l'absorption des métaux lourds tandis que celles cultivées sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi ont dépéri avant la fin de l'expérimentation. La mort des plantes sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi serait due à la fraction biodisponibles contenue dans celui-ci.

La teneur en éléments traces métalliques ont été supérieures pour le Cu, le Co, le Fe, le Mn dans le sol du bord de la rivière Lubumbashi tandis que seul le Cu a eu une teneur élevée par rapport à la limite **NFU 44-041** en vigueur en France sur le sol du champ expérimental de la faculté des sciences agronomiques. Les fortes teneurs en éléments traces métalliques trouvées dans les deux types de sols et dans l'eau de la rivière Lubumbashi laisse présager un risque d'intoxication évident et

réel de la chaîne alimentaire (Plantes- Hommes- Animaux) lorsque la population paysanne installerait ses cultures vivrières afin de subvenir tant soit peu à ses besoins primaires.

La taille des plantes, le nombre des feuilles ainsi que la surface foliaire ont montré une évolution similaire de la croissance du Chou de chine, de l'Épinard et de l'Amarante sur le sol du champ expérimental (sol témoin) que sur celui du bord de la rivière Lubumbashi. L'analyse de la variance a montré une différence significative du facteur sol sur la taille, le nombre des feuilles et la surface foliaire lorsqu'on compare l'évolution des paramètres végétatifs de l'épinard aux trois dates de prélèvement, sur les deux types du sol. Il est donc à constater que dans l'ensemble, les données obtenues sur les paramètres végétatifs de ces trois espèces cultivées montrent que le sol du bord de la rivière Lubumbashi a exercé un effet délétère sur la croissance des plantes. Cet effet délétère s'est caractérisé par un retard de levée des graines d'amarante ainsi que par la mort de l'amarante 4 jours après levée, de chou, 8 jours après reprise et de l'épinard 32 jours après reprise.

## REFERENCES

- [1] **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.
- [2] **Sanders J., 1992.** Santé publique et épidémiologie, 5<sup>ième</sup> édition, Paris, France. 250p.
- [3] **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.
- [4] **Mees, F., Maselehdani, M.N.N., De Putter, T., D'Hollander, C., Van Biezen, E., Mujinya, B.B., Potdevin, J.L., Van Ranst, E., 2013.** Concentration and forms of heavy metals around two ore processing sites in Katanga, Democratic Republic of Congo. J. Afr. Earth Sci. 77, 22–50.
- [5] **Concas, A., Ardau, 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
- [6] **Katemo M.B., 2009.** Évaluation de la contamination de la chaîne trophique par les métaux lourds dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/ RD Congo). Mémoire de DEA, Université de Lubumbashi. 50p.
- [7] **Mbenza M., Aloni K., Muteb M., 1989.** Quelques considérations sur la pollution de l'air à Lubumbashi (Shaba, Zaire). Géo-eco-trop. 13 (1-4) : 113-125.
- [8] **Mukobo, 2007.** Evaluation et cartographie des contaminations des sols autour du site de la Gécamines, DEA UNILU, 50p.
- [9] **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.
- [10] **Atibu, K.E., Devarajan, N., Thevenon, F., Mwanamoki, P.M., Tshibanda, J.B., Mpiana, T.P., Prabakar, K., Mubedi, I.J., Wildj, 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.
- [11] **Mobambo.P., 2004.** Cultures maraîchères, cours inédit, Faculté des Sciences Agronomiques de l'UNILU, Lubumbashi:70p.
- [12] **Ngongo M.L., Van Ranst E., Baert G., Kasongo E.L., Verdoodt 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.
- [13] **AFNOR, 1996.** Qualité des sols. Recueil de normes françaises. 3<sup>ième</sup> édition. Paris-La défense. 534 p.
- [14] **W.H.O. 1998.** Guideline for drinking water quality, 2nd ed., vol. 2, health criteria and other supporting information. World Health Organisation, Geneva.
- [15] **Mpundu M.M., 2010.** Contamination des sols en Éléments Traces Métalliques à Lubumbashi (Katanga/RD Congo). Évaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix de solutions de rémédiation ». Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, 432p.
- [16] **Tremel- Schaub A., Feix I., 2005.** Contamination des sols : transferts des ETM des sols vers les plantes. EDP Sciences/ADEME. 156 p.
- [17] **Baize D., 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA Editions, Paris, 408 p.
- [18] **Kabata-Pendias A., Pendias H ; 2001.** Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Fla, 413p.
- [19] **Bourrelier P.H., Berthelin J., 1998.** Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion. Rapport n°42 Académie des sciences. 439 p.