

Effets des doses de *Tithonia diversifolia* et de la chaux sur la croissance et la phytodisponibilité de cuivre sur la culture d'épinard *Spinacia oleracea* L cultivée à Lubumbashi (RD Congo)

[Effects of increasing doses of *Tithonia diversifolia* and lime on the growth and phytoavailability of copper on the Spinach culture cultivated in Lubumbashi (DR Congo)]

Ngoyi Nsomue Adolphe¹ and Mpundu Mubambi Michel²

¹Université Notre Dame de Lomami, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Phytotechnie, RD Congo

²Unité de Recherche Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Université de Lubumbashi P.B 1825, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Phytotechnie, RD Congo

Copyright © 2020 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 choice of suitable (nature and quantity) amendments and the selection of varieties capable of limiting the transfer from the soil to certain crop organs are among the classic methods in phytoremediation. This present work aims to assess the effect of doses of *Tithonia diversifolia* and lime on the behavior and phytoavailability of copper on spinach culture. The trial was set up using the fully randomized five repeat system. The treatments consisted of 6 doses compost and 6 doses of lime compared to the unamended contaminated or amended control. The observation focused on the vegetation parameters and submitted to the analysis of variance. Before the test, the pH and the copper content of the soils were determined. Soil analysis results show that their pH is close to neutral, while the copper concentration is 3332 ppm in Tshamilemba soil, is 148 times higher than that of experimental field soils. The high copper content of soil in the Tshamilemba district did not lead to a revival of spinach growth, on the other hand an increase in the phytoavailability of copper. The reduction in copper content depends on the doses of amendments applied. This article has shown that the addition of amendments makes it possible to reduce the bioaccumulation of contaminated soil to practice market gardening.

KEYWORDS: Amendments, phytoremediation, concentration, bioaccumulation, market gardening.

RESUME: Le choix d'amendements (nature et quantités appropriées) et la sélection de variétés capables de limiter les transferts des éléments traces métalliques du sol vers certains organes de la plante font partie des méthodes les plus classiques en phytoremédiation. Le présent travail a pour objectif d'évaluer l'effet de doses de *Tithonia diversifolia* et de la chaux sur le comportement et la phytodisponibilité de cuivre sur la culture d'épinard. L'essai a été installé suivant un dispositif complètement randomisé à cinq répétitions. Les traitements ont été constitué de six doses de compost et six doses de la chaux comparés aux sols témoin contaminé non amendé et un témoin non contaminé ni amendé. Les observations ont porté sur les paramètres végétatifs et soumis à l'analyse de la variance. Avant essai, le pH et la teneur en Cuivre du sol ont été déterminés. Les résultats d'analyse des sols montrent que leur pH avoisine la neutralité alors que la concentration en Cuivre est de 3332 ppm dans les sols de Tshamilemba, est 148 fois plus élevée que celle des sols du champ expérimental. Les fortes teneurs en cuivre de sol du quartier Tshamilemba n'ont pas entraîné un ralentissement de croissance de l'épinard, par contre une augmentation de la phytodisponibilité du Cuivre. La réduction de teneur en cuivre est en fonction des doses d'amendements appliquées. Cet article a montré que l'apport des amendements permet de réduire la bioaccumulation du cuivre dans les plantes et permet d'envisager une remédiation de sol contaminé pour y pratiquer le maraichage.

MOTS-CLEFS: Amendement, phytoremédiation, concentration, bioaccumulation, maraichage.

1 INTRODUCTION

Le développement du Haut-Katanga et plus particulièrement de la ville de Lubumbashi est intimement lié à l'extraction minière et au traitement des minerais de cuivre. Ceux-ci connaissent actuellement un regain d'activités impressionnantes dans tout le Katanga [1]. Cependant, l'accumulation des éléments traces métalliques ETM dans les sols agricoles peut avoir un impact sur la qualité des plantes. Certains sont toxiques à forte teneur aussi bien pour les plantes que dans la chaîne alimentaire. Ils peuvent contaminer de plusieurs manières les aliments, soit absorption racinaire, soit sous forme des précipitations de poussières contaminées à travers les feuilles [2]. En effet, les activités minières rejettent les déchets et effluents lors de l'extraction jusqu'à l'obtention des produits finis. Le transport et le traitement des minerais accroissent la teneur des ETM dans les sols et les terres agricoles ne sont pas épargnés [3].

Bien qu'étant essentiels dans l'organisme vivant, les ETM peuvent devenir toxique au-delà de certaines concentrations [4]: les données récentes sur la santé et l'activité minière montrent que les habitants des zones minières du Haut-Katanga sont exposés au danger d'intoxication aux métaux lourds [5]. En effet, l'installation des cultures sur les sols contaminés nécessitent une remédiation afin de réduire la propagation des contaminants. Dans ce cadre, plusieurs options existent néanmoins la phytostabilisation ou la bioremédiation se montre la moins coûteuse. En effet plusieurs recherches ont montré l'intérêt des amendements dans la réhabilitation des sols contaminés en ETM [6, 14].

Ce présent article a comme objectif d'évaluer le comportement et la teneur en cuivre accumulée par la culture d'épinard installée sur un sol contaminé en ETM sous l'apport croissant du compost à base de *Tithonia diversifolia* et de la chaux agricole. Les hypothèses émises: La culture d'épinard (*Spinacia oleracea* L) installée sur un sol contaminé en ETM occasionnerait une bioaccumulation de ces derniers; les différentes concentrations en ETM dans le sol influencerait le comportement de la culture d'épinard; l'apport de compost à base de *Tithonia diversifolia* et de la chaux agricole réduirait la concentration et la phytodisponibilité en cuivre.

2 MILIEU, MATERIELS ET METHODES

2.1 MILIEU

L'essai a été conduit en pot pendant l'année culturale 2013-2014 dans le champ expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi en RDC. Le site est situé à 11°36'31,86" de latitude Sud; 27°28'38,82" de longitude Est et 1275m d'altitude. La région de Lubumbashi est caractérisée par un climat du type Cw6 de la classification de Koppén [7]. Elle est également caractérisée par une période de croissance normale d'une durée moyenne de 182 jours en moyenne elle est constituée d'une période humide d'environ 150 jours. Cette période de croissance commence à la seconde moitié d'octobre pour s'arrêter vers la mi-Avril tandis que la période humide va de la première moitié de novembre jusqu'à mi- Avril [8]

2.2 MATERIEL

2.2.1 PLANTE POTAGERE

L'espèce épinard (*Spinacia oleracea* L) cultivée généralement dans les jardins potagers de la région de Lubumbashi a été retenue pour cette étude. Cette espèce est une variété améliorée, les plantules ont été obtenues à la cité des jeunes. Les plantules utilisées au moment de repiquage avaient une taille moyenne de 11cm et un nombre moyen de 4 feuilles.

2.2.2 SOLS

Deux échantillons de sols ont été utilisés, dont un sol de tshamilemba contaminé par les activités minières de CHEMAF et un sol du champ expérimental. Les résultats de [6] indiquent que le sol de champ expérimental est très peu contaminé en cuivre. Les sols ont été prélevés à une profondeur de 0- 20cm dans les 2 sites. Les propriétés physico-chimiques des deux sols utilisés figurent dans le Tableau 1. Les teneurs en ETM des sols du jardin expérimental sont 148 fois inférieures à celles du site contaminé de Tshamilemba.

Tableau 1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols avant apport d'amendements

SOLS	Cu (ppm)	pH
Tshamilemba	3332	6,2
Champ experimental	29,13	7,01
Valeur seuil	100	

2.2.3 AMENDEMENTS

2.2.3.1 COMPOST

La biomasse verte de *Tithonia diversifolia* a été récoltée au jardin botanique de la Faculté de Sciences Agronomiques. Cette espèce est choisie en fonction de son expansion [9; 10] et sa grande disponibilité d'éléments nutritifs [16; 17].

2.2.3.2 CHAUX

Le calcaire dolomitique ($\text{CaO} \cdot 3\text{MgCO}_3$) a été utilisé comme amendement pour augmenter le pH et réduire la biodisponibilité du cuivre. Ce produit a été obtenu dans une maison agricole; son intérêt agricole est qu'il diminue la mobilité des métaux lourds par l'augmentation de pH et la mobilité du cuivre [6; 14].

2.3 METHODES

L'essai a été installé en vue de déterminer l'efficacité des amendements organiques et calcaire sur la croissance et la phytodisponibilité du cuivre sur la culture d'épinard. L'essai a été installé suivant un dispositif complètement randomisé comprenant 5 répétitions constituées par les six doses croissantes de composts à base de *Tithonia diversifolia* appliquées sur un sol contaminé respectivement (30 t/ha, 60 t/ha, 90 t/ha, 120 t/ha, 150 t/ha et 180 t/ha) et six doses de chaux (3 t/ha, 6 t/ha, 9 t/ha, 12 t/ha, 15 t/ha et 18 t/ha) comparés au sol témoin du jardin expérimental non contaminé et celui de Tshamilemba contaminé par les activités minières non amendé. Le sol du jardin expérimental et de Tshamilemba ont été prélevés dans les horizons de surface (0-20cm) à l'aide d'une bêche, suivant les résultats obtenus par Mpundu (2010) montrant que la contamination du sol est plus dans les horizons superficiels; ensuite ces sols ont été séchés puis amendés suivant les doses. La durée du compostage a été de 36 jours, en références aux études de [11; 12] sur le compostage de fumiers de poulets. Les différentes doses de compost et de la chaux agricole ont été enfouies dans 3 kg de sol par sachet à une profondeur de 1cm. Le repiquage a été effectué le 13 Janvier 2014, soit 10 jours après amendement à raison de 2 plantules d'épinard. Les observations ont porté sur le taux de reprise des plantules, la taille des plantes, le poids des plantes et le poids des feuilles après récolte. Après récolte, les biomasses de l'épinard ont été séchées à l'étuve à une température de 40°C pendant 24 heures au laboratoire du Centre de Recherche en Agro-alimentaire (C.R.A.A). Les teneurs en cuivre ont été déterminées suivant les méthodes décrites par [13]. Par la suite, les échantillons composites de biomasse végétale de différents traitements ont été soumis à l'analyse au laboratoire d'Office de Contrôle Congolais (OCC) en vue de déterminer la concentration en cuivre.

2.4 TRAITEMENT DES DONNEES

Les résultats obtenus sur les paramètres végétatifs et de production ont été soumis d'une part à l'analyse de la variance et le test de TUKEY ont été utilisés en vue de comparer les différentes moyennes. Pour les données non paramétriques, le test de Kruskal wallis a été réalisé à l'aide de logiciel Minitab 16.

3 RESULTATS

3.1 EFFETS DES AMENDEMENTS ORGANIQUE ET CALCAIRE SUR LE COMPORTEMENT D'EPINARD

Les résultats obtenus sur le taux de reprise, montrent que le taux minimum de reprise est observé pour le sol contaminé amendé avec 30t/ha de compost (Figure1).

L'analyse de la variance indique que parmi les deux types d'amendements appliqués, seul la matière organique induit des effets significatifs entre les moyennes pour la taille d'épinard ($P < 0,05$) (Figure 2). La taille moyenne supérieure de 11,33 cm pour la matière organique, bien que cette taille est équivalente à celle obtenue avec l'amendement calcaire. Par contre, les doses 120 et 150 t/ha de compost induit des tailles moyennes inférieures similaires respectivement 7,22 et 7,24 cm), bien que légèrement inférieures aux doses 12 et 15t/ha de chaux.

Les résultats obtenus de l'analyse de la variance indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des traitements ($P>0,05$) pour le nombre des feuilles d'épinard (Figure 3). Ceci implique que les sols contaminés en ETM entraînent une diminution des feuilles par rapport aux sols non contaminés et non amendés.

L'analyse de la variance ne montre pas la différence sur la surface foliaire entre les amendements ni entre les différentes doses appliquées (Figure 4). Néanmoins, les traitements amendés au compost à base de *Tithonia* donnent les surfaces foliaires larges suivant les doses appliquées, mais la dose 180t/ha de compost présente le résultat similaire au témoin et au sol contaminé non amendé.

L'ANOVA révèle une similarité sur le poids des plants entre les amendements et les traitements appliqués (Figure 5). Les résultats obtenus montrent que les doses de compost apportées ont un effet significatif sur les poids moyens des feuilles (Figure 6). Par contre, Il ressort une similarité entre les traitements amendés à la chaux.

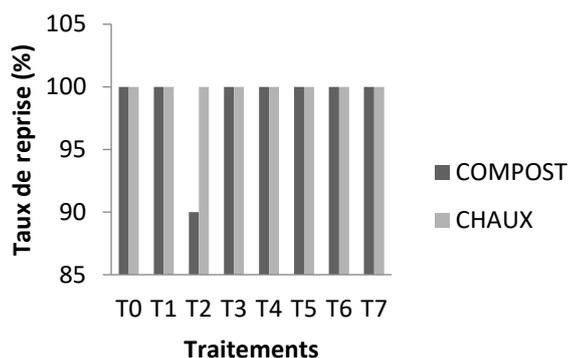


Fig. 1. Taux de reprise de plants (%)

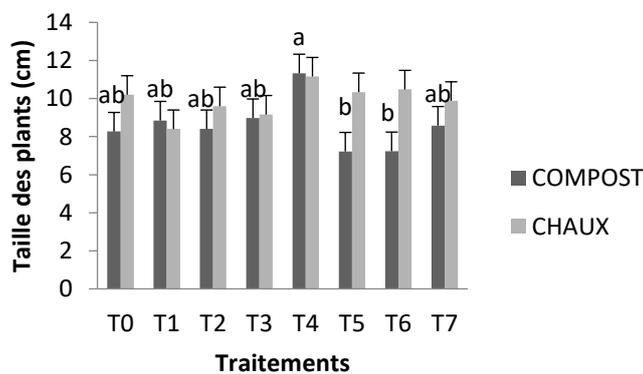


Fig. 2. Taille des plants d'épinard

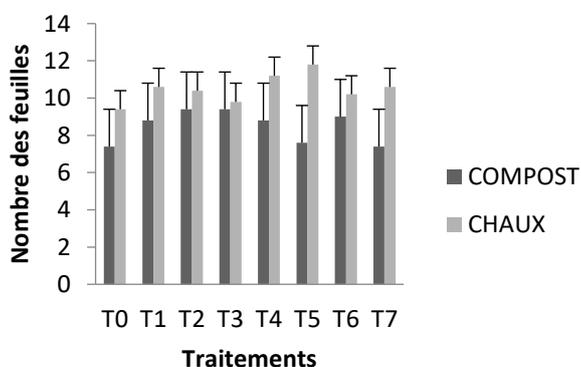


Fig. 3. Le nombre des feuilles d'épinard

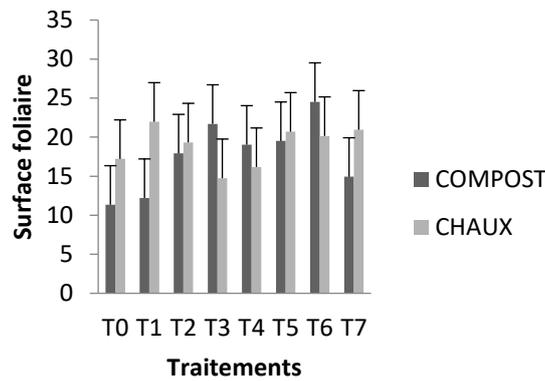


Fig. 4. La surface foliaire d'épinard

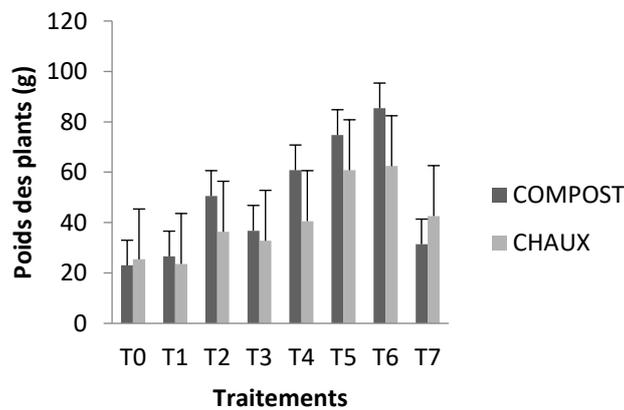


Fig. 5. Le poids des plants d'épinard

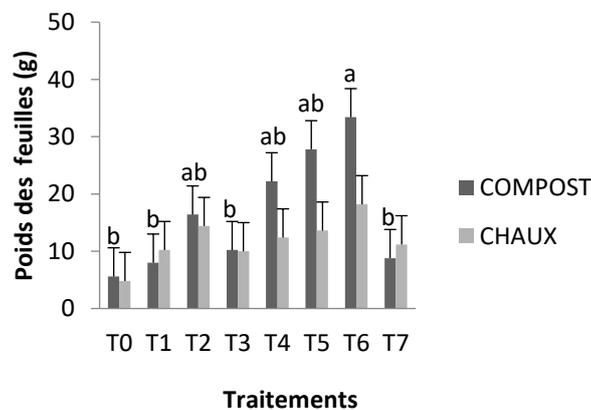


Fig. 6. Le poids de feuilles

3.2 CONCENTRATION DES ETM DANS LES FEUILLES D'EPINARD

Il ressort du tableau 2 que la phytodisponibilité de cuivre est inversement proportionnelle aux doses croissantes d'amendements. L'apport du compost et de chaux induit la réduction de taux de fixation de cuivre dans la culture d'épinard. Ces analyses chimiques stipulent également que la plus grande réduction en teneur de cuivre est observée grâce à l'application de 150t/ha et 180t/ha de *Tithonia diversifolia* et 18 t/ha de chaux agricole sur le sol contaminé, montrent ainsi une carence en cuivre. La dose 30t/ha de compost est sensiblement très faible pour réduire la teneur du cuivre dans les feuilles d'épinard. Toutefois, l'application de 18t/ha a induit une grande réduction en teneur de cuivre bien que les teneurs en cuivre restent au-delà du seuil pour les autres traitements.

Tableau 2. Synthèse des résultats sur la concentration de cuivre dans les feuilles d'épinard

Amendements	Traitements	Teneurs en Cu (ppm) dans les feuilles d'épinard
<i>Tithonia diversifolia</i>	T0	9,98
	T1	448,3
	T2	226,4
	T3	179,36
	T4	102,21
	T5	98,00
	T6	24,38
	T7	13,05
Valeurs seuil		10-30
Chaux agricole	T0	9,98
	T1	448,3
	T2	291,3
	T3	201,54
	T4	140,20
	T5	98,28
	T6	41,25
	T7	28,69
Valeurs seuil		10-30

T0: Sol Champ expérimental non contaminé et non amendé, T1: Sol contaminé non amendé, T2: Sol contaminé amendé à 30 t/ha de compost, T3: Sol Tshamilemba amendé à 60 t/ha de compost, T4: Sol contaminé amendé à 90 t/ha de compost, T5: Sol contaminé amendé à 120 t/ha de compost, T6: Sol contaminé amendé à 150 t/ha de compost, T7: Sol contaminé amendé à 180 t/ha de compost. Les valeurs en couleur rouge présentent de risque de toxicité car elles sont au-delà du seuil et les valeurs colorées en vert sont celles comprises dans le seuil de toxicité qui varie de 5 à 30

4 DISCUSSION

4.1 EFFET DES DOSES DE TITHONIA DIVERSIFOLIA ET DE LA CHAUX SUR LA CROISSANCE DE L'EPINARD

Les résultats obtenus dans la présente étude indiquent que les amendements organique et calcaire appliqués aux sols contaminés par les activités minières n'ont pas induit des effets significatifs sur la reprise de l'épinard. Toutefois, les taux de reprise sont statistiquement égaux d'un traitement à un autre en raison de différentes doses apportées entre les pots. Ces résultats en sont pas en accord avec ceux obtenus par [1]. Ces résultats pourraient être du que malgré la contamination de sol de Tshamilemba, les pratiques culturales habituelles permettent au sol de Tshamilemba d'avoir une structure lui permettant de donner les conditions optimales aux semences pour la levée. Notons que le compost sert à lutter contre l'acidité des sols, laquelle a pour conséquence de perturber l'alimentation des plantes, en détruisant l'équilibre de restitution des éléments nutritifs (blocage de certains, prolifération d'autres qui, en grandes quantités, deviennent toxiques) montré par [14]. De même la chaux réduit la mobilité en favorisant les réactions de fixation sur les surfaces d'échange, de précipitation, en augmentant le nombre de surfaces réactionnelles [1]. L'apport de compost et de la chaux sur les sols contaminés a induit de différence significative sur la taille. Ces résultats pourraient se justifier par le potentiel des amendements de réduire la phytodisponibilité de cuivre dans les organes et augmenter la croissance des plantes [6]. Ces performances pourraient également être dues aux propriétés fertilisantes des composts [15; 16]. Dans un premier temps, les composts augmentent les quantités de nutriments disponibles, tels que azote et phosphore. Par ailleurs, la croissance des plantes est améliorée grâce à la disponibilité accrue d'éléments minéraux et, les matières organiques contiendraient beaucoup moins de sels nocifs pour la croissance des plantes.

Le paramètre surface foliaire a montré une grande performance pour le sol contaminé, comme la majorité de paramètres, les explications à ce sujet seraient que la concentration des ETM dans les tissus végétaux peut être sans danger pour la croissance de plantes, mais est dangereuse pour la consommation humaine et animale [4].

Les résultats obtenus sur les poids des plantes d'épinard ont indiqué que les doses de compost 30t/ha (30,8g) et 180t/ha (28,6g) ont des poids plus grands que celui enregistré sur le témoin (18,8g) et les doses de la chaux ont donné les poids des plantes qui varient entre 16,70g (T8) et 5,70g (T11). Ces résultats pourraient se justifier par le fait que le compost apporte une quantité suffisante de nutriments pour la croissance de culture potagère [17].

4.2 EFFET DES DOSES DE TITHONIA DIVERSIFOLIA ET DE LA CHAUX SUR LA PHYTODISPONIBILITE DE CUIVRE

Les résultats obtenus sur l'influence d'amendements organique et calcaire sur la phytodisponibilité de cuivre dans les organes d'épinard ont indiqué une bioaccumulation proportionnelle de cuivre suivant les doses croissantes de compost et de la chaux appliquées contrairement au résultat obtenu par [18]. En premier lieu la culture d'épinard, la dose de 150t/ha de compost a réduit sensiblement la teneur en cuivre 18,38 fois (24,38ppm) et 180t/ha a réduit la phytodisponibilité de cuivre 34,35 fois (13,05ppm) comparativement au traitement témoin contaminé et non amendé (448,3ppm). Les amendements ont révélé une forte variabilité avec de valeurs meilleures du point de vue bioaccumulation pour l'utilisation de compost que celle de chaux contrairement au résultat obtenu par [1]. La raison probable serait qu'il se manifesté des effets résiduels de la chaux suite à son utilisation antérieure sur ce sol par l'entreprise environnante. Ces résultats se justifieraient du fait que les composés organiques à molécules élevées (humiques) adsorbent et diminuent la mobilité et l'activité biologiques des ETM [19]. Par ailleurs, l'amendement organique diminue le transfert sol plante des ETM.

Plusieurs auteurs ont montré l'effet positif de l'amendement organique sur la phytostabilisation des sols contaminés par des métaux [1; 13]. Les différentes doses ont révélé une réduction de la bioaccumulation proportionnellement à leur apport, résultat similaire avec [20; 21]. Ces résultats laissent penser que les amendements ont un effet bénéfique sur la réduction de la mobilité des ETM pour leur accumulation par les plantes.

5 CONCLUSION

Les différentes doses croissantes de compost à base de *Tithonia diversifolia* et de la chaux ont été apportées au sol contaminé par les activités minières en vue de déterminer pour chaque amendement ses effets sur la croissance et la disponibilité de cuivre sur la culture de *Spinacia oleracea*. L'expérimentation a été conduite selon un dispositif complètement randomisé comprenant cinq répétitions. Les traitements comprenaient six doses de compost (30 t/ha, 60 t/ha, 90 t/ha, 120, 150 t/ha et 180 t/ha) et six doses de chaux (3 t/ha, 6 t/ha, 9 t/ha, 12 t/ha 15 t/ha et 18 t/ha) comparés au sol témoin du champ expérimental et celui de référence du quartier Tshamilemba non amendé pour les deux cultures. Les résultats obtenus après les analyses chimiques montrent qu'il y a risque de contamination de la chaîne alimentaire, des teneurs très élevées en cuivre dans les organes comestibles de *Spinacia oleracea* sont issus de plus faibles doses de compost et de la chaux. Cependant qu'il est possible de remédier à ce grand risque par l'apport de grandes doses d'amendements organiques et calcaires.

REFERENCES

- [1] Mpundu M. M, Useni S. Y, Nyembo K. L, Colinet G., Effets d'amendements carbonatés et organiques sur la culture de deux légumes sur sol contaminé à Lubumbashi (RD Congo). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 18, 1-9 (2014).
- [2] Mpundu M. M, 2010 contaminations des sols en éléments traces métalliques à Lubumbashi « katanga RDC » Evaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix des solutions de remédiation. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. 401p.
- [3] Kalenga N. M. P Frency J. kongolo M. De Donato P. Kaniki T.A., Inventaire des sites de production de stockage et des rejets minéraux au katanga et évaluation des impacts environnementaux. Rapport scientifiques du rejet de coopération scientifiques inter universitaire 2005, (2006).
- [4] Katemo M. B. (2009). Evaluation 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. 50 p.
- [5] Banza C.L.N., Tim S., Vincent H., Sophie D., Thierry D P, Erik S., Kabyla B.I., Luboya O.N., Ilunga A. N., Mutombo A.M., Benoit N., High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. *Environmental research.* Elsevier. 8 (2008).
- [6] Ngoy shutcha M., 2010. Phytostabilisation des sols contaminés en métaux lourds par l'activité minière au Katanga « Cas du quartier Gécamines/Penga Penga contaminés en métaux par les émissions de la fonderie de cuivre de l'Usine Gécamines/Lubumbashi ». Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi. 231p.
- [7] FAO, New_LocClim: Local Climate Estimator". FAO Environment and Natural Resources Working Paper, N° 20, 2005.
- [8] Kasongo L.E., Mwamba M.T., Tshipoya M.P., Mukalay M.J., Useni S.Y., Mazinga K.M., Nyembo K.L., Réponse de la culture de soja (*Glycine max L. (Merril)*) à l'apport des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray comme fumure organique sur un Ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo. *Journal of Applied Biosciences* 63, 1997–2002 (2013).
- [9] Chukwuka K.S. & Omotayo O. E., Soil Fertility Restoration of *Tithonia Green Manure* and *Water Hyacinth Compost* on a Nutrient Depleted Soil in South Western Nigeria Using *Zea mays L.* as Test Crop. *Research Journal of Soil Biology* 1, 20-30 (2009).
- [10] Niang A.I., Amadalo B.A., de Wolf J. & Gathumbi S.M., Species screening for shortterm planted fallows in the highlands of western Kenya. *Agroforestry Syst.* 56, 145-154 (2002).

- [11] Nyembo M.L, Kisimba M.M, Mwamba M.T, Lualaba L.J, Kanyenga L.A; Ntumba K.B, Mpundu M.M, Effets de doses croissantes des composts de fumiers de poulet sur le rendement de chou de chine installé sur le sol acide de Lubumbashi. *Journal of applied Biosciences*, 77, 6509-6522 (2014).
- [12] Useni S.Y., Mwema L.A., Musambi L., Chinawej M.M.D., Nyembo K.L., L'apport des faibles doses d'engrais minéraux permet-ild'accroitre le rendement du maïs cultivé à forte densité ? Un exemple avec deux variétés de densité ? Un exemple avec deux variétés de maïs à Lubumbashi. *Journal of applied Bioscience*, 74, 6131-6140 (2014).
- [13] Mpundu M. M., Useni S.Y., Mwamba M, Kateta M., Mwansa M., Ilunga K. Kamengwa K., Kyungu K., Nyembo K., Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols de différents jardins potagers de la ville minière de Lubumbashi et risques de contamination des cultures potagères. *Journal of applied biosciences* 65, 4957-4968 (2013).
- [14] Charland M., Cantin S., St-Pierre M-A., 2001. Recherche sur les avantages à utiliser le compost. Dossier CRIQ 640-PE2758 (R1). Rapport final. Centre de Recherche Industrielle au Quebec, 49p.
- [15] Jama B., Palm C. A., Buresh R. J., Niang A., Gachengo C., Nziguheba G. & Amadalo B., *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry Systems* 49: 201–221 (2000).
- [16] George T.S., Gregory T.J., Robinson J.S., Buresh R.J., Changes in phosphorus concentrations and pH in the rhizosphere of some agroforestry and crop species. *Plant Soil* 246, 65-73 (2002).
- [17] Ngoyi Nsomue Adolphe, Masanga Kishiko Gustave, Mukendi Tshibungu Remy, Mualukie Mbayo Angel, and Ngoy Nyembo Dieudonné, 2020. Influence de l'apport des matières organiques sur la culture de poivron (*Capsicum annum* L.) cultivé sur un sol sableux à Kabinda, province de Lomami, en République Démocratique du Congo. Sous presse, *International Journal of Innovation and Applied Studies*.
- [18] Ngoy, 2007. Phytostabilisation des sols contaminés en métaux lourds au Katanga. Mise au point de la culture de *Rendlia altera* (Rendle) Chiov. Mémoire de DEA en Sciences Agronomiques. Université de Lubumbashi. RD Congo, 80p.
- [19] Ferreiro P., Lu S. Méndez A. and Gascó G., Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. *Solid Earth*, 5, 65–75 (2014).
- [20] Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma Q., Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Sci. Total Environ.* 368, 456-464 (2006).
- [21] Zhou L. X. and Wong J.W.C, Effect of Dissolved Organic Matter from Sludge and Sludge Compost on Soil Copper Sorption. *Environ. Qual.* 30, 878–883 (2001).