

Intoxication alimentaire aux éléments traces métalliques (ETM) de trois espèces maraichères cultivées sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi (Lubumbashi-KATANGA / R.D. CONGO)

[Food poisoning with metal Elements Traces (MET) of three market garden species Cultivated on the Soil of the river bank Lubumbashi (Lubumbashi-KATANGA / R.D. CONGO)]

S. Kashimbo Kalala¹, L. Lukens¹, E. Mbikayi², P. Kazadi Kanyama³, and M. Ngoy Shutcha¹

¹Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, BP 1825, R.D. Congo

²Département de Chimie, Faculté des Sciences, technicien de Laboratoire, Université de Lubumbashi (2004), BP 1825, R.D. Congo

³Département de Biochimie, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Lubumbashi (2012), B.P 1825, R.D. 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: The main objective of this study is to determine the levels of copper (Cu), cobalt (Co) and Cadmium (Cd) translocated into the leaves of Amarante, cabbage and spinach grown on the soil of the river Lubumbashi, rich in metals trace elements (MTE). Mining (industrial and artisanal), movement of vehicles, increased metallurgical based activities, domestic and agricultural activities in the city of Lubumbashi remain the causes that contribute to entry, mobility and the transfer of MTE in Environmental compartments: water, soil, sediment and air. These have nowadays very high MTE contents, creating severe malfunctions for human life, plants, soil, aquatic beings. The results obtained showed that spinach has accumulated a significant part of all elements studied and analyzed in the shoots, he accumulated more Cu (T_0 : 15ppm and T_1 : 31ppm). These levels far exceed the threshold set at 10 ppm in food. He has accumulated a lot of Co (T_0 : 10ppm; T_1 : 12ppm) that Amarante (T_0 : 1.8ppm) and cabbage (T_0 : 2.3ppm). The CD shows an opposite situation on the ground of the experimental field (T_0), it is found to 7.8ppm Amarante, 14ppm: Cabbage and 9ppm: spinach. Leaves of consumption (spinach, cabbage and Amarante), grown on the soil of the river Lubumbashi rich MTE and having accumulated a lot of ETM in their aerial parts (edible) could create risks of food poisoning on the human health.

KEYWORDS: Water, Soil, Environment, MTE, Mobility, translocation, Food Poisoning.

RESUME: L'objectif principal de cette étude a été de déterminer les teneurs en Cuivre (Cu), Cobalt (Co) et Cadmium (Cd) transloqués dans les feuilles d'Amarante, de chou et d'épinard cultivés sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi, riche en éléments traces métalliques (ETM). L'exploitation minière (industrielle et artisanale), la circulation des véhicules de transport, l'intensification des activités d'origine métallurgique, les activités domestiques, agricoles dans la ville de Lubumbashi demeurent les causes qui contribueraient à l'entrée, la mobilité et au transfert des ETM dans les compartiments de l'Environnement: eau, sol, sédiment et air. Ceux-ci présentent de nos jours des teneurs très élevées en ETM, créant des dysfonctionnements sévères pour la vie de l'homme, des plantes, des sols, des êtres aquatiques. Les résultats obtenus ont

montré que l'épinard a accumulé une part importante de tous les éléments étudiés et analysés dans les parties aériennes, il a accumulé plus de Cu (T_0 :15ppm et T_1 : 31ppm). Ces teneurs dépassent largement la valeur seuil fixée à 10ppm dans les denrées alimentaires. Il a accumulé beaucoup de Co (T_0 :10ppm; T_1 :12ppm) que l'Amarante (T_0 :1.8ppm) et le chou (T_0 :2.3ppm). Le Cd montre une situation inverse sur le sol du champ expérimental (T_0), on le trouve à 7.8ppm: Amarante, 14ppm: Chou et 9ppm: épinard. La consommation des feuilles (Epinard, chou et Amarante), cultivés sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi, riche en ETM et ayant accumulés beaucoup d'ETM dans leurs parties aériennes (comestibles) pourrait engendrer des risques d'intoxication alimentaire sur la santé humaine.

MOTS-CLEFS: Eau, Sol, Environnement, ETM, Mobilité, translocation, Intoxication alimentaire.

1 INTRODUCTION

Comme toute industrie extractive, l'exploitation des ressources minérales (extraction et valorisation) dans la province du Katanga, a probablement généré à tous les stades un certain nombre d'impacts environnementaux et a porté atteinte aux différents compartiments de l'environnement (eau, sol, air) par ses effets directs et indirects [1]. L'extraction du cuivre et du cobalt à la fonderie de l'usine de la Gécamines s'est accompagnée de rejets de sous-produits riches en zinc, plomb, arsenic, cadmium ou encore de composés soufrés [2]. Ces rejets ont eu un effet néfaste sur l'environnement : l'air, l'eau, le sol. Ils accumulent des contaminants, leurs propriétés et fonctionnement sont perturbés et des troubles sur les êtres vivants et leur environnement sont constatés [3]. La contamination des sols présente un risque de toxicité pour les êtres vivants et l'homme à travers la chaîne alimentaire [4]. Elle entrave la croissance et la viabilité de la végétation. En conséquence, la mise en place de cultures y est ardue voire impossible, selon le degré de pollution, mais aussi risquée de par l'accumulation des contaminants dans le végétal et son transfert dans la chaîne alimentaire [5], [6]. L'exploitation minière ainsi que l'intensification des activités d'origine métallurgique dans la ville de Lubumbashi, couplée à une forte croissance démographique liée au déplacement des paysans, des milieux ruraux vers le centre ville de Lubumbashi justifie la rareté des terres à vocation agricole sur lesquelles la population démunie peut pratiquer une culture maraîchère de subsistance. Face à cette situation, cette dernière est obligée de cultiver sur les sols du bord de la rivière Lubumbashi, récolteurs des déchets enrichis en ETM provenant des usines installées autour de la ville, des lavages de minerais réalisés par les exploitants artisanaux dans leur parcelle résidentielle, de bijouteries en malachite éparpillées dans tous les quartiers de la ville [4]. Les différentes sources d'émission (usines, circulation) et les retombées de proximité sont plus importantes dans les zones urbaines et périurbaines. Elles ont ainsi conduit à faire des sols urbains (jardins publics ou privés) ou de ceux de zones industrielles (jardins ouvriers) des sols présentant des risques en raison de la contamination des cultures maraîchères qu'ils peuvent produire [6]. A ces sources s'ajoutent des apports aux sols d'éléments traces dûs aux engrais minéraux, aux produits phytosanitaires [7], aux activités domestiques [8] [9]. Ces éléments, non biodégradables, peuvent atteindre, du fait de leur absorption en quantité élevée par les végétaux, des teneurs prohibées pour la santé humaine. A tout cela vient s'ajouter l'épineux problème de pollution, du fait de l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation des cultures et de la proximité des industries où des émissions de métaux lourds polluants tels que le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le zinc (Zn) sont importantes [10].

La présente étude a été initiée dans l'objectif de déterminer les teneurs en Cuivre (Cu), Cobalt (Co) et Cadmium (Cd) dans les feuilles des légumes d'Amarante, de chou et de l'épinard cultivés sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi, riche en ETM et ayant été arrosé avec de l'eau usée de cette dernière afin d'évaluer le niveau d'exposition humaine à l'intoxication alimentaire liée à la consommation des feuilles de ceux-ci lorsqu'ils concentrent du Cu, Co, et Cd en quantités excessives et proposer des mesures adéquates de gestion de ces risques pour l'homme.

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 l'intensification des 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 ou l'on

cultive 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.



Figure 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 Lubumbashi de laquelle elle reçoit les 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, ceci pour évaluer la possibilité de pouvoir déboucher sur des résultats fiables.

2.3 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.

A la fin de l'expérimentation, les bottes des légumes ont été récoltées dans les différents pots de différents blocs du dispositif. Des échantillons représentatifs de trois espèces testées ont été choisis, séchés à l'étuve à 60°C pendant 48 heures, puis pulvérisés et acheminés au laboratoire pour analyse en métaux lourds.

2.4 ANALYSE DES METAUX LOURDS DANS LE SOL, L'EAU ET LA MATIERE SECHE

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 (**HNO₃**) + Acide Perchlorique (**HClO₄**) 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.

2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

L'Analyse de la variance (ANOVA) a été faite afin de ressortir les effets du facteur sol sur le facteur espèces végétales (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 ¹	5.6	168	22	-	59000
Sol bord Rivière Lubumbashi ²	6.63	1200	1600	1200	28100
Valeurs Limites (Norme Française)	6.5-8.5	100	50- 140	-	-

¹: Analyse effectuée à la Faculté universitaire des sciences Agronomiques de Gembloux ;

²: 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 ³
Cu ¹	0,0014	2
Co ¹	0,00005	0,05
Fe ²	177	0,1
Mn ²	112	0,4
Cd ¹	0,011	0,003
Ni ²	96	0,07
Pb ²	0,008	0,01

¹: Analyse effectuée au laboratoire de la faculté des Sciences (UNILU) ;

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

³: 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 servie 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/j)

Eléments	Quantités/Jour (mg)	Quantités/Cycle (mg)
Cu	0,000014	0,00063
Co	0,000005	0,000225
Fe	17,7	796,5
Mn	11,2	504
Cd	0,0114	0,513
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 de chacune des cultures. L'arrosage a contribué à apporter un supplément des métaux lourds au sol comme on peut le voir sur le tableau 3 ci-dessus.

3.2 TRAITEMENT DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

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_0) 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 $P = 0.5594 > 0.05$, et en comparant $T_{0Ch} = T_{0Ep} = T_{0Am}$, $P = 0.5665 > 0.05$, on conclut qu'il n'y a pas de différence significative dans l'évolution de la taille chez le chou, l'épinard et l'amarante comparés entre eux, donc l'évolution de la taille a été identique 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. Il en est de la surface foliaire ou $P = 0.314 > 0.05$. 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.

L'analyse de la variance en rapport avec la taille, le nombre des feuilles ainsi que la surface foliaire de l'épinard faite sur les deux types de sols permet de ressortir l'influence de T_0 et T_1 sur l'évolution de ces trois paramètres de croissance de trois espèces cultivées. Le résultat de l'ANOVA montre que T_0 est différent de T_1 lorsqu'on examine les trois paramètres de croissance sur l'épinard aux trois dates de prélèvement. Ce qui signifie que le facteur T_1 a un effet significatif négatif sur l'évolution de la taille, le nombre des feuilles ainsi que la surface foliaire des espèces testées en expérimentation. La valeur de $P = 0.01346 < 0.05$ s'agissant de la taille des plantes aux trois dates de prélèvement de ce paramètre montre une évolution différente de la taille des plantes sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi ou l'on note la réduction de la croissance.

La valeur de $P = 0.009468 < 0.05$ concernant le nombre des feuilles, le facteur T_1 a un effet significatif négatif sur l'apparition du nombre des feuilles de l'espèce testée en expérimentation.

La valeur de $P = 0.01112 < 0.05$, par rapport à l'évolution de la surface foliaire montre que le facteur T_1 a un effet significatif négatif sur l'augmentation de la surface foliaire de l'épinard testé en expérimentation.

3.3 TENEUR EN METAUX LOURDS DANS LES FEUILLES DES PLANTES CULTIVEES (MATIERES SECHES)

Tableau 7 : Seuils utilisés pour diagnostiquer la contamination des végétaux (ppm)

ETM	Teneur	References
Legumes Feuilles		
Cu	5-10	Teneur maximale du règlement 1881/2006/CE [15].
	10	Valeur normale [16]
Co	1	Valeur normale [16]
Cd	2	CMR [17]

Le tableau 7 reprend les valeurs seuils utilisés pour diagnostiquer la contamination des végétaux dans leurs parties consommables selon divers auteurs et règlements à travers le monde.

Les figures 2, 3 et 4 ci-dessous illustrent l'accumulation de trois éléments métalliques (Cu, Co, Cd) dans la partie aérienne qui constitue la partie comestible des trois cultures testées. Il est à signaler que le chou et l'amarante n'ont pas survécu sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi, seul l'épinard a fait l'objet d'analyse de la matière sèche sur les deux types de sols (Figure 2).

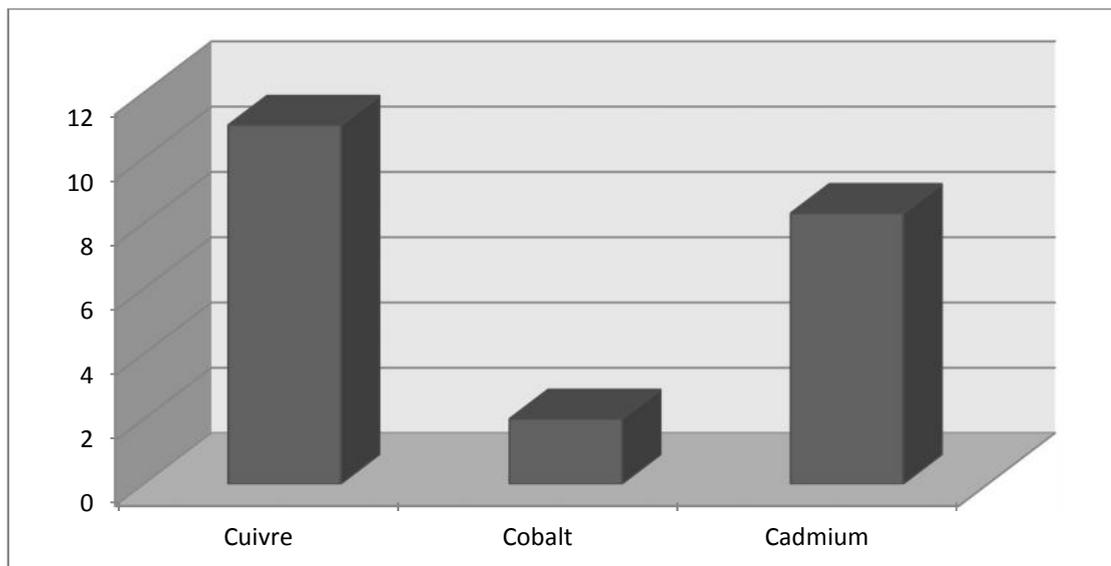


Figure 2: Concentration des Cu, Co, Cd dans les feuilles comestibles (T_0)

Amarante

La figure 2 reprend les résultats d'analyse de la matière sèche et révèle une teneur élevée en Cu, Co et en Cd dans les feuilles de l'amarante cultivé sur le sol du champ expérimental d'Agronomie respectivement de 11, 1.5, 7.8ppm. En se référant au tableau 7 qui définit les seuils utilisés pour diagnostiquer la contamination des légumes-feuilles, l'on se réalise que la teneur de ces trois éléments métalliques Cu, Co, Cd dans les feuilles dépassent les seuils acceptables de ces éléments dans les feuilles comestibles fixés respectivement à 10ppm pour le cuivre, 1ppm pour le cobalt et 2ppm pour le cadmium. Le cuivre et le cobalt dépassent légèrement chacun en ce qui le concerne le seuil, par contre le cadmium se trouve 4 fois plus que le seuil normal et reste un élément très dangereux lorsqu'il est assimilé par l'homme. On conclut que ces légumes d'amarante ont accumulé une part importante de ces trois éléments métalliques, dans les parties comestibles au regard des valeurs seuils, et présentent un risque réel d'intoxication du consommateur, un danger d'apparition des maladies liées à l'assimilation excessive de ceux-ci par l'homme surtout le cadmium.

La figure 3 ci-dessous montre la concentration en ces trois éléments dans les feuilles de chou de chine.

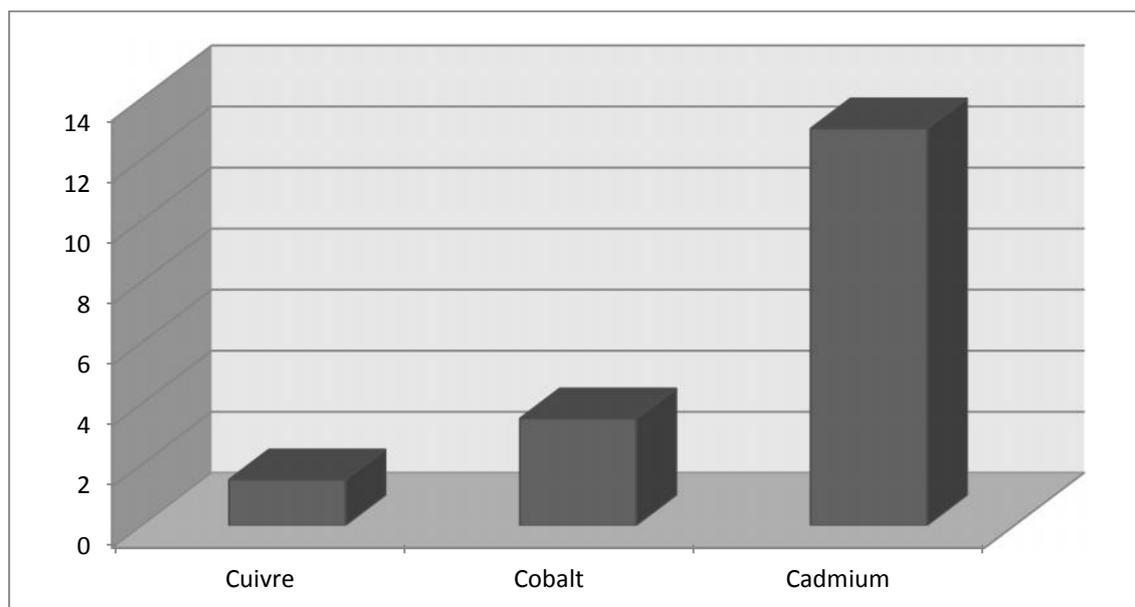


Figure 3: Concentration des Cu, Co, Cd dans les feuilles comestibles (T_0)

Chou

Les résultats d'analyse de la matière sèche des feuilles de chou cultivé sur le sol témoin montrent une situation inverse de l'élément cuivre par rapport à la figure 2.

Le Cu se trouve à une teneur de 1.5 ppm et reste inférieure au seuil fixé à 10 ppm. Par contre les Co, Cd se présentent à des teneurs élevées respectivement 2.3, 14 ppm dans les feuilles de chou. On note que la teneur en Co est 4 fois plus élevée que la valeur seuil fixée à 1ppm, le Cd présente comparativement à sa quantité dans les feuilles d'amarante la teneur la plus élevée 14ppm, valeur 7 fois plus que la valeur seuil fixée à 2ppm.

En résumé, le chou a accumulé une quantité importante de Cd et de Co dans ses parties aériennes comparativement à l'Amarante sur le sol témoin, et reste le légume qui présente un danger réel d'intoxication alimentaire liée à sa forte consommation dans cette partie de la province ou il est cultivé sans au préalable, une étude de la nature du substrat (concentration en métaux lourds, pH).

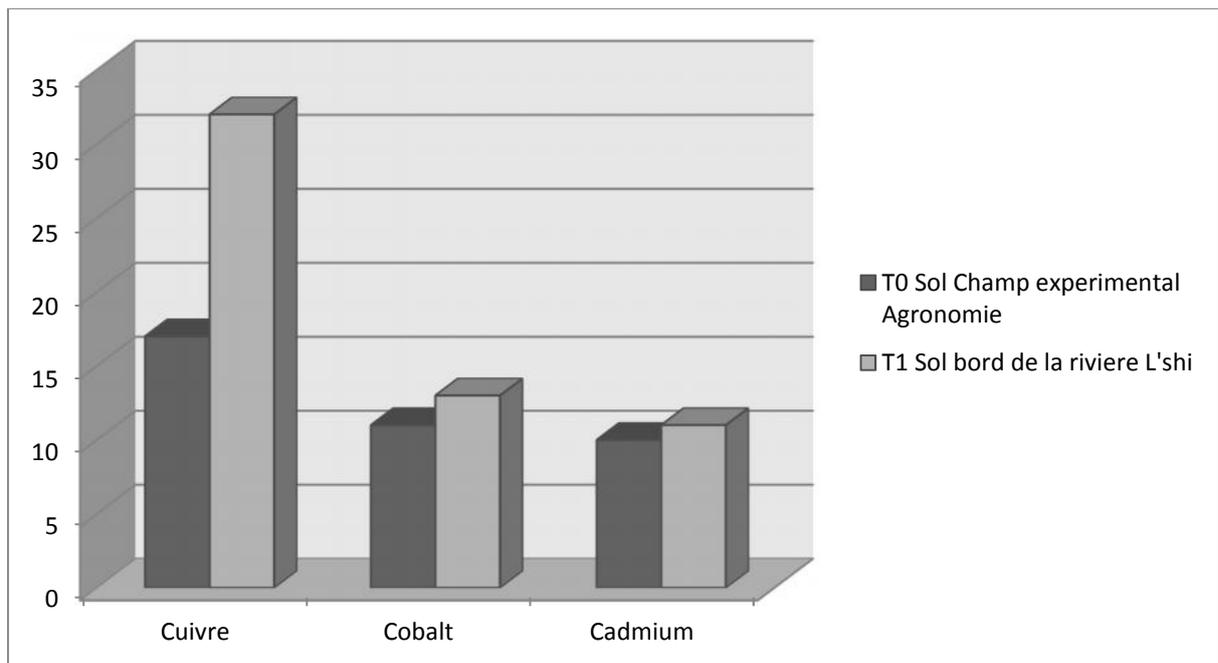


Figure 4: Concentration des Cu, Co, Cd dans les feuilles comestibles (T_0 , T_1)

Epinard

La figure 4 ci-dessus illustre les résultats d'analyse de la matière sèche de la culture d'épinard cultivé sur les deux types de sols (T_0 , T_1). D'un point de vue global, l'épinard a accumulé dans ses parties aériennes une part importante du Cu, Co et du Cd et cela s'observe sur les deux sols. La teneur élevée de Cu s'observe sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi avec une valeur 3fois plus élevée que la valeur limite fixée à 10ppm, 31ppm comparativement à 16ppm de Cu sur le sol témoin du champ expérimental. La même tendance s'observe chez le Co et le Cd, des teneurs élevées en ces éléments sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi avec respectivement 12 et 10ppm. La teneur de 12ppm de Co dépasse largement la valeur seuil fixé à 1ppm tandis que le Cd a une teneur 5 fois plus que la valeur seuil fixé à 2ppm. On note aussi une accumulation importante du Co et du Cd dans les feuilles sur le sol témoin 10, 9ppm et dépassent les valeurs seuils. L'épinard comparé à l'amarante et au chou a montré une accumulation plus grande de Cu, Co et Cd dans ses parties aériennes comestibles au regard des valeurs très élevées, trouvées lors de l'analyse de la matière sèche et cela sur les deux types de sols.

4 DISCUSSION

4.1 TENEUR EN METAUX LOURDS DANS LES FEUILLES

4.1.1 TENEUR EN METAUX LOURDS DANS LES FEUILLES DE L'AMARANTE SUR LE SOL TEMOIN(T_0)

Les résultats obtenus sur l'analyse des métaux dans la matière sèche des espèces testées révèlent que le Cu, le Co, le Cd ont effectivement été accumulés dans les tissus des parties aériennes (Figures 2, 3 et 4), et cela sur les 2 types de sols. Les Cu, Co, Cd transloqués dans les feuilles d'amarante, sur le sol témoin du champ expérimental de la faculté des sciences Agronomiques sont repartis différemment dans celles-ci. Au regard des valeurs seuils reprises dans le tableau 7, seul le Cd a été trouvé à une teneur qui dépasse excessivement la valeur limite, fixée à 2ppm dans les feuilles des légumes comestibles, par contre le Cu ainsi que le Co ont été trouvés avec des valeurs légèrement supérieures (11 et 2ppm) aux seuils fixés respectivement de 10ppm pour le cuivre et 1ppm pour le cobalt. Le Cd trouvé à une teneur de 4 fois plus que la normale présente un danger réel pour le consommateur étant donné qu'il n'a aucun rôle physiologique, et surtout qu'il est nuisible à la santé humaine [18]. Cette situation pourrait être expliquée par l'apport d'engrais au sol, quatorze jours après transplantation et par l'arrosage des cultures avec de l'eau de la rivière Lubumbashi fortement concentrée en cadmium.

4.1.2 TENEUR EN METAUX LOURDS DANS LES FEUILLES DE CHOU SUR LE SOL TEMOIN(T_0)

Le chou sur le sol témoin n'a pas accumulé dans ses parties aériennes une part importante de l'élément Cu, par contre le Co et le Cd se trouvent chacun en ce qui le concerne à une teneur qui dépasse excessivement la valeur seuil du tableau 7 ci-dessus, surtout le Cd. L'application de l'engrais phosphaté ainsi que les arrosages à répétition avec de l'eau chargée en Cd et en Ni pourraient être à l'origine de la mobilité et de la translocation du cadmium du sol(Racines) vers les feuilles [19] ceci car les teneurs naturelles de cet élément varient peu dans la plupart des roches : de 0,05 à 0,3 ppm [6].

Les fortes concentrations de ces éléments dans les feuilles pourraient être justifiées aussi par le fait que les sols du Sud de la province présentent des teneurs totales élevées en éléments traces métalliques [20]. L'usage de l'eau de la rivière Lubumbashi pour l'arrosage des cultures sur les deux types de sols a constitué aussi un apport supplémentaire en ces éléments métalliques trouvés dans leurs parties aériennes.

Des résultats obtenus sur l'analyse de la matière sèche de l'Amarante et du Chou, il se dégage aussi que le Cd ait été mobile suite aux conditions de pH du sol témoin (5.6) [21], et ceci pourrait expliquer la translocation de celui-ci dans la partie aérienne constituée des feuilles comestibles. Eu égard à cette situation, on constate que le Cd présente une toxicité potentielle pour les consommateurs de l'amarante et de chou cultivés sur le sol du champ expérimental de la faculté des sciences Agronomiques. Il présente en plus des risques car les doses ingérées sont souvent proches ou dépassent les doses maximales journalières admissibles [22]

4.1.3 TENEUR EN METAUX LOURDS DANS LES FEUILLES DE L'ÉPINARD SUR LES DEUX TYPES DE SOLS (T_0, T_1)

L'épinard a accumulé une part importante de tous les éléments étudiés et analysés dans les parties aériennes supposées être comestibles. Comparé aux deux cultures précédentes l'Amarante (T_0 :12ppm) et le Chou (T_0 :1.5ppm), l'épinard a accumulé plus de Cu dans ses parties aériennes (T_0 :15ppm et T_1 : 31ppm) en plus sur les deux types de sols. Ces teneurs dépassent largement les valeurs seuils permises dans les denrées alimentaires. Il en est de même pour le Co, l'épinard en accumulé beaucoup et cela sur les deux types de sols (T_0 :10ppm; T_1 :12ppm) dans ses parties aériennes que l'Amarante (T_0 :1.8ppm) et le chou (T_0 :2.3ppm). Par contre le Cd montre une situation inverse lorsqu'on ne considère que le sol du champ expérimental (T_0), on le trouve à une teneur de 7.8ppm chez l'Amarante, 14ppm chez le Chou et 9ppm chez l'épinard. Lorsqu'on tient compte du sol du bord de la rivière Lubumbashi, le Cd a une teneur de 10ppm dans ses parties aériennes.

Il ressort clairement au regard des résultats d'analyse de la matière sèche que l'épinard est une plante accumulatrice [23] comparé au chou et l'amarante étant donné qu'il a non seulement accumulé le Cu, le Cd et le Co dans ses parties aériennes mais les a stockés par-dessus tout à des teneurs qui dépassent les valeurs seuils utilisés pour diagnostiquer la contamination des végétaux. La forte concentration du Cu dans les feuilles de l'épinard pourrait être justifiée par le fait que les sols du Sud de la province présentent des teneurs totales élevées en cuivre, surtout qu'il reste l'élément au cœur des traitements métallurgiques qui le rendent biodisponible et mobile.

Les fortes teneurs en ETM notamment Cd, Co, et Cu enregistrées dans les feuilles d'épinard, de chou et d'amarante s'expliqueraient par la proximité du site de prélèvement de sols à l'usine de la Gécamines ayant des activités d'origine

métallurgique, aux axes routiers mais aussi par l'utilisation des eaux usées brutes non traitées pour l'arrosage des cultures maraîchères.

Au terme de cette étude, il est nécessaire de savoir si la consommation de ces légumes feuilles (Épinard, chou et Amarante) cultivés sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi pourrait engendrer des risques sur la santé humaine. Pour cela, les teneurs en ETM dans les feuilles d'épinard, de chou et d'amarante analysées ont été comparées avec les valeurs seuils utilisés pour diagnostiquer la contamination des végétaux. Cependant au vu des résultats d'analyse, il est ressort clairement que les concentrations en Cd, Co et Cu excèdent parfois largement surtout pour le Cd, les valeurs seuils permises dans les denrées destinées à la consommation humaine [24]. Néanmoins, les valeurs observées ont révélé des prélèvements importants qui restent supérieurs à la limite de toxicité pour le Cd. L'analyse des cadavres des individus d'épinard cultivé sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi révèle des teneurs se trouvant dans la gamme des valeurs considérées comme toxiques pour les plantes normales [25]. 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 [26].

5 CONCLUSION

Cette étude a révélé que l'amarante, le chou et l'épinard cultivés sur le sol du bord de la rivière Lubumbashi ainsi que celui de la parcelle expérimentale de l'Université de Lubumbashi accumulent différemment les métaux traces. L'épinard a accumulé une part importante de tous les éléments étudiés et analysés dans les parties aériennes. Comparé à l'Amarante (T_0 :12ppm) et au Chou (T_0 :1.5ppm), l'épinard a accumulé plus de Cu dans ses parties aériennes (T_0 :15ppm et T_1 : 31ppm) en plus sur les deux types de sols. Ces teneurs dépassent largement les valeurs seuils permises dans les denrées alimentaires. L'épinard a accumulé beaucoup de Co (T_0 :10ppm; T_1 :12ppm) que l'Amarante (T_0 :1.8ppm) et le chou (T_0 :2.3ppm).

Le Cd montre une situation inverse sur le sol du champ expérimental (T_0), on le trouve à une teneur de 7.8ppm chez l'Amarante, 14ppm chez le Chou et 9ppm chez l'épinard. Lorsqu'on tient compte du sol du bord de la rivière Lubumbashi, le Cd a une teneur de 10ppm, ce qui reste inférieur à celle trouvée dans les feuilles de chou de chine. Ce qui indiquerait que ces végétaux sont influencés plus ou moins par le site d'étude.

La proximité du site de prélèvement de sols à l'usine de la Gécamines ayant des activités d'origine métallurgique, aux axes routiers mais aussi l'utilisation des eaux usées brutes non traitées contribueraient à la contamination des plantes en éléments traces métalliques. Les teneurs en Cu, Co et Cd trouvées dans les feuilles de l'amarante, chou et de l'épinard cultivés sur les deux types de sols dépassent les valeurs recommandées, ces végétaux sont donc impropres à la consommation humaine. Par conséquent, il devient impératif d'alerter les autorités compétentes de la ville de Lubumbashi pour prendre des mesures idoines afin de limiter ou réduire le risque de contamination par les végétaux étant donné que les sols de la province du Katanga présentent des teneurs totales en éléments traces métalliques très élevées. De plus, un suivi régulier des ETM dans les matrices environnementales en particulier les sols, les eaux et les végétaux devrait être mis en place pour éviter l'accumulation excessive des ETM dans la chaîne alimentaire.

REFERENCES

- [1] **Couasnon T.H., Laura Lander, L.A., Rouet-Leduc B.E., Niklas von wolff N.K., 2013.** La Mine de Grasberg - Bénédiction ou Juron? Atelier sur les valeurs de l'environnement : entre éthique et économie 2ème semestre – Année 2012-2013, 15p.
- [2] **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.
- [3] **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.
- [4] **Mpundu et al. J. Appl. Biosci. 2013.** Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols de jardins potagers en Lubumbashi et risques de contamination des cultures. ISSN 1997–5902, Journal of Applied Biosciences 65:4957 – 4968.
- [5] **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 ;
- [6] **Bourrelle 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.
- [7] **Rico A., 2000.** "Pollutions et pratiques agricoles. Deux concepts: dose journalière admissible et chimiodéfense", C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie: N°323, pp.435-440.

- [8] **Cambier P., 1994.** "Contamination of soils by heavy metals and other trace elements: a chemical perspective", *Anal. Mag.*, Vol. 22, N°2, pp. 21-24, 1994.
- [9] **Sanka M., Strnad M., Vondra J., and Paterson E., 1995.** "Sources of soil and plant contamination in an urban environment and possible assessment methods", *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, Vol. 59, pp. 327-343.
- [10] **Dan-Badjo et al. J. Appl. Biosci. 2013.** Évaluation de contamination en traces métalliques de Laitue et Chou dans la vallée de Gounti, Niamey, Niger. ISSN 1997-5902, Journal of Applied Biosciences 67:5326 – 5335.
- [11] **Mobambo.P., 2004.** Cultures maraichères, 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^{ème} 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] **Tremel- Schaub A., Feix I., 2005.** Contamination des sols : transferts des ETM des sols vers les plantes. EDP Sciences/ADEME. 156 p.
- [16] **Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001.** Trace elements in soils and plants, Boca Raton, CRC Press Inc. 3^{ème} Ed.
- [17] **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.
- [18] **Ryan J.A., Pahren H.R. and Lucas J.B., 1982-** controlling Cadmium in the Human Food chain: Review and rationale baswd on health effects. *Environ. Res.*, 28, 251-302.
- [19] **Mortvedt J.J., Mays D.D. and Osborn G., 1981** – Uptake by wheat of Cadmium and other heavy metal contaminants in phosphate fertilizers. *J. Environ. Qual.* (10), 190-197.
- [20] **Tembo B. D., Sichilongo K., Cernak J., 2005.** «Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentrations in soils around Kabwe town in Zambia ». Elsevier, *Chemosphere* 63 : 497–501.
- [21] **Mench M., Baize D. and Mocquot B., 1996** – Cadmium availability to wheat (*Triticum aestivum*) and mobility in soils from the Yonne district, Burgundy, France. *Environmental Pollution. Bull. Soc Bot. Fr.*, 1388, Actual Bot (1). 65-85.
- [22] **Page A.L, Logan T.J and Ryan J.A., 1985.** Land application Sludges Food Chain implications. Proc. Workshop US EPA, Cincinnati., Lewis Publishers. 168p.
- [23] **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 Maraichers de la Ville D'Abidjan (Côte D'ivoire) Amendés Avec de la Fiente de Volaille. *European Journal of Scientific Research*, 21 :471-487.
- [24] **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.
- [25] **Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Dudka M., 1993.** *Trace elements in legumes and monocotyledons and the suitability for the assessment of soil Contamination in: MARKET B(Ed) plants are biomonitors for heavy Metal in the terrestrial environment.* Wheinheim, VCF, 485-494.
- [26] **Baker A.J.M., and Walker P.L., 1990.** *Ecophysiology of metal uptake by tolerant plant*, In: A.J. Shaw (ed). Heavy metal tolerance in plants. CRC Press, Boca Raton, pp. 155-178.