

# *Etude De La Qualité Pédologique D'un Sol Surexploité Et Les Contraintes D'exploitation*

«Cas De Sites Maraichers De Kimuenza A Kinshasa»

[Study Of The Pedological Quality Of An Overexploited Soil And The Operating Constraints

«Case Of Market Gardening Sites From Kimuenza To Kinshasa»

Ruffin N. NGADI<sup>1\*</sup>, Crispin K. MULAJI<sup>2</sup>, et Lyna MUKWA<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences, Département de Chimie, <sup>2</sup>Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département de Chimie et Industrie, <sup>3</sup>Université Pédagogique Nationale, Faculté d'Agronomie..

Corresponding author : E-mail : [ngadiruffin@gmail.com](mailto:ngadiruffin@gmail.com) ; phone : +243 816915111



**Résumé :** L'étude vise à évaluer la qualité du sol maraicher de Kimuenza et la contrainte face à sa productivité. L'analyse était effectuée d'une part, par Spectroscopie UV –visible Hach reposant sur la loi de Beer-Lambert, pour les paramètres physicochimiques, par fluorescence des rayons-X pour les éléments de saturation et d'autre part, par ICP-MS pour les éléments traces métalliques. La limite de détection et la reproductibilité de ces méthodes ont été confirmées.

Les résultats obtenus ont indiqué que le sol est pauvre en nutriment nécessaire pour les plantes, faible rétention en eau et une texture sablonneuse et présente un taux élevé de Cd variant entre 9,6 à 12,1 mg/Kg dans tous les sites.

**Mots clés :** Sol-Physicochimie-pédologie-surexploité-surfertilisé-contrainte.

**Abstract:** The study aims to assess the quality of the market garden soil of Kimuenza and the constraints faced with its productivity. The analysis was carried out on the one hand, by Hach UV-visible spectroscopy based on the Beer-Lambert law, for the physicochemical parameters, by X-ray fluorescence for the saturation elements and on the other hand, by ICP- MS for metallic trace elements. The detection limit and the reproducibility of these methods have been confirmed.

The results obtained indicated that the soil is poor in nutrients necessary for plants, low water retention and a sandy texture and has a high rate of Cd varying between 9.6 to 12.1 mg/Kg in all sites.

**Key words:** Soil-Physicochemistry-pedology-overexploited-overfed-constraint.

## Introduction

La fertilité du sol fait classiquement référence à une aptitude à produire la biomasse végétale. Les principaux indicateurs du suivi en routine de la fertilité d'un sol cultivé sont étudiés.

Le maraichage à Kinshasa fait face à des défis majeurs dont le problème d'espace et la surpopulation avec l'extension de la ville auxquels s'ajoutent l'augmentation de l'offre et de la demande des produits maraichers.

Cette situation conduit à un lotissement dans des milieux non urbanisés amenant à un manque d'habitat adéquat, manque d'alimentation sécurisée, manque d'eau potable, d'espace maraicher et d'espace vert.

Les pratiques culturales sont loin de garantir la qualité sanitaire des légumes produits. La super fertilisation minérale et organique et la surexploitation de sols entraînent une difficulté à évaluer les réserves du sol, volume de matière organique (Atindela et al, 2017).

Les sols maraichers périurbains posent la carence de plusieurs minéraux susceptibles de nourrir les légumes. Les formes minérales majeures absorbés par les légumes sont : les ions phosphates ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), le calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , le magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ , le potassium  $\text{K}^+$ , le nitrate  $\text{NO}_3^-$  et le sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Le P, K, Mg et Ca possèdent en commun un cycle biogéochimique démarrant par l'altération de la roche-mère. Constitutifs de la matière organique, P, Mg et Ca y sont présents dans une fraction variable, sous forme organique et minérale, et mis à disposition assez rapidement par libération des contenus cellulaires et minéralisation progressive de la fraction organique. K, est toujours sous forme ionique dans la plante ou dans le sol (Dombret L., 2021).

A cause de la surexploitation de ce sol avec usage abusif des fertilisants et des pesticides, le sol perd ses qualités de productivité. Donc le sol ne peut plus produire sans qu'il soit amendé. Les cultures maraichères provenant de ce sol nécessitent un examen approfondi car sa qualité devient douteuse.

L'objectif de la fertilisation du sol est de procurer aux plantes les éléments majeurs. Le manque ou l'excès de ces éléments est souvent responsable des faibles rendements.

Les éléments majeurs du sol recherchés dans ce sol sont : Mg, Ca, P, N, Al, Si, Mn, Fe, K, Ti et S qui interviennent à 94,4 % et les oligoéléments sont : Nb, Rb, Zr, Cu, Zn, Ni, Na, Ca, Cr, Ba, La, Th, As, Cd, Pb qui peuvent empêcher l'évolution des plantes et en même temps les contaminer (Scardigli, 2006 et Temgoue, 2015).

La Province de Kinshasa est quasi totalement couverte de sols sablonneux hérités des sables de recouvrement du système Kalahari (Beau, 1975; Sys, 1983). Ces sols appartiennent au grand groupe des sols ferrallitiques (Compère, 1970). Ils sont caractérisés par un stade avancé d'altération, présentent une réaction acide et possèdent une faible réserve (balance) des nutriments (Baert et al., 1991; Marcelino, 1995) qui les rendent marginaux pour l'agriculture (Malele, 2003a). La faible fertilité chimique et la capacité de rétention en eau très limitée constituent des sévères limitations de leur potentiel agronomique. Le lessivage des éléments nutritifs en profondeur est favorisé dans ces sols. Lorsqu'ils sont défrichés et laissés à nu, la décroissance de l'activité biologique est encore plus rapide (Dzaba, 1987).

L'objectif poursuivi dans cette étude est de caractériser le sol maraicher surexploité et surfertilisé de Kimuenza en vue de déterminer sa qualité et faire face la contrainte due à sa productivité.

## Milieu, matériels et méthodes

### Milieu d'étude

Les échantillons de sol des horizons superficiels ont été utilisés pour la présente investigation. Sur chaque site, un profil a été réalisé et un échantillon composite a été préparé à partir des petites carottes de terre prélevé de façon dispersée sur une superficie d'environ un hectare pour Site de Pont Ma vallée (Lat. S 04°28'32,4'' et Log. E), Site de Kiala (Lat. S 04°28'40,1'' et Long. E 015°16'28,8''), Site captage Regideso (Lat. S 04°28'53,8'' et Long. E 015°16'20,9''), Site Tshilombo (Lat. S 04°29'36,7'' et Long. E 015°15'23,4'') et le site Mafunfu (Lat. S 04°29'53,7'' et Long. E 015°15'19,5'').

Tous les sites sont des sites maraichers périurbains de Kimuenza, dans la commune urbano-rurale de Mont Ngafula, district de Lukunga, ville de Kinshasa. Ils sont situés entre la rivière Lukaya et la route qui mène vers le groupement de Mafunfu et cette route à faible fréquentation des véhicules motorisés et quelques motos ou véhicules qui y passent rarement pour

le transport des agents de CARRIKIM, Regideso, Chute de de Lukaya, lola ya Bonobo, Minocongo et la population maraichère ainsi que les vendeuses des légumes provenant de différents coins de la ville de Kinshasa.

Tous ces sites maraichers sont situés le long du bassin versant de la rivière Lukaya ont des caractéristiques communes dont : l'usage des fientes, de l'urée et de NPK pour amender le sol, des pesticides.

Les coordonnées géospatiales ont permis d'établir les cartes d'échantillonnage des sites maraichers ci-après :

## CARTE D'ÉCHANTILLONNAGE DE SOLS

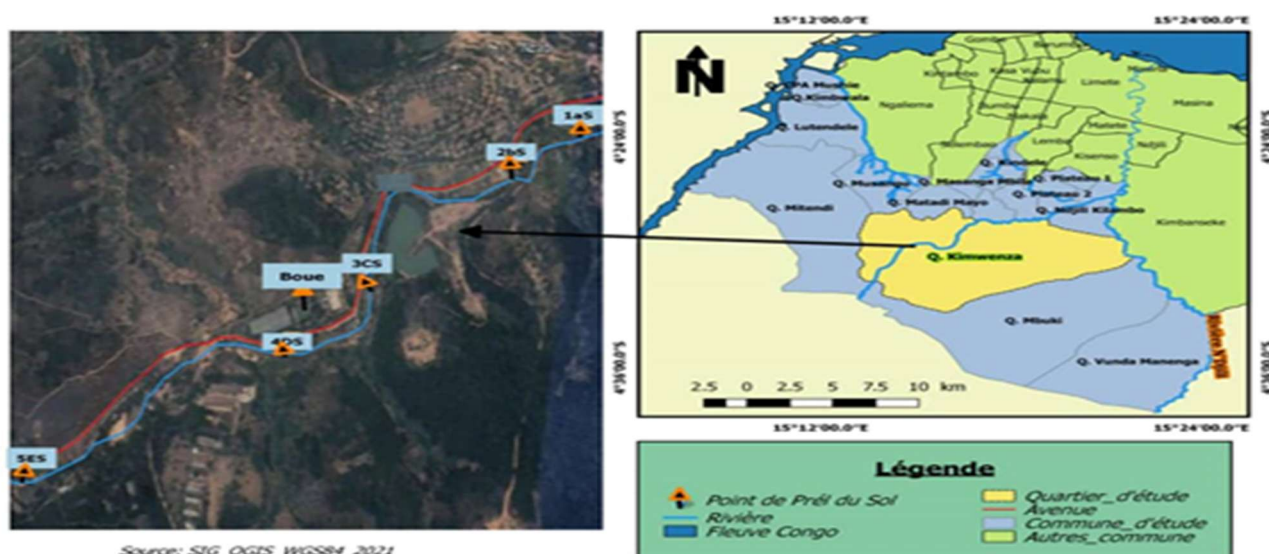


Figure 1 : carte d'échantillonnage de sols maraichers de Kimuenza

A l'aide de la tarière, 5 échantillons de sol maraicher ont été prélevés dans chaque site à une profondeur de 0-25 cm. Un autre échantillon composite de tous les sites maraichers a été constitué.

### Méthodes d'analyses

#### Caractérisation physico-chimiques des sols

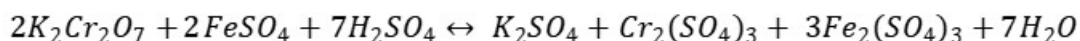
Le pH a été mesuré dans une suspension sol/eau dans le rapport 1/2,5 à température ambiante à l'aide d'un pH-mètre « à électrodes pH combinées » de verre de marque Consort 532.

10 g d'un échantillon tamisé (sol, boue et fiente) sont placés dans un erlenmeyer, mis en contact avec 50 mL d'eau distillée et placés sur une enceinte d'agitation pendant 2 heures. La mesure est alors effectuée sur le surnageant, après un temps d'équilibre d'une demi-heure (dans un bécher après lavage ou décontamination avec 10 mL du même surnageant).

#### Dosage de Carbone organique total (Norme ISO 14.235)

Le dosage de carbone organique permet de déterminer le taux de matière organique de l'échantillon. La méthode Walkley et Black (1934) utilisée à cet effet consistait à une oxydation de la matière organique par le dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) en excès milieu acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$  96 %) à chaud et en présence du catalyseur ( $Ag_2SO_4$ ) à partir d'un échantillon de sol, fiente et boue tamisé à 2 mm. Et le titrage de dichromate de potassium en excès par le sulfate

ferreux (sel de Mohr) en présence de diphénylamine comme indicateur d'oxydoréduction. Les deux principales réactions mises en jeu sont :



La capacité d'échange cationique représente le potentiel maximum d'un sol à fixer les cations. C'est la somme d'ensemble des places disponibles sur les charges négatives de colloïdes de la boue, fiente pour la fixation des cations ( $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ , et  $Al^{3+}$ ). Elle est déterminée par la méthode au chlorure de cobalt hexamine  $[Co(NH_3)_6Cl_3]$  selon la norme NF X 31-130 (Afnor, 2004). Le principe repose sur le fait que les ions cobalthexamine  $Co(NH_3)_6^{+3}$  adsorbent à la surface d'une boue et déplacent ainsi les cations retenus par le support. La mesure de CEC a nécessité 5 g de boue, mis en suspension dans 25 mL d'une solution de  $Co(NH_3)_6Cl_3$  à  $0,016 \text{ mol L}^{-1}$ . Agité pendant 3H au centrifuge 14mn à 3000 –Bioblock Scientif et type sigma 2-15, puis filtré à  $0,45 \mu\text{m}$  les ions  $Co(NH_3)_6^{+3}$  en excès, sont déterminés par colorimétrie à 470 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible HACH. La CEC est exprimée en méq/100g de sol. Une courbe d'étalonnage établie à partir des 5 solutions étalons (0,01 ; 0,02 ; 0,03 ; 0,04 ; et 0,05).

Le dosage du phosphore par la méthode de Bray, cela se passe par la complexation par fluorure d'ammonium qui se lie au phosphore. Le dosage de ce dernier, se fait par spectrophotomètre avec le bleu de molybdène (John MK, 1975).

Le dosage de l'azote total par méthode de Kjeldahl

La teneur en cation échangeable a été déterminée selon la norme NF X31-161 (Afnor, 2004).

5 g de sol sont soumis en suspension d'acétate d'ammonium 1 mol/L ajustée le pH=7 à l'aide de l'acide acétique à mol/L o ammoniacque 1 mol/L. Le mélange est agité pendant 1H (agitateur magnétique orbital 1 KA Labor technik KS 501-digital model -150 tours/min), centrifuge 14mn à 3000 –Bioblock scientifique et type sigma 2-15, puis filtré à  $0,45 \mu\text{m}$ . le dosage est réalisé par spectrophotomètre UV visible HACH reposant sur la loi de Beer–Lambert dont la longueur d'onde de chaque élément associé à sa gélule (tampon).

Les éléments de saturation et ceux majeurs ont été réalisés par Fluorescence –X du CREN-K un échantillon de sol ont été chauffés à  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , refroidi et broyés et tamisés avec un tamis à 2mm. 4 g de l'échantillon et associé à 1 g de CEREOX puis formés les pastilles à l'aide de pastilleuse. Les pastilles obtenues sont analysées au Spectromètre à fluorescence X et effectuées sur chaque face de pastille pour obtenir la composition chimique de chaque pastille et les différentes proportions et les résultants sont exprimés en %.

Les éléments traces métalliques par Spectrométrie de masse avec plasma à couplage induit (ICP-MS) basé sur la séparation, l'identification et la quantification des éléments constitutifs d'un échantillon en fonction de leur masse.

Les échantillons ont été réalisés par mise en solution au Laboratoire « United Scientific » de Lubumbashi. Les échantillons ont été pesés et séchés à l'étuve à une température de  $60^\circ\text{C}$  jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Après séchage, les échantillons ont été pesés, broyés et tamisés séparément à 2 mm. Un demi-gramme (0,5g) de chaque échantillon est mis en solution par le mélange de 6 mL de l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) et 6 mL de l'acide nitrique ( $HNO_3$ ) dans un DigiPREP à une température de  $95^\circ\text{C}$  pour une durée de 3 heures. Le dosage des éléments traces métalliques a été réalisé par Spectrométrie de masse avec plasma à couplage induit (ICP-MS) de marque Varian Les résultats sont exprimés en mg/Kg.

Tous les résultats obtenus ont été soumis à des méthodes statistiques pour dégager soit les écarts ou une comparaison.

## Résultats et discussions

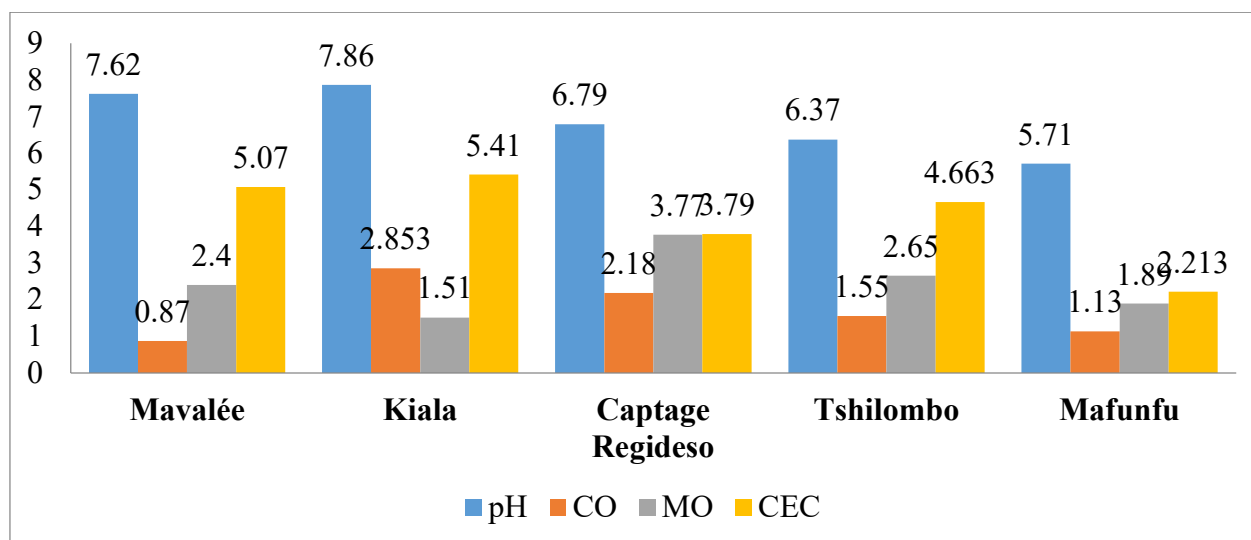
Les résultats consignés dans le graphique 2 des paramètres physicochimiques révèlent que le taux de saturation sont très faibles dans tous les sols étudiés (<25 %). Tous les éléments nutritifs sont le Ca, le Mg et K sont des cations basiques les plus importants en agriculture ou maraichage. Les valeurs idéales de saturation en base pour ces trois cations sont 70 à 85 % pour le Ca, 10 à 15 % pour le Mg et 4 à 7 % pour le K (Wolf, 2000). La capacité d'échange cationique varie entre 3,79 à 5,41 mg/100g de sol. La mobilité d'ions n'est pas intense où les ions doivent se déplacer pour nourrir les plantes.

On observe un déséquilibre entre les cations du fait du degré d'altération propre du sol et de la surexploitation.

L'analyse granulométrique des sols étudiés a montré d'une part une texture sablonneux-limoneux avec pour les sites Kiala, mavalée, captage. Et sablonneux pour les sites Tshilombo et Mafunfu dont les sables fins sont les principaux constituants et pouvant être classé comme rubrique areferralsols (dystriques) [FAO, 2006]. Ce sol montre les propriétés physiques où la rétention en eau est faible et la porosité est élevée dont les conditions de drainage sont optimales. Le carbone organique étant plus élevé dans le sol donc C.O > 2.4 %, les sols des sites Captage Regideso et Kiala [2,19-2,85 %] ont un niveau élevé en M.O, donc une forte fertilité. Les sites Tshilombo et Mafunfu [1,1-1,5 %] ont un niveau modérément faible en MO car variant dans le % CO de 0.8- 1.5 % et le site Mavalée est faible car le CO < 0.8 %.

Le pH des sols varie entre 6,8 à 7,8 dans tous les sites sauf le site le site Tshilombo où le pH est 6,37 et à Mafunfu où le pH est 5,71. Ce pH est légèrement acide. Celui des sites Mavallée et Kiala est basique suite à l'influence des produits de fertilisation et Tshilombo et Captage Regideso 6,8. Le pH obtenu dns différents échantillons du sol est de loin supérieur à ceux trouvé pour le sol sablonneux du même site (4,9), il y a eu une amélioration du fait de l'usage des fientes (Mulaji et al. 2016).

**Graphique 2: Paramètres physicochimiques des sols maraichers de Kimuenza**



Les teneurs totales d'éléments majeurs inscrites dans le tableau 1 montrent que :

Le potassium a un taux plus élevé que dans le sol du site Tshilombo (0,998 %) et faible le site Mavallée (0,448). Tous les sites ont taux de potassium faible mais supérieur à 0,16% la norme. Le sol maraicher s'appauvrit en potassium à cause de la surexploitation et de la demande intense des cultures. La surexploitation de sols entraîne une difficulté à évaluer les réserves du sol, volume de matière organique (Atindela et al. 2017).

Le calcium dans les sols maraichers périurbains de Kimwenza varie entre 0,323 % à Mafunfu et 1,435 % au site captageRegideso. La concentration de Ca des sites captage Regideso et Kiala est très élevée suite à la proximité de la carrière

Kiala qui concasse les pierres qui évacue le carbonate de calcium en forme de poussière. Ils ont un taux plus élevé en calcium qu'en potassium.

Le magnésium dans les sols maraichers périurbains de Kimwenza varie entre 0,167 % (Captage Regideso) et 0,183 % (Kiala). Le sol est faible en magnésium.

Les sols maraichers restent ont un taux plus élevé de fer que celui de calcium et potassium. Ses concentrations varient entre 0,657 % (site mavalée) et 1,2815% (Site Tshilombo). La population mondiale (60-80%) serait carencée en fer dont 30 % serait anémique, d'où augmenter le taux de fer dans les végétaux comestibles serait nécessaire, d'où l'usage de fer comme fertilisant apporterait du fer (Briat, 2005).

L'aluminium dans les sols maraichers périurbains de Kimwenza est moins abondant et varie entre 4,346 % (Mafunfu) à 5,689 % Captage Regideso. Les rejets des boues de décantation de l'usine de Lukaya influence la quantité d'aluminium dans le sol de ce site. Le pH étant > 5,5, l'aluminium est sous forme de  $Al(OH)_3$  et l' $Al^{3+}$  échangeable n'existe pas. Le site Mafunfu où le pH avoisine le 5,5, la teneur en  $Al^{3+}$  aura tendance à augmenter (Boyer, 1982, Landon et al. 1991).

Le Na est très faible dans tous les sites. Il varie de 0,19 % (Tshilombo) et 0,254 % (Kiala).

Tableau 1: Elements majeurs du sol

	Ca	Mg	K	Na	Fe	Al
Mavalée	0,3957±0,011	0,177±0,023	0,448±0,017	0,229±0,025	0,657±0,036	4,68±0,195
Kiala	0,855±0,082	0,1834±0,00	0,452±0,0312	0,254±0,033	1,029±0,015	4,367±0,111
Captage Regideso	1,435±0,6982	0,1677±0,030	0,7487±0,1022	0,216±0,009	1,213±0,0337	5,689±0,039
Tshilombo	0,483±0,207	0,1796±0,0144	0,988±0,0908	0,190±0,0207	1,281±0,0194	4,456±0,715
Mafunfu	0,323±0,11	0,169±0,016	0,596±0,571	0,226±0,084	1,085±0,0875	4,346±0,317

Les autres éléments constituant l'engrais chimiques comme N et P, sont repris dans le tableau 2.

- L'azote dans les sols maraichers périurbains de Kimwenza est très faible par rapport à la demande des cultures et varie dans tous les sites entre 0,01 % (Mavalée) à 0,1 % (Tshilombo).
- Le phosphore dans les sols maraichers périurbains de Kimwenza varie entre 0,206 % (Tshilombo) à 0,23 % (Kiala). Donc il est faible pour un sol à tendance maraichère.
- Le soufre dans les sols maraichers périurbains de Kimwenza est très faible et varie de 0,105 % (Mavallée) à 0,13 % (Captage Regideso). Cette valeur élevée de soufre dans ce site provient des rejets des boues de potabilisation d'eau de l'usine de Lukaya.
- Le silicium plus abondant dans la croute terrestre et dans les sols maraichers périurbains de Kimwenza varie entre 56,8 à 60,8 %.

**Tableau 2 : Autres éléments utiles à la fertilisation du sol**

	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>N</b>
Mavalée	57,69±2,53	0,105±0,009	0,22±0,0005	0,01±,00
Kiala	56,843±1,758	0,124±0,007	0,230±0,0456	0,09±0,019
Captage Regideso	60,846±2,056	0,13±0,1064	0,211±0,019	0,08±0,0194
Tshilombo	56,896±3,186	0,111±0,0188	0,206±0,0123	0,1±0,00
Mafunfu	56,936±1,414	0,121±0,056	0,216±0,042	0,07±0,013

Les éléments traces métalliques présents dans les sols maraichers de Kimuenza sont inscrits dans les tableaux 3a, 3b et 3c

Les teneurs totales d'éléments traces métalliques présents dans les sols maraichers de Kimuenza dans différents sites étudiés indique que la disponibilité potentielle des éléments traces métalliques mineurs ou majeurs dépend de types de sol et leurs caractéristiques dont l'acidité (pH), l'humidité, la teneur en matières organiques et le potentiel d'oxydo-réduction (Trans et al. 1995). Quel que soit la destination finale, la connaissance sur les teneurs des éléments traces métalliques, est primordiale en cas de valorisation (MESE, 2013). Les sols maraichers contiennent quelques éléments traces métalliques. Ces ETM sont de loin inférieurs par rapport aux valeurs limites. Seul le Cd variant entre 9,6 à 12, 1 mg/Kg, valeurs supérieures par rapport aux normes pour le sol maraicher, 2 mg/Kg (NF 441/1985) et 3 mg/Kg (Directive 1986-88, CEE 1986).

Ces métaux lourds présents sont largement inférieurs aux concentrations admises dans les sols où les cultures peuvent peut s'effectuer, sauf le Cd qui a des concentrations élevées.

**Tableau 3a: Eléments traces métalliques dans le sol**

	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
Mavalée	222,53±4,607	31,333±2,271	22,133±2,011
Kiala	251,75±0,9471	33,166±1,816	26,4±3,698
Captage Regideso	233,7±4,672	35,8±2,141	24,766±2,206
Tshilombo	235,466±8,630	30,933±1,103	23,166±1,232
Mafunfu	228,5±23,165	31,466±1,622	22,133±1,881
NFU 441 1985		150	50
Directive 1986-88			
CEE, 1986		300	75

**Tableau 3b : Eléments traces métalliques dans le sol**

	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Rb</b>
Mavalée	11,233±3,049	3,24±0,428	16,63±0,843
Kiala	10,15±0,315	3,906±0,207	17,133±1,492
Captage Regideso	12,1±1,557	3,906±0,207	16,633±1,038
Tshilombo	9,633±0,908	3,1±0,194	16,733±2,400
Mafunfu	10,866±1,881	3,4±0,584	15,11±0,798
NFU 441 1985	2	100	
Directive 1986-88	3	300	
CEE, 1986	3	300	

**Tableau 3c : Eléments traces métalliques dans le sol**

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>
Mavalée	30,93±1,687	25,4±3,504	1,1±0,00
Kiala	37,8±3,114	26,826±3,400	1,3±0,00
Captage Regideso	33,6±3,114	22,603±1,155	1,6±0,389
Tshilombo	29,6±1,946	22,4±1,946	1,01±0,00
Mafunfu	27,615±0,0315	21,966±1622	1,02±0,00
NFU 441 1985	100	300	
Directive 1986-88	140	300	
CEE, 1986	50-140	300	

## Conclusion

L'objectif de cette étude était de caractériser le sol surexploité et surfertilisé de Kimuenza. Les résultats obtenus ont démontré que le sol de Kimuenza est pauvre en éléments majeurs suite à la composition de sa texture et sa rétention eau est faible. Les valeurs idéales de saturation en base pour les cations essentiels ne sont pas atteintes.

Le sol a subi des modifications suite à l'influence de l'usage non contrôlé des fertilisants et de la surexploitation accumulant ainsi les éléments traces métalliques à l'instar du Cd et empêcherai son utilisation.

Le sol n'ayant pas de réserves en nutriments pour les plantes, nous recommandons d'utiliser un fertilisant capable d'augmenter la rétention en eau pour stabiliser les éléments majeurs à l'instar des boues de potabilisation d'eau.

## Références

- [1]. Barideau A. (1986), les boues d'épuration, menaces pour l'environnement ou matières premières pour l'agriculture, Bull. Rech. Agro. Pp. : 369-382.
- [2]. Beau (1975). Atlas de Kinshasa. Institut Géographique du Zaïre, Kinshasa.
- [3]. Benskisier E., Ottow JCG, Watanabe I. et Santiago S. (1984), The mechanism of excessive iron-up take (iron toxicity) of wetland rice, J.of Pplant nutr., 7 (1(5): 177-185.
- [4]. Briat J.F. (2005), Le fer du sol aux plantes, Article, communication scientifique, Biochimie et physiologie moléculaires des plantes, 9p.
- [5]. Boyer J, (1982), Les sols ferrallitiques, Tome X : facteurs de fertilité et utilisation des sols, Initiations e Documentations Techniques, N\_ 52, ORSTOM, Paris, France
- [6]. Dzaba, D. (1987). Contribution à l'étude des amendements calcaire sur la dynamique du phosphore des sola acides de la République Populaire du Congo. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, pp.
- [7]. Dombret L. (2021), Interpréter l'analyse de terre pour la culture maraichère, conseil technique de saison en maraichage, BioWallonies, Belgique CEC : 43-47.
- [8]. FAO (2006), World reference base for soil resources, World Soil Resources Report N\_ 103, 2nd ed., Rome.
- [9]. Igoud (2001), les boues résiduaire issues des stations d'épuration urbaines pour leur épandage dans les plantations forestières, ReV. Energ. Ren., Production et valorisation biomasse, 2001 :69-75.
- [10]. Lacée C. (1985), Analyse des boues, AFEE, TOME I, 135 p. et Tome II, 127p.
- [11]. Landon J.R. (1991), Booker Tropical Soil Manual, A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics, Paperback, Longman, Booker Tate limited, Oxon, Royaume-Uni, p. 474.
- [12]. Malele, M.S. (2003). Contribution à la remise en valeur des terres forestières dégradées de la zone périurbaine de Kinshasa (République Démocratique du Congo). XIIe Congrès forestier mondial, FAO, Québec, Canada. [www.fao.org](http://www.fao.org), .
- [13]. Marcelino, V. (1995). Characteristics and genesis of sandy soil of Lower Congo. Ph.D. thesis in Earth Science, Ghent University, Belgium.
- [14]. Mengel K. et Kyrby E.A. (1978), Iron, In principles of plant nutrition intern, Potash Inst. 425-439.
- [15]. MESE (2013), Caractéristiques des boues épandues dans le département de la Loire, Fiche technique N°5, Réalisation mars, Agricultures et territoires, 8p.
- [16]. Pierrisnard F. et Ambrosi J.P. (1996), Caractérisation minéralogique, chimique et spéciation des métaux lourds dans les boues de la station d'épuration de la ville de Marseille, Déchets, Sciences et techniques 4<sup>e</sup> édition P: 31-34.
- [17]. Scardigli M. (2006), Bien nourrir les plantes pour mieux nourrir les Hommes, la lettre de l'UNIFA n°15 ( <http://www.unifa.fr/Component/phoca.download/category/2-lettres-de-unifa.html> ) accédé le 20 aout 2022.
- [18]. Temgoua E., Ntangmo H., Pfeifer H.R. et Njine T. (2015), Teneurs en éléments majeurs et oligoéléments dans un sol et quelques cultures maraichères de la ville de DSCHANG, Cameroun, Africancrop Science journal, Vol. 23 N° 1 : 35-44.
- [19]. Trans S., Giroux M., Audesse P. et Guibault J. (1995), Importance des oligo-éléments en agriculture : Symptômes visuels de carence, analyse des végétaux et de sols, agrisols Vol. 8 (1) : 12-22.
- [20]. Sys, C. (1983). The ferralsols of Zaïre. Procceding of the fourth International soil classification worksop. Agricultural Edition 4, Part I:76-110.
- [21]. Wolf B. (2000), The fertile triangle: The interrelationship of air, water and nutrient in maximizing soil production, Food Product Press, New-York.