

Évaluation de la concentration en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols des décharges publiques de la ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo

René GIZANGA¹, Jessica BONYA¹ et Fils MILAU^{2*}

¹ *Université de Kinshasa, Département des Sciences de l'Environnement, Laboratoire d'Écotoxicologie, Santé des Écosystèmes et Microbiologie Environnementale, BP 190 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo*

² *Université de Kinshasa, Département des Sciences de l'Environnement, Laboratoire de Gestion des Ressources Naturelles, BP 190 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo*

(Reçu le 24 Mai 2022 ; Accepté le 20 Octobre 2022)

* Correspondance, courriel : filsmilau@gamil.com

Résumé

D'importantes quantités de déchets urbains, renfermant parfois des éléments traces métalliques (ETM) aboutissent dans les décharges publiques de la ville de Kinshasa. L'objectif de cette étude est d'évaluer les concentrations en ETM des sols des décharges publiques de la ville de Kinshasa dans le but de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'environnementale de la zone d'étude. Des échantillons composites de sols ont été prélevés, dans trois sites des décharges dans la ville de Kinshasa. L'analyse des échantillons de sol a été effectuée par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif. Les résultats montrent que les concentrations en Pb et Cd des sols sont très variées. Elles varient en fonction de l'ETM et du site de la décharge. Les concentrations des différents ETM dans les sols sont supérieures aux valeurs limites sur tous les sites. Ces résultats montrent une accumulation des métaux dans les sols qui peuvent persister dans l'environnement. Cela peut poser de sérieux risques sanitaires pour l'Homme.

Mots-clés : *décharges, sols, pollution, ETM, Kinshasa.*

Abstract

Evaluation of the concentration of trace metals elements (TME) in the soils of public landfills in the city of Kinshasa in the Democratic Republic of Congo

Large quantities of urban waste, sometimes containing trace metals (TME), end up in public landfills in the city of Kinshasa. The objective of this study is to assess the TME concentrations in the soils of Kinshasa's public dumpsites in order to contribute to the improvement of the environmental quality of the study area. Composite soil samples were collected from three landfill sites in the city of Kinshasa. Analysis of the soil samples was carried out by inductively coupled plasma mass spectrometry. The results show that the Pb and Cd concentrations in the soils are very varied. They vary according to the MTE and the site of the landfill.

The concentrations of the different MTEs in the soil are above the limit values at all sites. These results show an accumulation of metals in soils that can persist in the environment. This can pose serious health risks for humans.

Keywords : *landfills, soil, pollution, TME, Kinshasa.*

1. Introduction

Le développement des activités urbaines, industrielles et agricoles durant ces dernières décennies a entraîné de nombreux problèmes de pollution, notamment en éléments traces métalliques (ETM) et en polluants organiques. Certains de ces impacts, notamment sur le sol, sont encore mal identifiés [1, 2]. Les éléments traces métalliques sont des polluants fréquemment rencontrés dans les sols. Ils sont aujourd'hui rencontrés dans les multiples secteurs de la vie économique de la ville-province de Kinshasa. Les décharges sont actuellement l'option commune pour le dépôt final des déchets solides municipaux [3]. La République Démocratique du Congo (RDC) est confrontée au problème de pollution des eaux de surface et des sols notamment dans la ville de Kinshasa où l'on assiste à une urbanisation et une industrialisation galopante. Les dysfonctionnements des stations d'épuration, l'absence de système de collecte des eaux usées ainsi que l'implantation des décharges à ciel ouvert près des cours d'eau entraînent une dégradation de la qualité de l'environnement [4]. En effet, l'environnement sanitaire de la ville Kinshasa, s'est fortement dégradé suite à une forte pression démographique et à une mauvaise gestion des déchets solides. La gestion des déchets solides pose un énorme problème dans la mesure où le système mis en place n'est totalement pas adapté et ne donne pas des résultats escomptés. Ces dépôts constituent une réelle menace environnementale [2, 4]. Le déversement incontrôlé et sans traitements préalables d'ordures dans des décharges entraîne la pollution de l'environnement. Les déchets sont apportés directement sur les sols et les polluent fortement. Des nombreuses études ont montré que ces déchets renferment parfois des éléments indésirables tels que les éléments traces métalliques (ETM) ou métaux lourds et les polluants organiques [5 - 7].

La pollution des sols par les ETM pourrait également engendrer la contamination de la chaîne alimentaire via les produits végétaux, les eaux de boissons, mettant ainsi en danger la santé de la population [6, 8, 9] A l'échelle de Kinshasa, la dynamique observée dans la gestion des déchets publics montre que les sols se comportent comme accumulateurs en traces métalliques. Des auteurs s'accordent du fait que dans des zones industrielles, la pollution est causée essentiellement par les éléments métalliques, des contaminants organiques et biologiques [2, 6, 10, 13]. En effet, une étude très récente sur le degré d'exposition de la population Kinois aux polluants environnementaux démontre bel et bien la présence des ETM dans les fluides biologiques. La disponibilité des ETM dans des milieux de vie varie d'un endroit à un autre en fonction de la nature des déchets de leur phase de décomposition et des espaces impactés [7, 14]. En revanche, jusqu'à ce jour, il n'existe pas d'étude dans la ville de Kinshasa concernant l'impact direct des décharges à ciel ouvert sur la qualité des sols malgré le danger qu'elles peuvent engendrer et qui a été démontré dans plusieurs études dans d'autres pays [13, 15 - 17]. Ces études démontrent que les décharges à ciel ouvert constituent une réelle menace environnementale par les lixiviats qui en résultent [18]. Le lessivage des déchets par les eaux de pluie provoque la pénétration de diverses substances polluantes dans les sols, les eaux souterraines mais aussi dans les cours d'eau voisins [18 - 22]. L'objectif de cette étude est d'évaluer les concentrations en ETM des sols des décharges publiques de la ville de Kinshasa dans le but de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'environnementale de la zone d'étude.

2. Matériel et méthodes

2-1. Sites d'étude

Les zones d'étude sont situées dans la ville-province de Kinshasa, la capitale administrative de la République Démocratique du Congo ; comprise entre 4 et 5° de latitude Sud et 15 et 16° 3' de longitude Est. Trois sites de décharges publiques de la ville-province de Kinshasa ont fait l'objet de cette étude notamment : le site de Bralima (04° 18' 26.1" Sud, 015° 19' 31,5" Est ;), site Cardinal Malula (04° 19' 19.3" Sud, 015° 18' 48.0" Est) et le site Kimbanguiste (04° 20' 49.8" Sud, 015° 17' 50.9" Est) respectivement dans les communes de Gombe, Kinshasa et Kasa-vubu. Ces trois décharges présentent un intérêt particulier étant donné leur superficie importante, leur densité et la typologie des déchets.

2-2. Prélèvement des échantillons

Au total trois sites de décharges ont été prospectés. Pour chaque site prospecté 2 Kg de sols ont été prélevés et ce, au point zéro (pour chaque point zéro les 20, 40 et 60 premiers centimètres de sols ont été récoltés) à l'aide d'une tarière. Outre le point zéro, deux autres parcelles de prélèvement de sol ont été choisi en amont et en aval à environ 5 à mètres de la décharge. Tous les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et transférés au laboratoire où ils ont été réfrigérés à 4 °C pendant 24 heures avant d'être analysés. Les coordonnées des différents points de prélèvement et de mesure de l'émanation du biogaz ont été relevées à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin.

2-3. Analyse de métaux lourds dans le sol

Les analyses de sol ont porté sur un échantillon moyen ; c'est-à-dire sur l'échantillon obtenu après mélange à proportions identiques de différents échantillons de sol. Les échantillons de sols ont été séchés à une température ambiante (< 40°C), broyés et tamisés à 2 mm. L'extraction et le dosage des ETM totaux dans les sols ont été réalisés au laboratoire de Pédologie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa. La mise en solution de Pb et du Cd a été effectuée à l'aide d'un mélange d'acide fluorhydrique et perchlorique (HClO₄) selon la norme NFX 31-151. L'analyse est effectuée par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif. Le pH et l'humidité ont été relevés in situ à l'aide d'un multi-paramètres de marque WTW.

2-4. Analyse statistique

Le test statistique utilisé est le test d'ANOVA de comparaison des moyennes suivi du test de Fisher. Le logiciel utilisé est XLSAT. Aussi, les résultats des analyses de laboratoire sont évalués selon les normes de l'OMS [23].

3. Résultats

3-1. Variation du pH et de l'humidité des sols des décharges

La *Figure 1* présente l'évolution du pH des sols des décharges. On remarque un pH acide, tendant vers la neutralité en amont et en aval des décharges. Les concentrations les plus élevées s'observent au niveau des décharges du site Bralima et du stade Cardinal Malula suivie de celle du site Kimbanguiste.

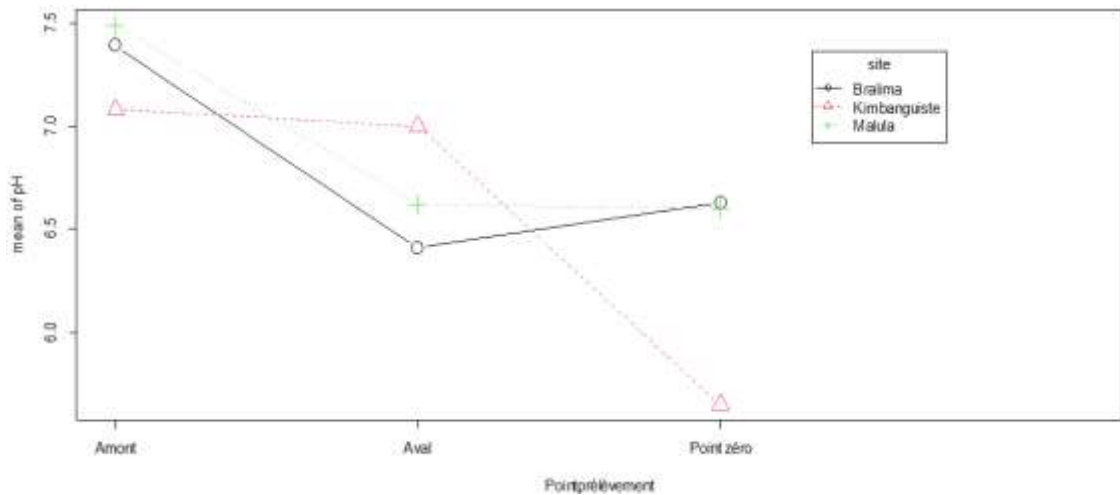


Figure 1 : Variation du pH des sols des décharges

La **Figure 2** présente les valeurs de l'humidité. Les résultats montrent des différences très significatives. L'humidité observée renseigne une favorisation de l'activité biologique probable du sol, et donc la production de substance susceptible de mobiliser les ETM ainsi que leur prélèvement par les racines et leur passage dans la chaîne trophique [2, 4, 7].

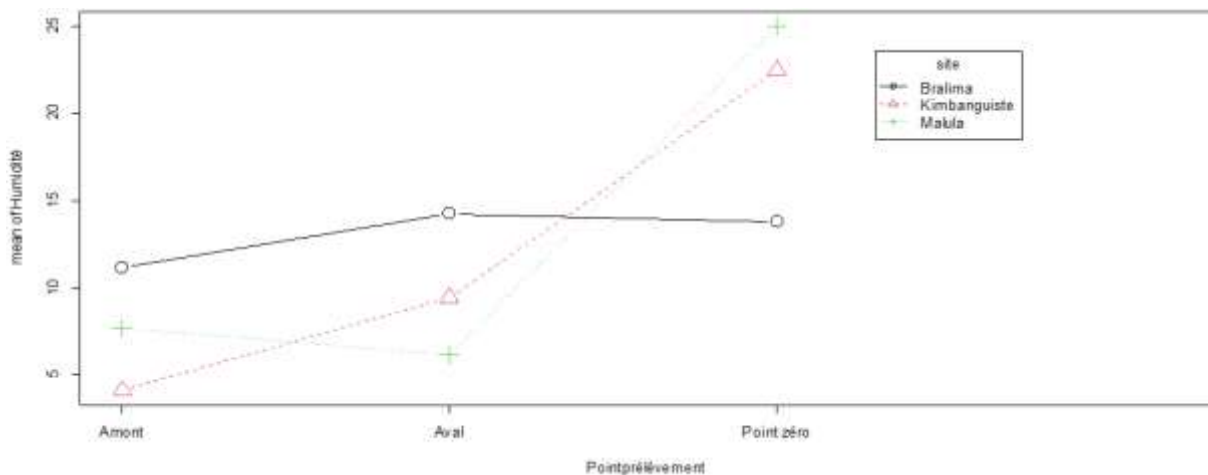


Figure 2 : Variation de l'humidité des sols des décharges

3-2. Teneurs en éléments traces métalliques des sols en fonction des sites de prélèvement

Les résultats des analyses des ETM dans les décharges montrent une grande variabilité quantitative et qualitative des métaux lourds dans le sol des décharges de Kinshasa. Concernant la teneur des métaux lourds celle-ci varie selon le type de métal étudié et selon l'échantillon analysé. Ces résultats suggèrent que ces décharges reçoivent des contaminants d'origine anthropique contenus dans les déchets (plastiques, piles et batteries, déchets de construction, déchets agricoles et alimentaires.) [2, 24, 25].

3-2-1. Teneurs en Plomb dans les échantillons des sols

La **Figure 3** donne la répartition spatiale des teneurs en Pb. Les concentrations de Pb dans nos échantillons de sols varient d'amont en aval en passant par le point zéro. La teneur la plus faible en Pb est obtenue dans

les sols de la décharge du site Malula et la plus forte est enregistrée dans les échantillons des sols du site Kimbanguiste. Toutefois, les teneurs supérieures à la valeur limite de 100 mg/kg fixée par l'OMS [23] dans les sols sont toutes enregistrées sur le site Kimbanguiste. Des auteurs affirment que les valeurs du plomb dans les parties superficielles des sols des décharges sont très élevées suite au fort pouvoir immobilisateur du sol vis à vis de ces éléments [18]. Cela induirait l'accumulation préférentielle de ces métaux dans les horizons de surface. [2] expliquent que le plomb est très peu mobile dans les sols et ce, pour une gamme de pH étendue de 5 à 9, fourchette dans laquelle se trouve les sites d'études.

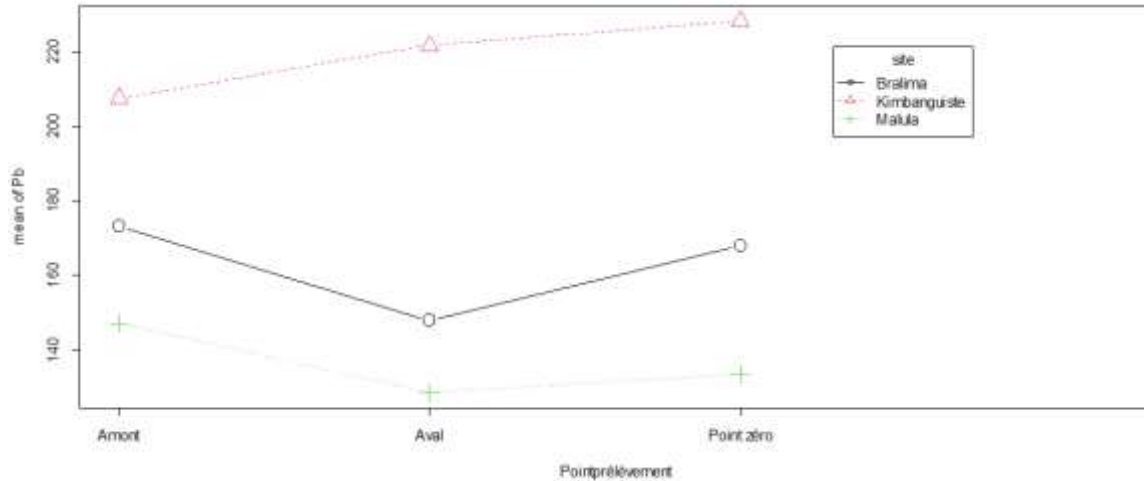


Figure 3 : Concentration en Pb dans les sols des décharges

3-2-2. Teneurs en Cadmium dans les échantillons des sols

Comme pour le plomb, les teneurs en Cd dans les sols étudiés varient selon les points de prélèvement. La **Figure 4** donne la répartition spatiale des teneurs en Cd des échantillons étudiés. La valeur la plus élevée est obtenue dans les échantillons du site Kimbanguiste. Cette valeur est largement supérieure à celles trouvées dans les sols des décharges des sites Bralima et Malula. Toutefois, ces valeurs excèdent la limite fixée par l'OMS [23] soit 2 mg/kg de sol. Ces chiffres plus alarmants en Cd sont probablement dus au pH acide propice dont ce métal jouit sur ces sites. En effet, un pH acide provoquerait un lessivage important et une plus grande contamination en profondeur [8, 12, 26, 27].

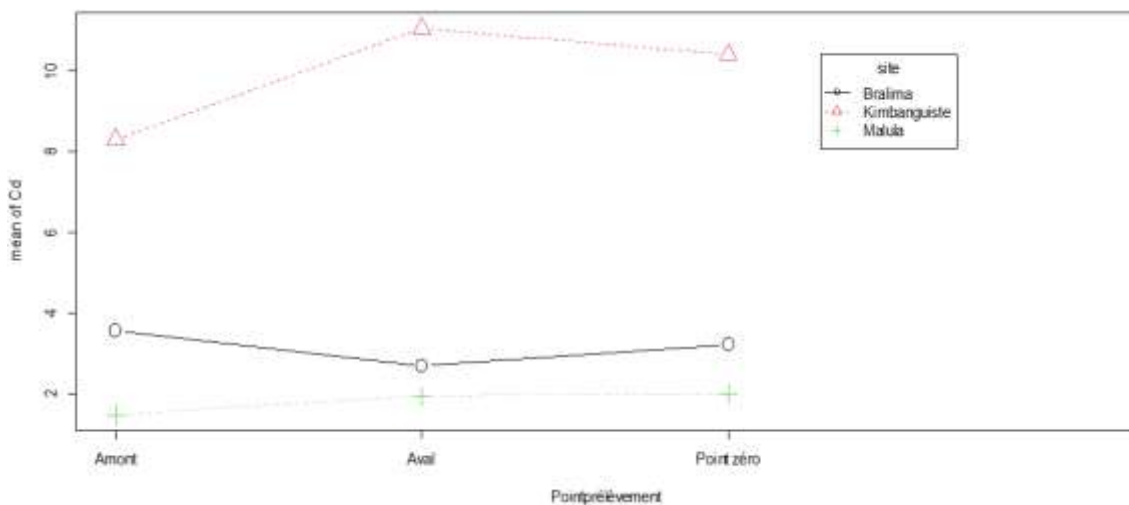


Figure 4 : Concentration en Cd dans les sols des décharges

Considérant les concentrations en Pb et en Cd en amont comme en aval de chaque décharge, le faible écart constaté dans les taux de concentration entre les points zéros et les valeurs en amont et en aval desdits sites démontrent que les décharges ne sont pas forcément la source de pollution principale en Cd et en Pb à ces endroits. Il apparaît d'après ces résultats que les teneurs détectées proviendraient probablement des ordures ménagères contenant des piles, du fer et autres métaux non dégradables et de la circulation des différents moyens de transport qui sont les principales sources des ETM en milieu urbain mais également dues aux dépôts de combustion d'ordures ménagères [2, 4, 7]. Rappelons ici que nos sites sont tous à proximité des voiries d'urbaines.

4. Discussion

4-1. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres mesurés in situ à savoir le pH et l'humidité des décharges étudiées montrent que le lixiviat qui suinte de la décharge a un pH acide. Ces valeurs de pH sont propices à la mobilité des ETM non essentiels dans le sol et pourraient être révélateur des activités microbiennes en présence mais aussi des échanges électroniques entre les espèces chimiques retrouvées dans les sols [8, 16, 28]. Leur caractère acide pourrait être la conséquence des concentrations élevées de composés organiques volatiles. Les fortes concentrations de composés organiques volatiles sont généralement obtenues pour des valeurs de pH inférieures à 4 [8, 13, 25]. Le pH dans les trois sites varie de 5,5 à 7,4. Cette variation de pH d'un site à un autre reflète la nature du sol. La variation du pH est le facteur dont l'action sur la mobilité des métaux est la plus déterminante. L'abaissement du pH favorise la mobilité des éléments traces métalliques (ETM), notamment par la mise en solution de sels métalliques ou destruction de la phase de rétention. Inversement, l'augmentation du pH provoque l'immobilisation par formation de composés insolubles ou accroissement de la capacité d'échange cationique [2, 7, 18]. Bien plus, l'élévation du pH et la présence d'ions OH⁻ permet la formation d'hydroxydes métalliques insolubles limitant la migration des ETM vers la nappe phréatique et les eaux de surface.

4-2. Teneurs en métaux lourds des sols

Les métaux se répartissent dans les sols sous des formes variées. On les trouve sous forme échangeable entre les argiles et la matière organique et/ou sous forme de complexes ou associés à des molécules organiques [12, 16, 29]. La forme sous laquelle un métal se présente dans le sol dépend de plusieurs facteurs tels que leur composition minéralogique, les conditions de salinité, de pH, d'oxydo-réduction, de la granulométrie et la teneur en eau, etc. [4]. Tous ces facteurs peuvent influencer soit la solubilisation des métaux soit au contraire leur précipitation ou leur adsorption dans le sol. Ce travail a analysé différents échantillons prélevés au niveau du sol de trois décharges de la ville de Kinshasa contaminée par différents éléments métalliques. Les résultats montrent que les valeurs moyennes des concentrations en éléments traces métalliques des sols varient en fonction de l'élément métallique. La concentration moyenne du Pb détectée largement les normes. En effet, le Pb trouvé dans le sol existe sous forme de 2 états d'oxydation où l'ion Pb⁺² devient moins soluble dans les conditions oxydantes ; cela peut être expliqué par les valeurs du pH du sol dans notre site d'étude qui varient de 5,5 à 7,4. A des pH plus élevés, le Pb forme un complexe avec la matière organique ; et des niveaux plus élevés de Pb peuvent être attribués au déversement des déchets industriels chimiques d'origine anthropique [2, 6, 7]. Le cadmium a été détecté dans les sols de toutes les décharges. Le site Kimbanguiste a présenté la teneur la plus importante. La présence remarquable de cet élément dans l'échantillon de ce site est étroitement liée à la teneur en matière

organique en décomposition ou alors à la qualité et la quantité des effluents des garages déversés dans ce site. Il est connu que le cadmium est plus facilement retenu par les hydroxydes de fer et par la matière organique. Les faibles concentrations de Cd dans les autres sites seraient dues soit au lessivage de cet élément qui est assez mobile. Ces résultats sont comparables à ceux de plusieurs auteurs [4, 6 - 8, 15] démontrant que les teneurs totales en éléments traces métalliques (ETM) des sols varient en fonction du type de sol, de l'élément métallique, du type de déchets enfouis et de la source de contamination. Les différences observées dans les quantités retenues par les sols peuvent s'expliquer par la forme chimique sous laquelle, chaque métal se trouve dans le sol, la quantité et la nature des éléments pouvant former des complexes avec chaque métal (argile, matière organique, oxyde de fer) et le pH de la solution du sol. Plusieurs auteurs ont montré que les éléments traces ont un comportement différent selon leur forme chimique. Ils ont montré également que la forte oxygénation du sol permet d'obtenir les conditions d'oxydoréduction favorable à la rétention des métaux [8]. Cela s'explique par le mécanisme d'adsorption fixant les cations sur la phase solide du substrat. Cependant, ce n'est pas toujours l'effet escompté. Il existe quelques exceptions où, sous un pH alcalin, certains éléments tels que As, Mo, Se, V, et le Cr restent mobiles [12]. À défaut de normes nationales sur les teneurs en éléments traces métalliques dans les sols, les valeurs des concentrations obtenues ont été donc comparées aux valeurs limites de la norme de l'OMS. Les concentrations de ces polluants sont nettement supérieures aux valeurs limites.

5. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer les concentrations en ETM des sols des décharges publiques de la ville de Kinshasa dans le but de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'environnement de la zone d'étude. Les résultats de cette étude ont mis en évidence la pollution du sol générée par les lixiviats des décharges de ville de Kinshasa. Aussi, les teneurs en métaux lourds varient avec les points de prélèvements dans la décharge. L'analyse des échantillons des sols des décharges a montré une distribution spatiale importante des métaux lourds analysés : Pb et Cd. Les résultats de cette étude ont révélé que les sols des décharges sont considérablement contaminés par des métaux dont les concentrations dépassent largement les valeurs seuils recommandées. Pour toutes ces raisons nous recommandons une surveillance périodique de l'ensemble des décharges afin de préserver l'environnement des effets négatifs des métaux toxiques dans la zone d'étude. Aussi, étant donné l'impact de la décharge et l'ampleur de la lixiviation des métaux lourds présents dans les déchets sur l'ensemble de l'écosystème, il serait judicieux d'instaurer un système de tri et de décontamination des ordures ménagères avant leurs dépôts dans toute décharge pour mieux préserver aussi bien la santé de la population et de tout son environnement.

Références

- [1] - G. MASCIANDARO, C. MACCI, E. PERUZZI, B. CECCANTI & S. DONI, Organic matter- microorganism-plant in soil bioremediation : a synergic approach, *Environnemental Science and Bio- technology*, 12 (4) (2013) 399 - 419. <http://doi.org/10.1007/s11157-013-9313-3>
- [2] - M. BAYEBILA, T. DUFOUR P. et C. PIRARD, Bio-surveillance des polluants environnementaux dans la population de Kinshasa, République Démocratique du Congo (RDC) : une petite étude pilote. *Arch Public Health.*, 79 (2021) 197 - 205. <https://doi.org/10.1186/s13690-021-00717-x>
- [3] - F. ZHRANI, Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets (CSD) dans les pays en développement. Applicable à deux CSD : Nkoloulou (Cameroun) et Essaouira (Maroc). Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, (2006) 269 p.
- [4] - R. GIZANGA VALU, Contribution à l'étude écotoxicologique de quelques rejets industriels de Kinshasa et essai de procédure pour l'inspection environnementale : cas des industries brassicoles, cosmétiques et pharmaceutiques, Thèse. Université de Kinshasa, (2016) 187 p.
- [5] - J. FARINET, S. NIANG, Le recyclage des déchets et effluents dans l'agriculture urbaine. *In Développement Durable de l'Agriculture Urbaine en Afrique Francophone : Enjeux, Concepts et Méthodes*. In : Smith Olanrewaju (ed.), Moustier Paule (ed.), Mougeot Luc J.A. (ed.), Fall Abdou (ed.). Montpellier : CIRAD, (2004) 143 - 172
- [6] - XU ZHANG, HUANHUAN YANG, ZHAOJIE CUI, Evaluation and analysis of soil migration and distribution characteristics of heavy metals in iron and steel industrial area. *Environnement, Development and Sustainability*, 24 (9) (2018) 475 - 480. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01893-0>
- [7] - S. BELABED, Contribution à l'étude de la pollution métallique du sol et de la végétation au niveau des décharges publiques non contrôlées à Mostaganem. Thèse. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, (2018) 220 p.
- [8] - A. A. ADEYI, B. A. BABALOLA, Lead and cadmium levels in residential soils of Lagos and Ibadan, Nigeria. *Journal of Health and Pollution*, 7 (13) (2017) 42 - 55. DOI : 10.5696/2156-9614-7-13.42
- [9] - W. K. CHOUTI, M. ADANVE, D. MAMA, Dosage du plomb et du zinc dans les cultures de l'amarante (*Amarantus cruentus*) et de la Grande morelle (*Solanum macrocarpum*) : cas de quelques sites maraîchers de Porto-Novo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (2018) 2381 - 2395. DOI : 10.4314/ijbcs.v12i5.36
- [10] - IK. KOUAME, D L. GONE, I. SAVANE, EA. KOUASSI, K. KOFFI, BTA. GOULA, M. DIALLO, Mobilité relative des métaux lourds issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du continental terminal (Abidjan-Côte d'Ivoire). *Rev. AS.*, 02 (1) (2006) 39 - 56
- [11] - U. J. TSHALA, M. A. KITABALA, M. JP. TUNDA, K. M. MUFIND, M. A. KALENDA, K. G. KAPELE, K. L. NYEMBO, Vers une valorisation des déchets ménagers en agriculture (péri) urbaine à Kolwezi : caractérisation et influence de la saisonnalité, *J. Appl. Biosci.*, 112 (2017) 11072 - 11079
- [12] - D. BAIZE, 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 (2009) 63 - 72
- [13] - N. EKENGLE, S. MABREY, P. ZO'O ZAME, 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 (2016) 4633 - 4645
- [14] - Y. SANE, La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution. *AJEAM/RAGEE*, 4 (2002) 13 - 22
- [15] - C. IKRAM, EL. ASMAE, LF. ASMAA, K. MOHAMED, B. JAMAL, Détermination du degré de contamination du site de la décharge, non contrôlée, de la ville de Tanger par quelques métaux lourds

- (Determination of the contamination degree of landfill uncontroled from Tangier by some heavy metals, *J. Mater. Environ. Sci.*, 7 (2016) 541 - 546
- [16] - A. TOURE, A. GARAT, C. DIOP, M. CABRAL, MJ. EPOTE, E. LEROY, M. FALL, A. DIOUF, B. DEHON, D. ALLORGE, Présence de métaux lourds et de résidus médicamenteux dans les effluents des établissements de santé de Dakar (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (2016) 1422 - 1432. DOI : 10.4314/ijbcs.v10i3.40
- [17] - N. R. HODOMIHOU, F. FEDER, D. MASSE, KE. AGBOSSOU, GL. AMADJI, Y. NDOUR-BADIANE, E. DOELSCH, Diagnostic de contamination des agrosystèmes périurbains de Dakar par les éléments traces métalliques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 20 (2016) 1 - 11
- [18] - A. TANKARI DAN-BADJO, Y. GUERO, N. DAN LAMSO, O. ZAKARIA IBRAHIM, JMK. AMBOUTA, C. F. STERCKEMAN, Spatialisation de la pollution par les éléments traces métalliques des sols de la vallée Annales de l'Université Abdou Moumouni, Tome XVII-A, (2014) 179 - 191
- [19] - T. KAO, EL. MEJAHED, A BOUZIDI, 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 (2007) 89 - 92
- [20] - A. SMOUNI, M. ATER, F. AUGUY, L. LAPLAZE, EL MZIBRI, F. BERHADA, P. DOUMAS, Évaluation de la contamination par les éléments-traces métalliques dans une zone minière du Maroc oriental. *Cahiers Agricultures*, 19 (2010) 273 - 279
- [21] - AA. ADUAYI-AKUE, K. GRANDI, Evaluation de la pollution par les métaux lourds des sols et de la variété locale du maïs *Zea mays* dans la zone de traitement des phosphates de Kpémé (Sud du Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (2014) 2347 - 2355. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i5.37>
- [22] - A. TANKARI DAN-BADJO, Y. GUERO, N. DAN LAMSO, AD. TIDJANI, JMK. AMBOUTA, C. FEIDT, T. STERCKEMAN, G. ECHEVARRIA, Evaluation de la contamination des sols par les éléments traces métalliques dans les zones urbaines et périurbaines de la ville de Niamey (Niger). *Revue des BioRessources*, 3 (2013) 82 - 95
- [23] - OMS, Intoxication au plomb et santé. Centre Des Médias - Aide-Mémoire, 379 (2016). Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/fr/>
- [24] - M. MENCH, D. BAIZE, 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*, 52 (2004) 31 - 56
- [25] - E. YEHOUEYOU AZEHOUN PAZOU, J. AZEHOUN PAZOU, MR. ADAMOUE, Dosage des métaux lourds dans le sol et les produits maraîchers du site maraîcher de Houéyiho au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14 (2020) 1893 - 1901. DOI : <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i5.31>
- [26] - D. BAIZE, N. SABY, W. DESLAIS, A. BISPO, I. FEIX, Analyses totales et pseudo-totales d'éléments en traces dans les sols. Principaux résultats et enseignements d'une collecte nationale. *Etude et Gestion des Sols*, 13 (2006) 181 - 200
- [27] - K. BELLIR, M. BENCHEIKH-LEHOCINE, AH. MENIAI, N. GHERBI, Study of the retention of heavy metals by natural material used as liners in landfills. *Desal.*, 185 (2005) 111 - 119
- [28] - T. AGUSA, T. KUNITO, J. FUJIWARA, R. KUBOTA, T. B. MINH, P. T. K. TRANG, S. TANABE, Contamination by arsenic and other trace elements in tube-well water and its Risk assessment to humans in Hanoi, Vietnam. *Environmental Pollution*, 139 (2006) 95 - 106. DOI : 10.1016/j.envpol.2005.04.033
- [29] - K. GNANDLI, K. TOZO, AP. EDORH, ABI, K. AGBEKO, K. AMOUZOUVI, G. BABA, G. TCHANGBEDJI, K. KILLI, La Bioaccumulation du plomb et autres métaux lourds dans les produits maraîchers cultivés sur les sols urbains le long de l'autoroute Lomé-Aného, Sud Togo. *Journal of African Earth Sciences*, 37 (2016) 1 - 2