



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Impacts des décharges incontrôlées sur la qualité du sol dans les quartiers péri-urbains de la ville de Goma (Est RD Congo): cas du quartier MUGUNGA

Napoléon AMANI KAGADJU¹, Pascal NGUO BALINGENE^{2,3*},
Isaac BALUME KAYANI^{3,4} et Juste YAMONEKAWASSO³

¹Université de Goma/Faculté des Sciences et Techniques, Département de l'Environnement ; B.P : 204 Goma, RD Congo.

²Université de DSHANG/ Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Laboratoire des sciences du sol, B.P: 222 Dschang, Cameroun.

³Université de Goma/ Faculté des Sciences Agronomiques, B.P : 204 Goma, RD Congo

⁴International Institute of Tropical Agriculture (IITA)-Président O. Obasanjo reseach Campus- DR Congo, B.P : 1222 Bukavu, RD Congo.

*Auteur correspondant ; E-mail : nguobalingene@gmail.com

Received: 09-02-2023

Accepted: 17-05-2023

Published: 30 06 2023

RESUME

Le dépôt de déchets dans les décharges sauvages est une pratique qui ne laisse pas sain l'environnement. L'objectif de ce travail était d'évaluer les risques de contamination de l'environnement restreint en Eléments Traces Métalliques (ETM) par les décharges. Pour ce faire, deux décharges incontrôlées dont MUGUNGA I et MUGUNGA II et un site non colonisé par les déchets municipaux (témoin) ont fait l'objet des investigations. Des échantillons composites de sols ont été prélevés à la profondeur de 0-30 cm sur les trois sites. De plus, les cultures d'amarantes ont été installées et suivies sur les différents sites. Les analyses des échantillons de sol et de biomasse aérienne d'amarante ont été effectuées par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP/MS). Les résultats ont montré que les concentrations en ETM (Cu, Pb, Zn, Cd et As) dans les sols étaient inférieures aux valeurs limites sur tous les sites. L'index de pollution de chaque site est inférieur à 1. Dans la biomasse aérienne d'amarante, les concentrations en Cu, Cd et As étaient inférieures à la Concentration Maximale Réglementaire (CMR) ; l'on note néanmoins des concentrations en Zn et Pb supérieures aux CMR.
© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Eléments traces métalliques, décharges, contamination, amarantes, Mugunga.

Impacts of uncontrolled landfills to the soil quality in the peri urban areas for Goma city Mugunga district case

ABSTRACT

The dumping of waste in wild dumps is a practice that does not leave the environment healthy. The objective of this work was to assess the risk of contamination of the restricted environment in metallic Trace Elements (TME) by landfills. To do this, two uncontrolled landfills including MUGUNGA I and MUGUNGA II and a site not colonized by municipal waste (control) were investigated. Composite soils samples were taken

at the depth of 0-30 cm at the three sites. In addition, amaranth cultures have been installed and monitored on the various sites. In addition, amaranth cultures have been installed and monitored on the various sites. Analyzes of soils and aboveground amaranth biomass samples were performed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP/MS). The result showed that the concentrations of TME (Cu, Pb, Zn and As) in the soils were below the limit values on all the sites. The pollution index for each site was less than 1. In the aerial amaranth biomass, the concentrations of Cu, Cd and As were below the Maximum Regulator Concentration (MRC); however, there were Zn and Pb concentrations above the MRC.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Metallic Trace Elements, landfills, contamination, amaranth, Mugunga.

INTRODUCTION

L'évolution démographique et l'évolution technologique produisent des grandes masses de déchets solides et liquides d'origines différentes : domestiques, industrielles, hospitalières, d'agriculture commerciale. Ces déchets ne sont nuisibles qu'en raison de leur caractère encombrant ou inesthétique. Ils peuvent être toxiques et causer des grandes et graves pollutions à l'environnement (Belabed, 2018). Cette contamination joue sur l'agriculture urbaine qui est pour les pays en développement, une des activités nécessaires pour assurer la sécurité alimentaire des citoyens. Elle constitue d'ailleurs pour certaines personnes une ressource financière et contribue ainsi à l'intégration et à la réduction de la pauvreté des populations venues des campagnes (Olanrewaju et al., 2004).

Les décharges non contrôlées peuvent constituer des foyers de pollution chimique particulière. La pollution par les métaux lourds pendant la mise en décharge est sous l'action combinée de l'eau de pluie et de la fermentation naturelle. Les déchets produisent une portion liquide dite lixiviat, fraction riche en toxiques organiques et éléments métalliques (Belabed, 2018). Mais aussi, cette pollution peut provenir des gaz de combustion lors de l'incinération à ciel ouvert non contrôlée des déchets. Les cendres et les résidus sont riches en composants chimiques à propriétés toxiques. Les plus remarquables sont les métaux lourds (Zmirou et al., 2003). Etant non biodégradables, ils peuvent s'accumuler dans le sol (Mench et al., 2000). La forte concentration de ces éléments dans le sol agit comme un facteur de stress aux végétaux

entraînant une modification de la réaction physiologique pouvant conduire même à la sensibilité de la plante donc la mort de celle-ci face aux stress. Celle-ci peut développer la résilience donc la réaction de la plante qui lui permet de survivre aux stress métalliques et continuer à assurer sa descendance. Ceci grâce aux stratégies d'adaptation comme la détoxification, l'immobilisation et l'accumulation de ces métaux dans leurs tissus. Néanmoins, ces métaux lourds modifient aussi la composition floristique du site ne permettant que l'installation d'un nombre restreint d'espèce (Belabed, 2008).

Vue leur forte écotoxicité et leur probable implication dans des nombreuses pathologies (atteinte du système nerveux central, du foie, des reins, cancers et mal formation embryonnaire), les métaux lourds deviennent un problème à l'environnement. Ceci étant, les décharges à ciel ouvert des déchets domestiques, industriels, ... doivent être bien surveillées (Adriano, 2001 ; Abrahams, 2002).

Des études d'impact ont été réalisées sur les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques des décharges (Khattabi, 2002 ; Chofqi, 2004 ; Kouam, 2006), sur la qualité du lixiviat et la pollution des nappes hydriques (Mehdi, 2007; Guermoud, 2009) ainsi que la contamination des sols par les métaux lourds (Chadli, 2014). Dans la ville de Goma à l'Est de la RD Congo, peu de travaux se sont intéressés à la problématique des décharges non contrôlées comme source de la contamination métallique de la chaîne trophique. La ville de Goma a une population estimée à plus d'1 million d'habitants (INS,

2015). Malgré cette forte population, les municipalités de cette ville ne disposent pas des moyens nécessaires pour bien gérer les flux de déchets. Par conséquent, une part considérable de déchets produits est jetée dans les dépotoirs sauvages. Selon le Service de l'Environnement de la Ville de Goma (2020), la production des déchets de composition diverse y est de plus de 1144 m³ par mois. Ainsi, cette étude s'est fixé comme objectif d'évaluer les risques de contamination de l'environnement restreint en ETM par les décharges incontrôlées.

MATERIEL ET METHODES

Caractéristiques générales de la Zone d'étude

Cette étude a été réalisée dans le quartier MUGUNGA qui est l'un des 18 quartiers que compte la ville de Goma située à l'Est de la RD Congo. Elle se situe au bord du lac Kivu, à 29°14' de longitude Est et à 1°45' de latitude. Le climat de Goma est généralement chaud avec une amplitude thermique de 1,7°C et des précipitations très abondantes. Il comporte deux saisons très contrastées surtout au niveau des précipitations. Les saisons pluvieuses et chaudes (mars à mai et septembre à novembre). Les saisons relativement sèches et légèrement plus froides durent de janvier à février et de juillet à août. Avec un relief accidenté suite aux catastrophes naturelles qu'a connu la région depuis longtemps (Kyamusoke, 2009). La Figure 1 présente la carte de la zone d'étude.

Matériel

Les outils et équipements ci-après ont été utilisés au cours des investigations, il s'agit :

- Des sacs en polyéthylène pour la sauvegarde des échantillons du sol ;
- Une pelle pour le prélèvement des échantillons du sol ; un décimètre pour faciliter des mesures ;
- Un marqueur pour l'identification des échantillons ;
- Un GPS GARMIN 10 pour la prise des coordonnées géographiques des sites d'études ;

- Un appareil photographique pour la prise des images ; des jalons pour permettre le mesurage.

Méthode

Choix des sites

Cette étude a été réalisée sur deux sites faisant partie des décharges publiques incontrôlées de la ville de Goma entre le 01 septembre et le 30 octobre 2022. Il s'est agi de la décharge de MUGUNGA I (latitude : 740572 m et longitude : 9821346 m) élevé sur 1530 m d'altitude d'une superficie de 2 hectares et de MUGUNGA II (latitude : 736672 m, Longitude : 9822941 m) élevé sur 1531 m d'altitude d'une superficie de 14 hectares. Les deux ont été choisies dans le cadre de cette étude à raison de : (i) leur superficie importante, (ii) la densité et la typologie des déchets (issus des marchés, hospitaliers, de construction, ménages etc.).

Echantillonnage du sol

L'échantillonnage a été effectué selon les techniques de diagonale et de Médiane (FAO, IITA, 2000) respectivement sur le site de Mugunga I et Mugunga II à une profondeur de 0- 30 cm à l'aide d'une pelle. Sur le site MUGUNGA I, 18 carottes préliminaires ont été recueillies suivant la technique de Médiane. Quatre échantillons composites ont été expédiés au laboratoire de l'Office Congolais de Contrôle de Bukavu (OCC-BUKAVU). Sur le site de Mugunga II, la méthode en diagonale a été utilisée et couplée à celle développée par Nguelieu (2017). A cet effet, 5 échantillons composites ont été confectionnés et ensuite expédiés au laboratoire de l'OCC BUKAVU. Pour une étude comparative, un échantillon témoin a été recueilli sur un autre terrain en dehors du dépotoir sur un terrain situé au (latitude : 740374 m, longitude : 9821095 m) avec une élévation de 1524 m d'altitude.

Traitement des échantillons du sol

Les échantillons des sols ont été séchés à l'air libre en les étalant sur des paillasses au laboratoire, à température ambiante et à l'abri des rayons solaires suivant les recommandations de Nguelieu (2017). Après séchage, les gros agrégats et mottes ont été écrasés pour réduire leur taille et les

échantillons ont été homogénéisés. Après avoir relevé la masse totale, chaque échantillon séché a été tamisé à 2 mm à la main en évitant tout type de contamination entre les échantillons (NF ISO 11 464). Les masses des fractions fines ont été relevées avant de passer à l'élaboration des échantillons de laboratoire par la technique de quartage (NF X 31-100).

Méthodes d'analyses des éléments traces métalliques

L'extraction totale d'éléments métalliques dont, Pb, Zn, Cu, Cd, et As a été faite au laboratoire de l'OCC-BUKAVU. Les dosages des ETM ont été effectués par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif après attaque d'un acide (Noubissie, 2015).

Calcul de l'Index de pollution (IP)

L'index de pollution (IP) est calculé afin de déterminer la toxicité des sols des différents sites de la zone. En effet, l'IP est un critère qui permet d'évaluer la toxicité globale d'un sol contaminé. Cet index permet de mettre en exergue une contamination de type multiéléments dans les échantillons (Chon et al., 1998, Smouni et al., 2010). L'IP est calculé à partir de la moyenne des rapports des concentrations en métaux dans les échantillons de sol sur la base des valeurs directives limites (Chon et al., 1998). Ces valeurs limites correspondent aux niveaux tolérables des concentrations en métaux (ETM) dans le sol selon la norme AFNOR U44-41 (Baize, 1994). L'IP est déterminé par la formule suivante: $IP = [(Cu/100 + Pb/100 + Zn/300 + Cd/2 + As/25)/5]$; $IP > 1$ correspond à un sol pollué par plusieurs métaux.

Culture et échantillonnage des légumes

Sur chaque site (MUGUNGA I, MUGUNGA II, et le site témoin) a été érigée une culture d'amarante. L'accumulation des ETM par cette espèce fait d'elle un bon exemple de culture pour notre étude (Noubissie, 2015). Les plantes récoltées ont été soigneusement lavées et rincées respectivement avec de l'eau du robinet et avec de l'eau déminéralisée afin d'éviter une

éventuelle contamination par les substances chimiques. Elles ont ensuite été découpées en trois parties ; feuilles, tige et racines. Les feuilles et les tiges ont été séchées à l'étuve à 40°C et les échantillons ont été broyés et conditionnés dans des sachets en plastiques hermétiquement fermés et conservés au frais. Le nombre d'échantillons total de plante analysés est factoriel des sites, des deux parties de la plante choisies ($3 \times 2 = 6$). Dans chacun de ces échantillons a été évaluée la teneur en Pb, Zn, Cu, As, Cd.

Calcul du facteur de transfert (FT)

La capacité d'absorption des métaux lourds par les plantes peut être exprimée par l'utilisation de coefficients biologiques à savoir, le coefficient d'accumulation biologique (CAB), facteur de concentration biologique (FCB) (Fellet et al., 2007), facteur de translocation des parties souterraine vers les parties aériennes (FT) (Liu et al., 2014). Pour cette étude nous avons évalué la capacité d'absorption des éléments métalliques par le facteur de transfert des métaux du substrat sol vers les organes végétaux (FT) (Zayed et al., 1998 ; Kisku, 1999). C'est le ratio des concentrations des éléments métalliques enregistrées au niveau des parties de la plante et ceux enregistrés au niveau du sol (site où la plante s'est développée). La formule suivante exprime la valeur du FT pour les amarantes de chaque site (Belabed, 2018) Où [C] : Concentration des éléments métalliques (mg kg⁻¹).

$$FT = \frac{[C] \text{ plante}}{[C] \text{ Sol}} \quad \text{où FT : Facteur de transfert}$$

Traitement statistique des données

Les données brutes collectées au cours de l'étude ont été saisies dans le tableur Excel 2016. L'analyse de la variance (ANOVA 1) au seuil de probabilité de 5% a été déterminée à l'aide du logiciel Genstat afin de comprendre comment la teneur en ETM variait selon les différents sites. La matrice de corrélation entre ETM a été également déterminée à l'aide du logiciel SPSS.

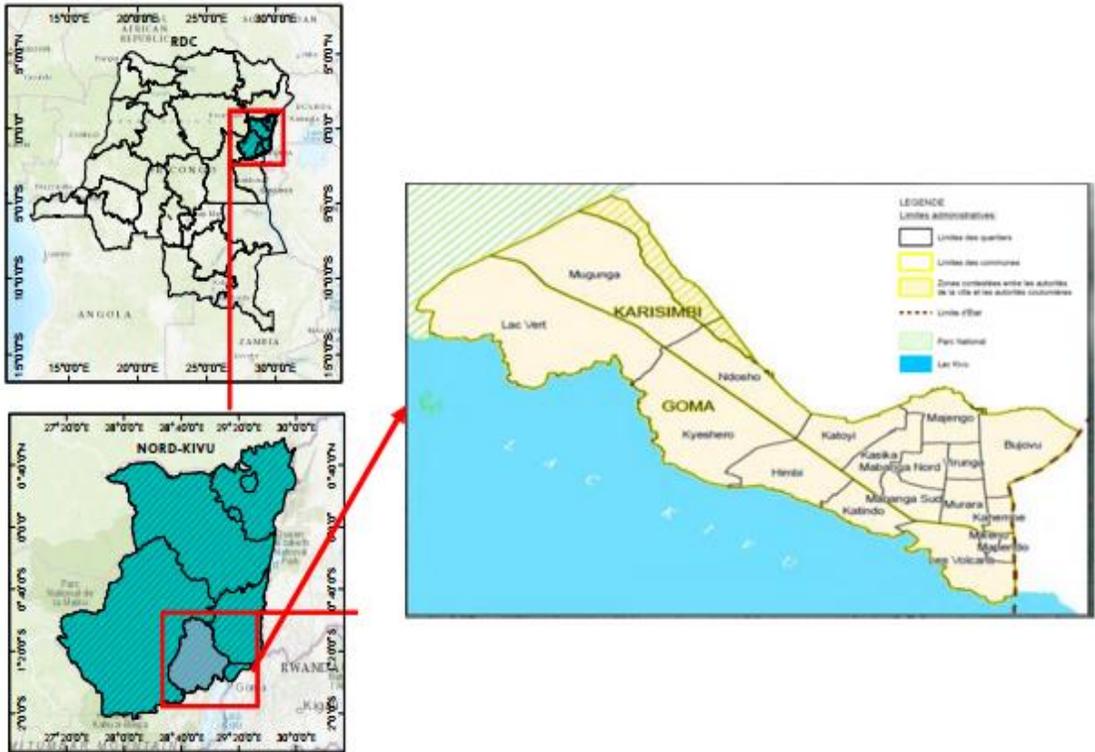


Figure 1 : Localisation de la ville de Goma (INS,2015).

RESULTATS

Teneur en Eléments traces métalliques dans le sol

Les résultats de la Teneur en Eléments traces métalliques dans le sol sont présentés dans le Tableau 1. L’analyse de la variance a montré des différences significatives (P= 0,002) entre les sites pour les éléments suivants : Cu, Zn et Cd. Néanmoins, des différences non significatives entre les sites sont révélées pour le Pb et l’As. Les sols du site Témoin et des décharges (Mugunga I et Mugunga II) présentent des teneurs en Eléments Traces Métalliques (ETM) plus faibles que la norme considérée dans cette étude. Pour le Cu, le site témoin présente une grande valeur ($4,43 \pm 0$ mg/kg) significativement supérieure à celles de décharges de Mugunga I ($4,3325 \pm 0,03$ mg/kg) et de Mugunga II ($4,298 \pm 0,01$ mg/kg). En ce qui concerne le Pb, le Site Témoin enregistre la plus grande teneur

($24,43 \pm 0$ mg/kg) suivi de Mugunga II avec une teneur de $24,394 \pm 0,02$ mg/kg et enfin Mugunga I avec une teneur de $24,3325 \pm 0,02$ mg/kg. Pour le Zn, il s’observe une grande teneur sur le site Témoin ($37,4 \pm 0$ mg/kg), suivi de Mugunga II avec une teneur de $37,278 \pm 0,003$ mg/kg. Mugunga I renferme la teneur la plus faible en Zn ($37,2325 \pm 0,01$ mg/kg). La même tendance est observée pour le Cd ; ainsi, le site Témoin enregistre une valeur élevée ($0,54 \pm 0$ mg/kg) significativement supérieure aux valeurs de Mugunga II et Mugunga I représentant respectivement $0,504 \pm 0,007$ et $0,4825 \pm 0,4$ mg/kg. Quant à l’As, Mugunga I s’est avéré être la décharge ayant la teneur la plus élevée ($0,0275 \pm 0,003$ mg/kg), les valeurs les plus faibles ont été obtenues dans la décharge de Mungunga II et le Site Témoin.

Matrice de corrélation des éléments traces métalliques

La matrice de corrélation entre les ETM est présentée dans le Tableau 2. Il s'observe une corrélation forte entre le cuivre et le Zinc. Celle entre le Cadmium et le Plomb est faible. On observe aussi une corrélation forte entre l'arsenic avec le cuivre. Une corrélation forte entre l'arsenic et le zinc s'observe aussi ; tandis que celle de l'arsenic et du cadmium est faible.

Accumulation des ETM dans la biomasse aérienne des amarantes

Les résultats sont présentés dans le Tableau 3. L'analyse de la variance montre des différences non significatives entre les sites pour tous les éléments traces métalliques. Toutefois, le Cu, le Cd et l'As présentent des valeurs moyennes inférieures à la norme de référence considérée dans cette étude et ce, au niveau de tous les sites. Parcontre, au niveau de tous les sites, les valeurs moyennes du Zn et du Pb sont supérieures à la Concentration Maximale Requise.

La teneur en Cu la plus élevée ($4,22 \pm 1,87$ mg/kg) a été obtenue sur le site Témoin, Mungunga I vient en seconde position avec une teneur de $4,2 \pm 0,03$ mg/kg et la teneur la plus faible ($4,18 \pm 0,01$ mg/kg) est observée sur la décharge de Mugunga II. En ce qui concerne le Pb, Mugunga I est plus riche ($13,475 \pm 0,5$ mg/kg), suivi du site Témoin avec une teneur de $12,695 \pm 5,64$ mg/kg puis Mugunga II ($12,26 \pm 0,19$ mg/kg). En effet, Mugunga I s'est avéré être plus riche en Zn ($14,825 \pm 0,14$ mg/kg), suivi du site Témoin

($14,795 \pm 6,57$ mg/kg) et en fin la décharge de Mugunga II ($14,72 \pm 0,07$ mg/kg). Les deux décharges dont Mugunga I et Mugunga II ainsi que le site Témoin ont présenté la même teneur en Cd ($0,07$ mg/kg). Il en est de même pour l'As, il s'observe une même valeur dans les 3 sites qui est de $0,015$ mg/kg.

Index de pollution (IP) des éléments traces métalliques dans le sol

Les résultats de l'IP sont représentés dans le Tableau 4. Il ressort de ce tableau que l'IP de Mugunga II est plus élevé (0,6616), suivi de Mugunga I qui enregistre l'IP de 0,6519. Le site témoin présente l'IP le moins élevé (0,5816) révélant ainsi qu'il est le site avec des possibilités faibles de pollution.

Facteur de transfert (FT) des différents éléments traces métalliques par apport aux sites

Les résultats du facteur de transferts de différents ETM suivant les sites sont repris dans le Tableau 5. Il ressort de ce tableau que l'As présente la valeur la plus élevée de FT (1) au niveau du site Témoin, les valeurs de FT sont de 0,66 pour Mugunga I et 0,33 pour Mugunga II. Pour le Cu, le site Témoin présente une grande valeur de FT (0,98), suivi par Mugunga I (0,97) et en fin Mugunga II (0,96). Pour le Cd, les FT sont de 0,25 ; 0,18 et 0,16 respectivement pour le site Témoin, Mugunga II et Mugunga I. Concernant le Zn, le FT est plus grand dans la décharge de Mugunga I, ensuite vient Mugunga II (0,39) et enfin le site Témoin (0,37).

Tableau 1 : Teneur en ETM dans le sol (mg/Kg).

	Cu	Pb	Zn	Cd	As
MUGUNGA I	$4,3325^b \pm 0,03$	$24,3325 \pm 0,02$	$37,2325^c \pm 0,01$	$0,4825^c \pm 0,4$	$0,0275 \pm 0,003$
MUGUNGA II	$4,298^c \pm 0,01$	$24,394 \pm 0,02$	$37,278^b \pm 0,003$	$0,504^b \pm 0,007$	$0,02 \pm 0,004$
TEMOIN	$4,43^a \pm 0$	$24,43 \pm 0$	$37,4^a \pm 0$	$0,54^a \pm 0$	$0,02 \pm 0$
NORME	100	100	300	2	25

Les moyennes ne partageant pas les mêmes lettres sont statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Légende :¹Norme AFNOR U44-41.

Tableau 2 : Matrice de corrélation entre les ETM.

	Cu	Zn	Pb	Cd	As
Cu	1				
Zn	0,82783735	1			
Pb	-0,0753778	-0,1961161	1		
Cd	-0,7684005	-0,7844645	-0,375	1	
As	0,67840053	0,78446454	-0,25	-0,375	1

Tableau 3 : Accumulation des ETM dans la biomasse aérienne des amarantes en mg/kg.

	Cu	Pb	Zn	Cd	As
MUGUNGA I	4,2 ± 0,03	13,475 ± 0,5	14,825 ± 0,14	0,07 ± 0,01	0,015± 0,005
MUGUNGA II	4,18 ± 0,01	12,26 ± 0,19	14,72 ± 0,07	0,07 ± 0,02	0,015 ± 0,01
TEMOIN	4,22 ± 1,87	12,695 ± 5,64	14,795 ± 6,57	0,07 ± 0,03	0,015 ± 0,01
NORME (CMR)	10	3	0,5	2	0,35

Tableau 4 : Index de pollution (IP) des éléments traces métalliques dans le sol.

SITE	IP
MUGUNGA I	0,6519
MUGUNGA II	0,6616
SITE TEMOIN	0,5816

Tableau 5 : Facteur de transfert des ETM suivant les sites.

SITES	FT				
	Cu	Pb	Zn	Cd	As
MUGUNGA I	0,97	0,57	0,44	0,16	0,66
MUGUNGA II	0,96	0,51	0,39	0,18	0,33
TEMOIN	0,98	0,52	0,37	0,25	1

DISCUSSION

Les résultats de cette étude montrent que les valeurs moyennes des concentrations en éléments traces métalliques des sols varient en fonction de l'élément métallique. Ils sont comparables à ceux de plusieurs auteurs (Baize, 2000, 2004 et 2009; Kao et al., 2007 ; Smouni et al., 2010 ; Tankari Dan-Badjo et al., 2013, 2014 ; Noubissie, 2015; Ekengele-Nga et al., 2016; Hodomihou et al., 2016 ; Nguelieu, 2017 ; Kouakou et al., 2019; YE et al., 2020,) qui ont montré que les teneurs totales en éléments traces métalliques (ETM) des sols varient en fonction du type de sol, de l'élément métallique et des sources de contamination (les produits fertilisants, les produits phytosanitaires, les retombées atmosphériques, les apports en déchets municipaux).

Le Zn est l'élément métallique qui a une concentration moyenne la plus élevée dans les sols de décharges étudiées et même du site témoin. Des valeurs élevées de concentrations du Zn dans les sols, comparativement aux autres éléments, ont été également rapportées par de nombreux auteurs (Baize 2000 ; Baize et al., 2006 ; Tankari et al., 2013, 2014). Par ailleurs, les valeurs maximales des concentrations des différents éléments dans les sols de la zone d'étude restent faibles comparativement à celles obtenues dans certains types de sols notamment en France (Baize, 2000 ; Mench et Baize, 2004) ; au Niger (Tankari et al., 2013) et au Maroc (Smouni et al., 2010). Dans cette étude, les valeurs des concentrations obtenues ont été donc comparées aux valeurs limites de la norme française AFNOR U44-41.

Les résultats indiquent que les valeurs moyennes des concentrations en ETM (Cu, Zn, Pb, Cd, et As) dans les sols de tous les sites de la zone sont inférieures aux valeurs limites de cette norme. En plus, tous les sites de prélèvement ont des valeurs d'IP inférieures à 1 dans les trois sites étudiés suggérant ainsi qu'il n'y a pas eu de contamination multiple de leurs sols par les ETM. Contrairement à nos résultats, des IP supérieurs à 1 ont été obtenus sur des sols des zones urbaines et périurbaines (Tankari et al., 2013) et des zones minières. (YE et al., 2020 ; Smouni et al., 2010). Les

résultats obtenus suggèrent donc que les sols des différents sites de la zone sont relativement de bonne qualité même si les deux décharges (MUGUNGA I et MUGUNGA II) qui sont des sites ayant reçus régulièrement les déchets urbains solides pendant plusieurs années, semblent présenter, en fonction des ETM, des teneurs relativement élevées comparativement au site témoin. Cependant, des précautions doivent être prises car l'apport de ces déchets renfermant des ETM (YE, 2007, Agueh et al., 2015) pourrait entraîner une accumulation de ces derniers dans les couches superficielles des sols (Baize et al., 2006) et, par conséquent, une contamination des produits agricoles (Agueh et al., 2015). Néanmoins s'agissant de la petite concentration des ETM dans ces sols, les faibles teneurs observées après analyse pourraient provenir des apports anthropiques tel qu'explique Lecomte (1985), en indiquant une absence de teneurs supérieures à la norme en ETM dans les sols de Yaoundé.

La teneur du cuivre dans les trois sites investigués allant de de 4,34 mg/ Kg ; 4,32 mg/kg et 4,12 mg/kg respectivement pour le site MUGUNGA I, MUGUNGA II et le site témoin, étant bien inférieure à la valeur limite telle que donnée par AFNOR U44-41 ; reste aussi conforme à celle obtenue par YE et al.(2020) dans le sol des décharges incontrôlées de la ville de Bobo-Dioulasso au Burkina-Faso. Des telles concentrations, suivant les études de Smouni et al. (2010) ; Kouakou et al. (2019) ; ne présentent pas des risques de contamination du sol selon que même leur Index de pollution reste inférieur à 1.(YE et al., 2020).

Les teneurs du Pb étant comprises entre 24,42 ; 24,40 ; 24,20 mg/kg respectivement pour les sites MUGUNGA I, MUGUNGA II et le site témoin, se trouvent confirmées par celles trouvées par YE et al. (2020), dans le même sol des décharges incontrôlées de la ville Bobo-Dioulasso au Burkina Faso. Ces résultats divergent avec ceux trouvés dans les sols du bas-fond maraîcher de MOKOLO ELOBIE (124.2 mg/kg/MS) (Nguelieu, 2017). Dans ses études, il indique que l'utilisation des pesticides et fertilisants chimiques, est généralisée sur ce bas-fond dont les pratiquants de l'agriculture ont déclaré que cette pratique

est parfois incontournable pour des besoins de rendement rapide en termes de volume de production et de qualité apparente des produits. Au-delà de cette affirmation qui justifierait la grande prépondérance de cet ETM, s'ajoute le fait que MOKOLO ÉLOBIE situé en zone dite semis industrialisée s'est avéré contaminé pour l'ensemble même des éléments Cd, Zn et Pb. L'on note également la présence des semis industries métalliques et ateliers de récupérations diverses et le déversement d'énormes quantités de déchets de toutes sortes dans les cours d'eau qui desservent ce bas fond. Le site est limitrophe aux nombreux ateliers de dépannage (frigo, fer à repasser, groupe électrogène, téléviseur, radiateur, etc.), ce qui n'est pas le cas pour nos sites d'études MUGUNGA I et MUGUNGA II.

Nos résultats pour le Zn dans trois sites investigués convergent avec ceux trouvés par Nguelieu (2017), et YE et al., 2020, respectivement dans les sols des bas-fonds de EZAZOU VILLAGE et ÉTOUG-ÉBÉ pour Nguelieu et pour le sol des décharges de la ville étudiée par YE et al., en 2020. Ils divergent néanmoins avec ceux du bas fond de MOKOLO ÉLOBIE étudié par le même auteur (Nguelieu, 2017) ; la teneur élevée en ce métal comme pour les autres dont le Cd et As qui sont pourtant conformes à nos résultats pour les deux autres sites investigués par cet auteur reste due aux raisons précitées précédemment pour la grande teneur du Pb dans le même site.

Tous les ETM étudiés, se trouvent à des concentrations inférieures à la norme, et leur index de pollution (IP) reste inférieur à 1. En effet, selon les travaux de (Smouni et al., 2010 ; YE et al., 2020), ils sont sans risque majeurs de la toxicité du sol. Mais ceux-ci peuvent avoir, selon les travaux de Belabed (2018) ; des conséquences aux plantes surtout si leur facteur de transfert (FT) est supérieure à 1.

En ce qui concerne la biomasse aérienne des légumes d'amarantes installés sur nos sites d'étude, nous avons noté une mobilité des ETM du sol dans les feuilles et dans les tiges et une intoxication par dépassement de la concentration maximale de référence (CMR) pour certains métaux tels que recommandé (Pb et Zn). En effet, il existe une disponibilité et un

transfert des fractions métalliques des sols vers la plante à travers les voies de la nutrition minérale. Il est à noter que l'appareil racinaire joue un rôle essentiel dans l'absorption des éléments minéraux à partir de la solution du sol. Cependant, les racines des plantes excrètent elles aussi des acides afin d'augmenter leur absorption de nutriments, ou tout simplement comme déchets métaboliques (Foy, 1978). Cette acidification favorise aussi la mobilité des autres éléments qui ne sont pas indispensables pour le métabolisme végétal. En effet, Diop et al. (2022) ont remarqué une diminution de la pollution au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point central et une accumulation de Zn et Pb à proximité de la décharge.

La comparaison des teneurs totales en ETM dans les légumes par rapport aux normes montre que, les teneurs en Cu dans les amarantes étudiées sont inférieures au seuil fixé à 10 mg/kg MS, quelle que soit la méthode de lavage et l'espèce potagère. Avec une moyenne de 4,17mg/kg, elle est inférieure à celle trouvée par les résultats de Mpundu et al. (2013), mais converge avec celle trouvée par Badjo et al. (2013).

Pour le Zn, la biomasse aérienne d'amarante contient des teneurs moyennes excédant les normes (Kabata-Pendias et Pendias, 2001), malgré que la teneur excède la concentration maximale de référence (CMR) ; elle est inférieure à celle trouvée par Mpundu et al. (2013).

Pour les autres ETM, les légumes ont une concentration inférieure à la concentration maximale de référence (CMR) fixée, tel est le cas pour l'As et le Cd. La CMR établie en France étant de (Pb : 3 mg/kg MS, Cd : 2 mg/kg, Cu : 10 mg/kg, Zn : 0,5 mg/kg et As : 0,35 mg/kg MS) (Mench et Baize, 2004). Il s'observe donc dans les légumes des teneurs élevées en Pb et en Zn par rapport aux CMR, ceci est aussi confirmé en examinant la valeur de leur Facteur de Transfert.

Conclusion

Le présent travail avait comme objectif d'évaluer les risques de contamination de l'environnement restreint en ETM par les

décharges incontrôlées. Les résultats ont montré qu'au niveau des sols, la plupart des éléments traces métalliques restent en dessous des valeurs critiques fixées par AFNOR. De plus, les trois sites dont deux décharges et le site témoin, ont la même concentration des ETM dans les légumes, mais il faut signaler que deux métaux à savoir le Plomb et le Zinc ont une teneur supérieure au CMR et présenteraient donc un danger pour les consommateurs tandis que le cuivre, le cadmium et l'Arsenic ont par contre présenté des valeurs inférieures aux CMR. Partant des résultats obtenus, nous suggérons que d'autres études soient menées dans la chronoséquence et dans la toposéquence. Les municipalités devraient fournir les efforts en matière de gestion de déchets en renforçant le système de collecte et de tri des déchets à la source et la mise au point du centre d'enfouissement technique.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

NAK est l'auteur principal et a réalisé le travail sur le terrain. PNB, IBK et JYW ont supervisé les travaux sur terrain, le traitement statistique des données et ont suivi toute la phase de rédaction de cet article.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la division provinciale de l'environnement du Nord-Kivu pour nous avoir permis d'accéder aux décharges incontrôlées de Goma en vue de la réalisation de cette étude.

REFERENCES

Abrahams, PW. 2002. Soils: their implications to human health. *The Science of the Total Environment*. **291**:1-32. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)01102-0

Adriano DC. 2001. *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals*. 2nd Edition Springer-

Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 867p.

- Agueh V, Degbey CC, Sossa-Jerome C, Adomahou D, Paraiso MN, Vissoh S, Makoutode M, Fayomi B. 2015. Niveau de contamination des produits maraîchers par les substances toxiques sur le site de Houéyiho au Bénin. *Int. J. Biol. Chem.Sci.*, **9**(1): 542-551. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.46>
- Baize D. 1994. Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français. Premiers résultats du programme ASPITET. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 54-67
- Baize, D. 2000. Teneurs totales en " métaux lourds " dans les sols français, résultats généraux du programme ASPITET. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, **39** : 39-54.
- Baize, D. 2009. Éléments traces dans les sols. Fonds géochimiques, fonds pédogéochimiques naturels et teneurs agricoles habituelles : définitions et utilités. *Courrier de l'Environnement de l'INRA.*, **57** : 63-72.
- Belabed S. 2018. Contribution à l'Etude de la Pollution Métallique du Sol et de la Végétation au Niveau des Décharges publiques non Contrôlées à Mostaganem. Thèse de doctorat en Ecologie et environnement, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 134 p
- Chadli A, Baba H, Hé B, Kihal M. 2014. Physical and Chemical Characterization of Different Stages of Landfill Leachate from Ain-Temouchent Engineered Landfill (Algeria). *Advances in Environmental Biology.*, **8** (1) : P 18-24.
- Chofqi A, Abedlkader Y, EL Kbir L, Jacky M, Jacques M, Alain V. 2004. Environnemental impact of an urban landfill on a coastal aquifer (El Jadida, Morocco). *J. Afr. Earth Sci.*, **39**: 509–516. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2004.07.013
- Chon H, Ahn J, Jung MC. 1998. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soil and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea. *Environmental*

- Geochemistry and Health.*, **20**: 77-86. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006593708464>
- Diop T, Diarra A, Diallo MA, Dione MM, Diop A. 2022. Impact d'une décharge urbaine sur la contamination métallique des sols : cas de la décharge de Mbeubeuss (Dakar). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **16** (6): 2992-3002. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i6.41>
- Noubissie E. 2015. Spéciation des composés organométalliques (Hg, Sn, Pb) dans les sols des cultures maraîchères et dans trois espèces de plantes cultivées à Ngaoundéré (Cameroun). Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, 226p.
- Ekengele Nga L, Mabrey Sadjo S, Zo'o Zame P. 2016. Evaluation de la contamination métallique des sols exposés à l'incinération des pneus d'automobiles dans la ville de Ngaoundéré (Cameroun). *J. Mater. Environ. Sci.*, **7** :(12)
- Kyamusoke EB. 2009. Problématique de la promiscuité de logement et son impact sur la population du quartier MAPENDO dans la ville de Goma en RDC. Mémoire de fin d'étude, Faculté de Sciences Biomédicales, Université ouverte Campus de Goma, RDC, 76p
- Fellet G, Marchiol L, Perosa D, Zerbina G. 2007. The application of phytoremediation technology in a soil contaminated by pyrite cinders. *Ecological Engineering.*, **31**:207-214. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2007.06.011
- Guermoud N. 2009. Etude de l'impact des décharges publiques sur la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Mostaganem. Thèse de Doctorat d'état en chimie, Université de Mostaganem, Algérie, 157 p.
- Hodomihou NR, Feder F, Masse D, Agbossou KE, Amadji GL, NdourBadiane Y, Doelsch E. 2016. Diagnostic de contamination des agrosystèmes périurbains de Dakar par les éléments traces métalliques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **20** (3) : 1-11.
- INS, 2015. Goma et ses avenues. Institut National des Statistiques du Nord-Kivu, 38p
- Kao T, El Mejahed K, Bouzidi A. 2007. Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie., **29** : 89-92.
- Khatabi H. 2002. Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etueffont. Thèse de Doctorat .p167 (Belfort, France).
- Kisku GC, Barman SC, Bhargava SK. 1999. Contamination of soil and plants with potentially toxic elements irrigated with mixed industrial effluent and its impact on the environment. Environmental Monitoring Division, *Industrial Toxicology Research Centre*, P.O. Box No. 80, Lucknow 226 001, U.P. India
- Kouakou KJ, Gogbeu SJ, Sika AE, Yao KB, Bounakhla M, Zahry F, Tahri M, Dogbo DO, Bekro YA. 2019. Caractérisation physico-chimique des horizons de surface de sols maraîchers dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13** (2): 1193-1200. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.47>
- Kouame IK, Gone DL, Savane I, Kouassi EA. 2006. Mobilité relative des métaux lourds issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du Continental Terminal. *Afrique Science.*, **02** (1) : 39 – 56
- Lambiéno YE, Désiré JP, Aboubakar S et Hassan BN. 2013. Evaluation des teneurs en éléments traces métalliques des sols soumis à l'apport des déchets urbains solides. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **14** (9): 3361-3371, DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.31>
- Liu CW, Chen YY, Kao YH, Maji SK. 2014. Bioaccumulation and translocation of arsenic in the ecosystem of the Guandu wetland, Taiwan. *Wetlands.*, **34** (1) : 132–150. DOI: 10.1007/s13157-013-0491-0.

- Mehdi M. 2007. Caractéristiques de la décharge publique de la ville de Tiaret et son impact sur la qualité des eaux souterraines. *Courrier du Savoir.*, **08** : 93-99.
- Mench MJ, Manceau A, Vangronsveld J, Clijsters H, Mocquot B. 2000. Capacity of soil amendments in lowering the phytoavailability of sludge-borne Zn. *Agronomy*, **20** :383-397.
- Nguelieu CR. 2017. Evaluation des risques de contamination en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn) des sites maraîchers urbains de Yaoundé (Cameroun). Travail de Fin d'Etude, Université de Liège Gembloux Agro-Biotech, Belgique, 59p.
- Olanrewaju B, Smith, Moustier P, Mougeot L, Fall A. 2004. Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, concepts et méthodes, *CIRAD-CRDI*, Montpellier, 164p
- Service de l'Environnement de la Ville de Goma, 2020. Rapport annuel sur l'Etat environnemental de la ville de Goma, 35p
- Smouni A, Ater M, Auguy F, Laplaze L, El Mzibri M, Berhada F, Doumas P. 2010. Évaluation de la contamination par les éléments-traces métalliques dans une zone minière du Maroc oriental. *Cahiers Agricultures*, **19** (4) : 273-279. DOI : 10.1684/agr.2010.0413
- Tankari DA, Guéro Y, Dan Lamso N, Zakaria IO, Ambouta JMK, Feidt C, Echevarria G, Sterckeman T. 2014. Spatialisation de la pollution par les éléments traces métalliques des sols de la vallée de Gounti Yena, Niamey. *Annales de l'Université Abdou Moumouni*, Tome XVII-A : 179-191.
- Timothy R, Vlassenroot, Conflict and Social Transformation in Eastern DR Congo, *Academia Press*, USA, 2004, p. 105
- YE L. 2020. Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agricultures urbaine et périurbaine : cas de Bobo Dioulasso. Mémoire de DEA, *Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso*, Burkina Faso, 48p.
- Zayed A, Gowthaman S, Terry N. 1998. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants, Duckweed. *J. Environ Qual.*, **27**:700-721
- Zmirou D, Beausoleil, de Coninck P, Deportes I, Dor F, Empereur-Bissonnet P, Hours M., Keck G., Lefebvre L., Rouisse L. 2003. Déchets et sols pollués. Environnement et santé publique-Fondements et pratiques,. 397-440. Edisem/Tec et Doc, *Acton Vale/Paris*.