

DYNAMIQUE DE LA DISTRIBUTION DES ELEMENTS MAJEURS ET TRACES METALLIQUES DANS LES SOLS DE LA PROVINCE DE L'ESTUAIRE (NW, GABON)

I.E. MBAGOU MWE-ZUE ONA^{1,2*}, NDZENGBORO ENDAMANE², R. WALLA OBIANG² ET F. EBA^{1,2}

¹Ecole Normale Supérieure, Libreville, Gabon

² Institut de la Recherche Agronomique et forestière, laboratoire de pédologie, Libreville, Gabon

*E-mail : mbagou2@yahoo.fr

RESUME

Le but de cette étude est d'évaluer les concentrations en ETM des sols urbains, agricoles péri-urbains dans les villes de la province de l'Estuaire soumis à l'épandage des déchets urbains solides. Des échantillons composites de sols ont été prélevés, suivant l'horizon superficiel 0-20 cm sur huit sites dont les textures des sols sont très variées (sable, sable-limoneux, argile). L'analyse des échantillons de sol a été effectuée à l'aide d'un spectromètre à fluorescence x. Les résultats montrent que les concentrations en Pb, Zn, Cd, Cr, Ni, Cu varient en fonction de la texture du sol. Les concentrations des différents ETM dans les sols sont inférieures aux valeurs limites sur tous les sites. L'index de pollution (IP) de chaque site est inférieur à 1, suggérant ainsi que les sites des villes de la province de l'Estuaire ne font pas l'objet d'une contamination multiple de leurs sols par les ETM.

Mots clés : sols, déchets, pollution, textures

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the concentrations of ETM in urban and peri-urban agricultural soils in the cities of the province of the Estuary subjected to the spreading of solid urban waste. Composite soil samples were taken along the surface horizon 0-20 cm at eight sites with very varied soil textures (sand, sand-loam, clay). Soil samples were analyzed using an x-ray fluorescence spectrometer. The results show that the Pb, Zn, Cd, Cr, Ni, Cu concentrations vary according to the soil texture. The concentrations of the various ETMs in the soils are below the limit values on all the sites. The pollution index (PI) of each site is less than 1, thus suggesting that the sites of the cities of the province of the Estuary are not subject to multiple contamination of their soils by ETM.

Keywords : soils, waste, pollution, textures

INTRODUCTION

Il y a très longtemps, les sociétés traditionnelles africaines en générale, et gabonaises en particulier avaient mis en place un système permettant de réutiliser tout déchet produit par elles, qu'il s'agisse des vêtements qui passaient de génération en génération ou des épluchures de patates, maniocs, bananes et autres qui servaient d'engrais aux cultures agricoles vivrières (Mombo *et al.*, 2005). De nos jours il n'existe presque plus de valorisation de proximité. L'augmentation de la démographie dans les milieux urbains, péri urbains, et la demande sans cesse croissante des biens de consommation ont favorisé une progression du taux de production des déchets par habitant, constituant un risque majeur pour l'environnement et pour les populations. La forte activité humaine entraîne une importante anthropisation des sols, qui se solde par une accumulation tout azimut des déchets solides.

En effet, en parcourant différentes villes gabonaises, on peut observer la multiplication des décharges sauvages dans l'espace public, notamment : le long des voies de communications, les rejets d'ordures ménagères derrière les habitations et même dans les ruisseaux. Ce triste spectacle montre un milieu malsain, insalubre, fortement agressé par la masse des déchets ménagers et industriels produits, qui conduisent à toute forme de pollution (Mombo *et al.*, 2005).

La chute du pouvoir d'achat dans les ménages et la faiblesse des produits du panier de la ménagère sont des facteurs qui emmènent une partie des populations gabonaises à privilégier le retour à la terre, dont la matérialisation est faite par la pratique d'une agriculture dite " de subsistance " sur des sols qui, autrefois, servaient à l'entreposage des déchets solides de toutes sortes. Bien que les déchets solides issus de ces décharges sauvages soient riches en matières organiques et en composés minéraux sous diverses formes, il n'en demeure pas moins que les questions liées aux répercussions sur la santé des populations demeurent inquiétantes. D'autant plus que l'absence d'analyses chimiques de ces sols ne permet pas de connaître avec exactitude les différents éléments chimiques présents, et donc de prévenir les potentielles contaminations. A ce sujet, plusieurs études sur l'impact des déchets solides sur les sols ont été réalisées

dans plusieurs pays africains, notamment au Sénégal, notamment les villages de Malika et Keur Massar dans la région de Dakar, et Burkina-Faso, plus précisément dans la ville de Bobo-Dioulasso. Les résultats ont montré que les déchets solides renferment parfois des éléments indésirables tels que les éléments traces métalliques (ETM) ou métaux lourds (Derek et Thea, 2003 ; Diop *et al.*, 2022 ; Yé *et al.*, 2020 ; Farinet et Niang, 2004 ; Yé, 2007) et les polluants organiques (Houot *et al.*, 2001).

La pollution des sols par les ETM pourrait également engendrer la contamination de la chaîne alimentaire via les produits végétaux, et les cours d'eaux (Derek et Thea, 2003), mettant ainsi en danger la santé des populations. Plusieurs autres études ont été réalisées dans le monde et les données sur les concentrations et la mobilité des éléments traces métalliques dans le sol et dans les produits végétaux existent (Baize *et al.*, 2006 ; Bur, 2008 ; Aduayi-Akue et Grandi, 2014 ; Yehouenou Azehoun Pazou *et al.*, 2020).

Cependant, au Gabon, plus précisément dans la province de l'Estuaire, les données sur les concentrations et la dispersion des ETM dans les sols urbains, péri-urbains et agricoles ne sont pas renseignés.

L'objectif de cette étude est de suivre de la dynamique de la distribution des ETM des sols urbains, péri-urbains et agricoles soumis à l'épandage des déchets urbains solides afin de mettre en exergue la contribution de ces déchets à une possible contamination en ETM de ces sols.

MATERIELS ET METHODES

ZONE D'ETUDE

Les zones d'études sont situées dans la province de l'Estuaire, aussi bien le long de la côte qu'à l'intérieur des terres (Figure 1). La province de l'Estuaire a une superficie de 20740 km², correspondant à 7,7 % de la surface totale du Gabon. Sa population, estimée à 842 641 habitants est la plus importante du pays et représente 46,52 % de la population totale du Gabon (Direction Générale de la statistique, 2015).

La province de l'Estuaire est bordée au Nord par la Guinée Équatoriale, au Nord-Est par le Woleu-

Ntem, au Sud par l'Ogooué Maritime, au Sud-Est et à l'Est par le Moyen-Ogooué, et à l'Ouest par l'Océan Atlantique. Les sites de prélèvements ont été réalisés dans plusieurs villes de la province de l'Estuaire (Figure 1) : Akanda, Owendo, Nkoltang, Ntoum, Kango, Cocobeach et Remboué.

Le climat est de type équatorial de transition austral, caractérisé par une alternance de deux saisons : la saison des pluies et la saison sèche (Thiéblemont *et al.*, 2009). La saison des pluies, longue de huit mois (octobre à mai) présente un minimum vers le mois de janvier tandis que les maxima se situent en novembre et avril. La saison sèche est généralement très marquée

et dure quatre mois (juin à septembre). Les moyennes pluviométriques sont de 3000 mm à 3500 mm le long du littoral (Akanda-Owendo-Cocobeach-Nkoltang-Ntoum), et de 2500 mm à 3000 mm à l'intérieur des terres (Kango-Remboué). Les températures varient peu en cours d'année et la moyenne se situe autour de 26°C (Thiéblemont *et al.*, 2009).

La géologie des sites étudiés est caractérisée par des sols sableux (Akanda, Owendo, Cocobeach) à sablo-limoneux (Nkoltang, Ntoum) le long du littoral, et des sols argilo-limoneux à argileux (Kango et Remboué) à l'intérieur des terres. De plus, quel que soit la texture, les sols sont acides.

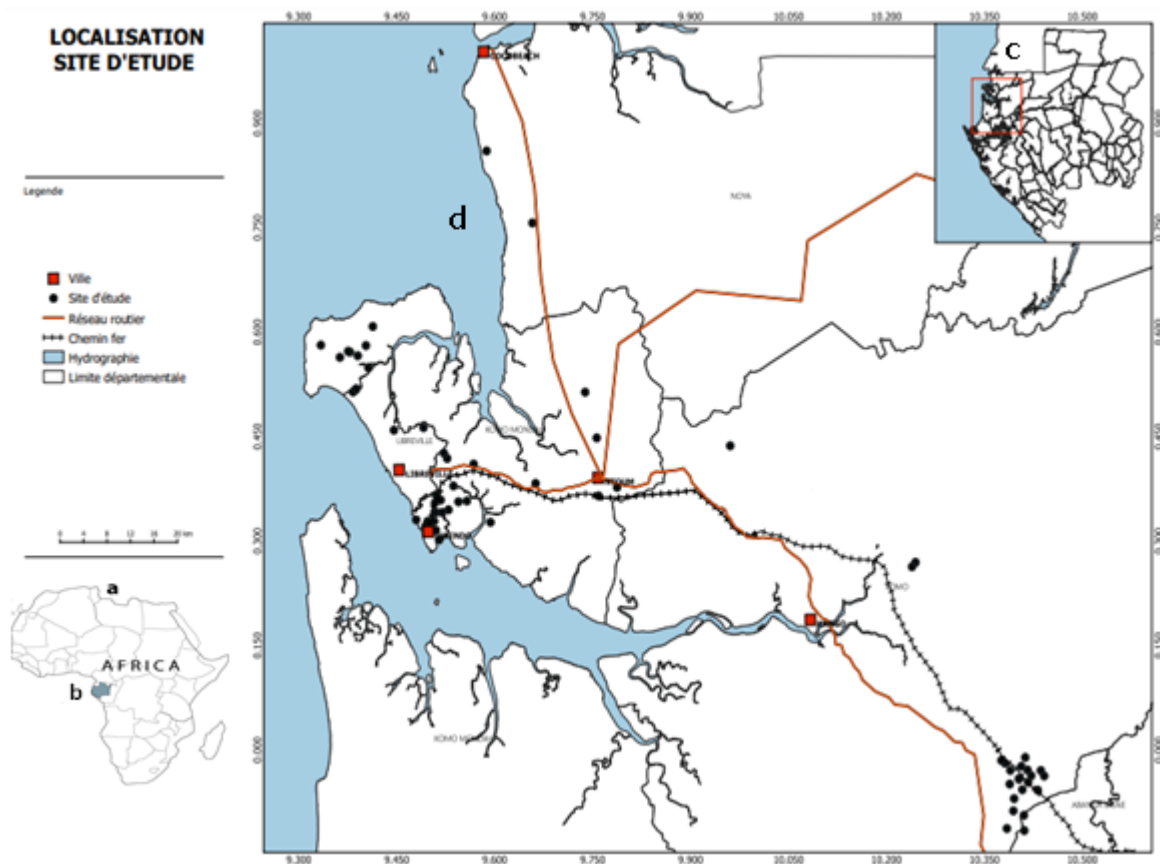


Figure 1 : Carte de localisation des sites d'échantillonnages dans toute la province de l'Estuaire ; a : Afrique ; b : position du Gabon en Afrique ; c : position de la province de l'Estuaire au Gabon ; d : localisation des sites d'échantillonnages.

Location map of sampling sites throughout the Estuary province; a: Africa; b: position of Gabon in Africa; c: position of the Estuary province in Gabon; d: location of sampling sites.

CHOIX DES SITES

Le choix des sites s'est fait après enquête de terrain auprès des populations afin d'identifier les lieux où des déversements des déchets solides avaient été effectués dans le temps. De même, les sites agricoles (monocultures vivrières) utilisant les déchets urbains solides pour la fertilisation des sols ont été investigués. Les forêts matures environnantes ont aussi été échantillonnées afin de servir de milieux originels.

ECHANTILLONNAGES

Les prélèvements des horizons superficiels (0-20 cm) à l'aide d'une tarière manuelle ont été répétés deux fois dans un périmètre restreint afin d'appréhender la variabilité locale. Près de 120 échantillons ont ainsi été prélevés.

PREPARATION DES ECHANTILLONS DE SOL

Les échantillons de sol ont été séchés au four à une température de 25°C pendant 10 jours. La séparation des éléments grossiers de la terre fine a été réalisée à l'aide d'une colonne de tamis à maille ronde de 2 mm. Les échantillons de terre fine ont été pesés, puis conditionnés pour des analyses en laboratoire.

ANALYSE DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES (ETM) PAR SPECTROMETRIE DE FLUORESCENCE-X

Les ETM ont été déterminés par l'appareil à fluorescence X, ZETIUM PETRO-DY 2433 (Naili, 2016). Pour les analyses au spectromètre à fluorescence X, 16 échantillons (dont 8 répliques) de 50g de sol chacun, prélevés sur l'intervalle 0-20 cm de profondeur, ont été analysés au laboratoire de l'entreprise minière COMILOG à Moanda, dans la province du Haut-Ogooué. Les résultats sont exprimés en ppm de poids sec du sol.

INDEX DE POLLUTION (IP) PAR LES ETM DANS LES SOLS

L'IP est un critère permettant de mettre en exergue une contamination de type multi-éléments 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).

L'indice de pollution est comparé à l'unité. Si l'indice de pollution est inférieur à l'unité, le milieu n'est pas pollué, dans le cas contraire le milieu est pollué.

Les valeurs limites correspondant aux niveaux tolérables des concentrations en métaux (ETM) dans le sol sont contenues dans la norme AFNOR U44-41 (Baize, 1994). L'IP est déterminé par la formule suivante :

$$IP = \left(\frac{[Cd]}{2} + \frac{[Cr]}{150} + \frac{[Cu]}{100} + \frac{[Ni]}{50} + \frac{[Pb]}{100} + \frac{[Zn]}{300} \right) / 6$$

IP > 1 correspond à un sol pollué par plusieurs métaux (Smouni, 2010).

ANALYSES STATISTIQUES

Le tableur Microsoft Excel 2007 ® a été utilisé pour la saisie et le traitement des données. Le logiciel XLSTAT 2021.1.1 a servi à l'analyse en composantes principales (ACP) pour mesurer la typologie entre les différentes variables (COT, pH, etc).

RESULTATS

GEOLOCALISATION DES ELEMENTS MAJEURS ET TRACES METALLIQUES DANS LES SOLS DE L'ESTUAIRE

La distribution des éléments majeurs et traces métalliques dans les villes de la province de l'Estuaire est très variée d'une ville à l'autre. L'ACP montre que la distribution des éléments majeurs et traces métalliques serait liée aux spécificités des sols de ces différentes villes (Figure 2). De plus, deux pôles semblent se démarquer, notamment : (i) le pôle Kango-Remboué, plus éloigné du littoral, riche en Al₂O₃, Fe₂O₃ et K₂O, et (ii) le pôle Cocobeach-Akanda-Owendo-Nkoltang-Ntoum, très proche du littoral, riche en SiO₂, TiO₂, CaO et ZrO₂. Cette répartition bien distincte laisse présager un effet de site.

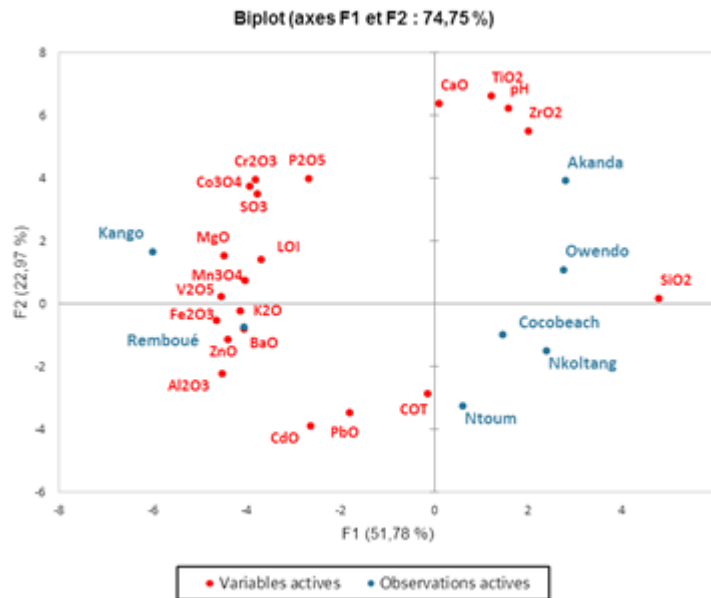


Figure 2 : Distribution spatiale des éléments majeurs et traces métalliques dans les sols des villes de la province de l'Estuaire.

Spatial distribution of major elements and metallic traces in the soils of towns in the Estuaire province.

TENEURS EN ELEMENTS TRACES METALLIQUES DES SOLS DES SITES D'ETUDE

Les résultats montrent que les teneurs en éléments traces métalliques des sols varient en fonction de chaque élément trace métallique et des sites de prélèvement (Tableaux 1).

Dans les villes d'Akanda et d'Owendo, les éléments cuivre (Cu) et nickel (Ni) n'ont pas été détectés par le spectromètre de masse (<LD : inférieure à la limite de détection).

Au niveau de Cocobeach, la détection du cuivre (Cu : 0,01 ppm) et nickel (Ni : 0,02 ppm) est très faible comparée à celles obtenues dans les

villes de Remboué (Ni : 3 ppm ; Cu : 1 ppm), Kango (Ni ; 1,5 ppm ; Cu : 1,5 ppm).

Enfin, les autres éléments, les valeurs de leurs concentrations dans le sol varient de 0,5 à 3 ppm pour le plomb (Pb), de 0,5 à 5,5 ppm pour le Zinc (Zn), de 1 à 2,5 ppm pour le Cadmium (Cd) et de 5 à 11 ppm pour le Chrome (Cr).

Parmi les six éléments (Pb, Zn, Cd, Cr, Ni et Cu), le Ni et le Cu sont les deux éléments qui n'ont pas été détecté sur tous les sites. Dans l'ensemble, les résultats montrent que les concentrations maximales en ETM (Pb, Zn, Cd, Cr, Ni et Cu) dans les sols de tous les sites des villes de la province de l'Estuaire sont inférieures aux valeurs limites de la norme AFNOR U44-41.

Tableau 1 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les sites (ppm).

Levels of trace metal elements in the sites (ppm).

Sites	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Cu	IP
Ntoum	3	2,5	2	5,5	0,5	0,5	0,18
Nkoltang	0,5	0,5	1	5	1,5	0,5	0,10
Cocobeach	0,5	2	2	7	0,02	0,01	0,17
Akanda	1	1	1	8	<LD	<LD	###
Owendo	0,5	0,5	1	5,5	<LD	<LD	###
Remboué	2,5	5,5	2,5	8	3	1	0,24
Kango	1	4	1,5	11	1,5	1,5	0,15
Valeurs limites*	100	300	2	150	50	100	

Pb (plomb) ; Zn (zinc) ; Cd (cadmium) ; Cr (chrome) ; Ni (nickel) et Cu (cuivre). *Valeurs limites selon la norme AFNOR U44-41

INDEX DE POLLUTION PAR LES ELEMENTS TRACES METALLIQUES DANS LES SOLS

Les résultats montrent que les valeurs de l'index de pollution (IP) varient selon les villes de 0,10 (Nkoltang) à 0,24 (Remboué). Cependant, les IP des villes d'Akanda et Owendo n'ont pu être déterminés à cause de la non détection (< LD) en Ni et Cu. Tous les autres sites de prélèvement ont des valeurs d'IP inférieures à 1.

DISCUSSION

Les résultats montrent que les concentrations en éléments traces métalliques dans les sols de la province de l'Estuaire évoluent en fonction des sites de prélèvement. Ce constat peut être lié à la texture des sols. En effet, selon les travaux de Chatelin P, 1964 ; Delhumeau *et al.*, 1969 ; Muller P, 1970 ; Thieblemont *et al.*, 2009, et ceux effectués récemment par Mabicka *et al.*, 2021 et Mbagou *et al.* 2023, les sols du domaine côtier atlantique de la province de l'Estuaire sont d'âge Permien-éocène, avec des textures de type sableux, sablo-limoneux, limono-argileux, argileux à argilo-marneux. Les sols des villes d'Akanda, Owendo et Cocobeach ont une texture fortement sableuse, contrairement aux sols des villes de Remboué et Kango qui possèdent une texture à dominance argileuse. Quant aux sols des villes de Ntoundou et Nkoltang, elles ont une texture sablo-limoneuse. Nos résultats sont en accord avec ceux de plusieurs auteurs (Baize, 2000, 2009; Mench et Baize, 2004 ; Kao *et al.*, 2007 ; Smouni *et al.*, 2010 ; Kouakou *et al.*, 2019; Tankari Dan-Badjo *et al.*, 2013, 2014 ; Ekengele Nga *et al.*, 2016 ; Hodomihou *et al.*, 2016) qui ont montré que les teneurs totales en éléments traces métalliques (ETM) des sols varient en fonction du type de sol, et de l'élément métallique. Bien que des normes nationales sur les teneurs en éléments traces métalliques dans les sols Gabonais n'ont pas encore été définies, les valeurs des concentrations obtenues sur les sols des villes de la province de l'Estuaire ont été comparées aux valeurs limites de la norme française AFNOR U44-41. Les résultats indiquent que les valeurs des concentrations en ETM (Pb, Zn, Cd, Cr, Ni et Cu) dans les sols de tous les sites de prélèvement sont inférieures aux valeurs limites de cette norme. De plus, tous les sites de prélèvement ont des valeurs d'IP

inférieures à 1, suggérant ainsi qu'il n'y a pas eu de contamination multiple de ces différents sols par les ETM, en dépit de leur forte anthropisation.

La Figure 2 montrant la géo-répartition des éléments majeurs et traces métalliques suggère l'importance des facteurs climatiques, notamment la pluviométrie. En effet, les villes plus proches du littoral (Akanda, Owendo, Cocobeach, Nkoltang et Ntoundou) subissent des précipitations annuelles les plus importantes (3000 mm à 3500 mm). Tandis que les villes plus éloignées du littoral (Kango, Remboué) subissent des précipitations oscillant entre 2500 mm à 3000 mm (Direction Générale de la Statistique, 2015). De ce fait, les phénomènes de lessivage et lixiviation seront plus intenses sur les sites riches en textures sableuses (Nalovic, 1970).

CONCLUSION

Cette étude évaluait la concentration en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols urbains, agricoles péri-urbains des villes de la province de l'Estuaire, soumis aux apports réguliers des déchets urbains solides. Les résultats obtenus montrent que les valeurs des concentrations en ETM des sols varient en fonction de l'élément métallique et de la texture du sol du site de prélèvement. Les concentrations des différents éléments métalliques obtenues dans les sols sont inférieures aux valeurs limites. De plus, l'analyse de l'index de pollution ou IP de chaque site est inférieure à 1, suggérant ainsi que les sols des sites de prélèvement n'ont pas été contaminés par les ETM, en dépit de leur forte anthropisation.

Toutefois, il serait important d'effectuer en amont des tris sélectifs afin de réduire au maximum l'apport des déchets solides renfermant des ETM, et en aval, de suivre l'évolution des concentrations en ETM des sols afin de prévenir toute contamination éventuelle. Au niveau agricole, l'utilisation de compost biologique (bouses de vaches, fientes de poules, etc) comme engrains naturels est nécessaire car, l'accumulation progressive des déchets urbains renfermant des ETM entraînera à long terme une forte concentration en ETM dans les sols. Des études plus approfondies sur l'accumulation, la mobilité et la biodisponibilité des ETM dans les sols sont donc à envisager.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à dire merci à toutes les populations qui nous ont données accès à leurs terrains pour échantillonnage, à l'entreprise minière COMILOG qui a permis la réalisation des analyses au spectromètre à fluorescence x. Nous remercions particulièrement l'Ingénieur, chef de groupe Enrichissement, monsieur Jean Baptiste Donald ZENG EYIME pour son rôle de facilitateur. Merci à l'Ingénieur, chef de groupe laboratoire zone industrielle, Mme Annick OTSUDI pour avoir apporté son expertise.

REFERENCES

- Aduayi-Akue AA, Grandi K., 2014. 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(5): 2347-2355.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i5.37>.
- Afnor, 1985. Matières fertilisantes-Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines-Dénominations et spécifications. NF U44-041. Paris, France (1985) 19p.
- Baize D., 1994. Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français. Premiers résultats du programme ASPITET. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 22: 31-46.
- 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, Saby N, Deslais W, Bispo A, Feix I., 2006. 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 (3) : 181-200.
- Baize D., 2009. Éléments traces dans les sols. Fonds géochimiques, fonds pédo géochimiques naturels et teneurs agricoles habituelles : définitions et utilités. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 57 : 63-72.
- Bur T., 2008. Impact anthropique sur les éléments traces métalliques dans les sols agricoles de Midi-pyrénées. Implications en termes de limites et de charges critiques. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Toulouse, 374p. Chatelin P, 1964.
- 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> 4.
- Delhumeau M., 1969. Carte pédologique de reconnaissance à 1/200.000. Notice explicative sur la feuille Libreville-Kango. ORSTOM. Mission du Gabon., Libreville, 69p.
- Derek E, Thea H., 2003. Opportunities for managing solid waste flows in the périurban interface of Bamako and Ouagadougou. *Environment & Urbanization*, 15 (1): 53- 63.
- Diop T., Diarra A., Diallo M.A., Dione M.M., 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.
- Direction Générale de la Statistique., 2015 : Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 du Gabon (RGPL2013). Libreville, 61 pages + Annexes.
- 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) : 4633- 4645.
- Farinet J, Niang S., 2004. Le recyclage des déchets et effluents dans l'agriculture urbaine. In *Développement Durable de l'Agriculture Urbaine en Afrique Francophone* : Enjeux, Concepts et Méthodes, Smith OB, Moustier P, Mougeot LJA, Abdou F (eds). CIRAD : Montpellier ; 143-172
- Hodomihou NR, Feder F, Masse D, Agbossou KE, Amadji GL, Ndour-Badiane 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.
- Houot S, francou C, Vergé-Leviel C., 2001. Gestion de la maturité des composts : conséquences sur leur valeur agronomique et innocuité. In *les Nouveaux Défis de la Fertilisation Raisonnée*, Thévenet G, Joubert A (éds). GEMAS- COMIFER : Blois ; 173-182.
- 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.

- Kouakou K.J., Gogbeu S.J., Sika A.E., Yao K.B., Bounakhla M, Zahry F, Tahri M, Dogbo D.O., Bekro Y.A., 2019. Caractérisation physico-chimique des horizons de surface de sols à 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>.
- Mabicka Obame R.G., Musadji N.Y., Ndongo A., Soumaho J., Mouha Edou D.L., Abaker Madi Guirema, Ondo J.A., Ravire E., Mbina MOUNGUENGUI M., 2021. Carbon and nitrogen stocks under various land cover in Gabon. *Geoderma Regional* 25 (2021), 1-16.
- Mbagou Mwe-Zue ona I.E., Ndzengboro Endamane., R. Walla Obiang., F. Eba., 2023. Evaluation du carbone organique des sols de la province de l'Estuaire (NW, Gabon) selon le type d'occupation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17(4) : 1750-1764.
- Mench M, Baize D., 2004. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces. Mesures pour réduire l'exposition. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 52 : 31-56.
- Mombo J.M., Edou M., 2005. La gestion des déchets solides urbains au Gabon. *Geo-Eco-Trop*, 2005, 29 : 89-100.
- Muller J.P., 1970. Contribution à l'étude du phénomène d'appauvrissement. Etude morphologique et typologique des sols appauvris en argile du Gabon. *Nomenclature et classification*. ORSTOM - Libreville ; G 75 : 141.
- Naili S, Nait Merzoug A, Dénèse G, Merazig H, Lakhehal A., 2016. Détermination des teneurs en éléments traces métalliques des sols cultivés dans la région de Constantine par spectrométrie xrf Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution ICEMAEP2016, october 30-31.
- Smouni A, Ater M, Auguy F, Laplaze L, Mzibri ME, Berhada F, Filali-Maltouf A, Doumas P., 2010. Evaluation de la contamination par les éléments traces métalliques dans une zone minière du Maroc oriental. *Cah Agric.*, 19 (4) : 273- 279.
- Tankari Dan-Badjo A, Guero Y, Dan Lamso N, Tidjani AD, Ambouta KJM, Feidt C, Sterckeman T, Echevarria G., 2013. 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*, 2(2) : 82-95.
- Tankari dan-badjo A, Guéro Y, Dan Lamso N, Zakaria Ibrahim O, Ambouta JMK, Feidt C, Echevarria G, Sterckeman T., 2014. Spatialisat-ion 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.
- Thieblemont D., Castaing C., Billa M., Bouton P., Preat A., 2009. Notice explicative de la Carte géologique et des Ressources minérales de la République Gabonaise à 1/ 1000 000. Editions DGMG - Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures, Libreville, 384 p.
- Yé L., 2007. Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agricultures urbaine et périurbaine : cas de BoboDioulasso. Mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 48p. Yé, 2007.
- Yé L., Lompo Désiré JP., Sako A., Nacro H.B., 2020. 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.
- Yehouenou Azehoun Pazou E, Azehoun Pazou J, Adamou MR., 2020. Dosage des métaux lourds dans le sol et les produits maraîchers du site maraîcher de Houéyiho au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14(5): 1893-1901. DOI : <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i5.31>.