

# Présence des métaux lourds dans les sédiments des sites maraîchers utilisant les pesticides à Kinshasa, RD Congo

Georgette N. Ngweme<sup>1</sup>, Guillaume M. Kiyombo<sup>1</sup>, Paola Muanamoki<sup>2</sup>, Amandine<sup>3</sup>, Emmanuel K. Atibu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*School of Public Health, Faculty of Medicine, University of Kinshasa, B.P. 11850, Kinshasa XI, Democratic Republic of the Congo*

<sup>2</sup>*Faculty of Science, Department of Chemistry, University of Kinshasa (UNIKIN), B.P. 190, Kinshasa XI, Democratic Republic of the Congo*

<sup>3</sup>*Faculty of science, F.-A. Forel Institute and Institute of Environmental Sciences, University of Geneva, Switzerland, 66 Boulevard Carl-Vogt, CH – 1205, Geneva*

DOI: 10.29322/IJSRP.13.12.2023.p14434

<https://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.13.12.2023.p14434>

Paper Received Date: 13th November 2023

Paper Acceptance Date: 19h December 2023

Paper Publication Date: 26th December 2023

## Résumé

Cette étude a été menée dans 8 grands sites maraîchers de la ville-province de Kinshasa pour les prélèvements des échantillons des sédiments (en amont, au milieu et en aval) dans les rivières, les étangs et les marécages pendant la saison sèche dans les sites maraîchers des Tshuenge (TS), Kimpoko (KI), Rifflaert (RI), Cecomaf (CE), Lemba-Imbu (LI), Monastère (MON), Mombele/Agricole (MO) et Saïo (SA) pour être dosés en métaux toxiques (cadmium, plomb, arsenic, nickel, zinc et mercure). Les résultats des analyses ont montré que les teneurs du Zn, Pb, Cr et Hg révèlent un enrichissement métallique des sédiments dans les sites de maraîchage enquêtés et les résultats des Igéo et FE obtenus pour les Zn, Pb et Hg ont prouvé à suffisance que les différents niveaux de contamination des sédiments viennent d'une source anthropique prédominante.

**Mots clés :** Site maraîcher, Métaux lourds, sédiments, Igéo, Facteur enrichissant.

## Abstract

This study was carried out in 8 large market gardening sites in the city province of Kinshasa for taking sediment samples (upstream, in the middle and downstream) in rivers, ponds and swamps during the dry season in market gardening sites. des Tshuenge (TS), Kimpoko (KI), Rifflaert (RI), Cecomaf (CE), Lemba Imbu (LI), Monastère (MON), Mombele/Agricole (MO) and Saïo (SA) to be dosed with toxic metals ( cadmium, lead,

arsenic, nickel, zinc and mercury). The results of the analyzes showed that the contents of Zn, Pb, Cr and Hg reveal a metallic enrichment of the sediments in the market gardening sites investigated and the results of Igeo and FE obtained for Zn, Pb and Hg sufficiently proved that the different levels of sediment contamination come from a predominant anthropogenic source.

**Key words** : market garden site, heavy metals, sediments, Igeo, Enriching factor.

## 1. Introduction

La pollution agricole retient l'attention du fait de ses effets néfastes sur la qualité et les fonctions des cours d'eaux, sur les sédiments et sur les sols cultivés car elle représente un cas typique de pollution multiple et généralisée du compartiment aquatique surtout dans la culture maraîchère [1].

L'usage intensif des pesticides en agriculture génère des métaux toxiques dans les eaux de surface et souterraines, dans le sol cultivé et les sédiments. Les pesticides constituent actuellement une menace très importante sur la qualité des eaux naturelles et de consommation. Néanmoins la mise en évidence de leur présence a pris du temps en raison des variations temporelles de teneur [2].

La contamination des eaux de surface et des eaux souterraines dans un bassin versant est surtout due à de mauvaises pratiques agricoles. Celles-ci comprennent l'utilisation excessive d'engrais pour des rendements élevés, les pratiques d'irrigation et d'utilisation des pesticides. Ces pratiques peuvent entraîner des flux d'éléments nutritifs, chimiques, et pathogènes vers les ressources en eau et bouleverser les écosystèmes de façon dommageable.

La plupart des auteurs [3] ont reconnu les différents effets néfastes des pesticides utilisés dans les sites maraîchers dans l'eau, les sols cultivés et les sédiments.

Cette pratique comporte des risques pour la santé et l'environnement tels que la contamination des produits maraîchers, des sols, des sédiments et des eaux par les métaux lourds et autres substances toxiques [4].

Dans le sol, le devenir des pesticides est influencé par de nombreux facteurs. Parmi eux la matière organique joue un rôle important, en effet ils sont fixés par la matière organique naturelle des sols. Les pesticides vont donc rester proches de la surface du sol, zone dans laquelle la matière organique est localisée en majorité. A plus long terme, la matière organique suit un recyclage important dans les sols et les pesticides rémanents pourront donc être remis en circulation lors de la dégradation de celle-ci dans les sols [5].

Quant aux sédiments prélevés dans les sites de maraîchage visités, ils contiennent à côté des substances biologiquement dégradables comme les substances nutritives, de nombreux polluants difficilement ou non dégradables. C'est le cas des résidus des pesticides et des métaux toxiques. C'est la raison pour laquelle la teneur de ces substances augmente dans l'eau, les sédiments et souvent dans les organismes vivants dans l'eau [6]. Il convient également de noter qu'une partie des éléments polluants des rivières reste fixée dans les sédiments [7].

Dans les pays d'Afrique du Nord, en particulier l'Algérie, les eaux de surface, utilisées pour les besoins de l'agriculture, de l'alimentation des populations et de l'industrie, voient leur demande s'accroître sans cesse [8]. Des investissements considérables ont été consacrés à la construction de barrages, notamment dans l'Est du pays. Sous climat semi-aride, ces eaux de surface sont vulnérables et sont souvent de qualité médiocre face aux diverses pollutions. Elles peuvent contenir des quantités non négligeables de matières organiques naturelles [9], telles que les substances humiques, mais aussi des composés organiques issus de divers rejets polluants ou de pratiques agricoles intensives [10].

A Kinshasa, Capitale de la République Démocratique du Congo, l'agriculture maraîchère est principalement pratiquée dans les zones périurbaines où l'eau d'irrigation est disponible.

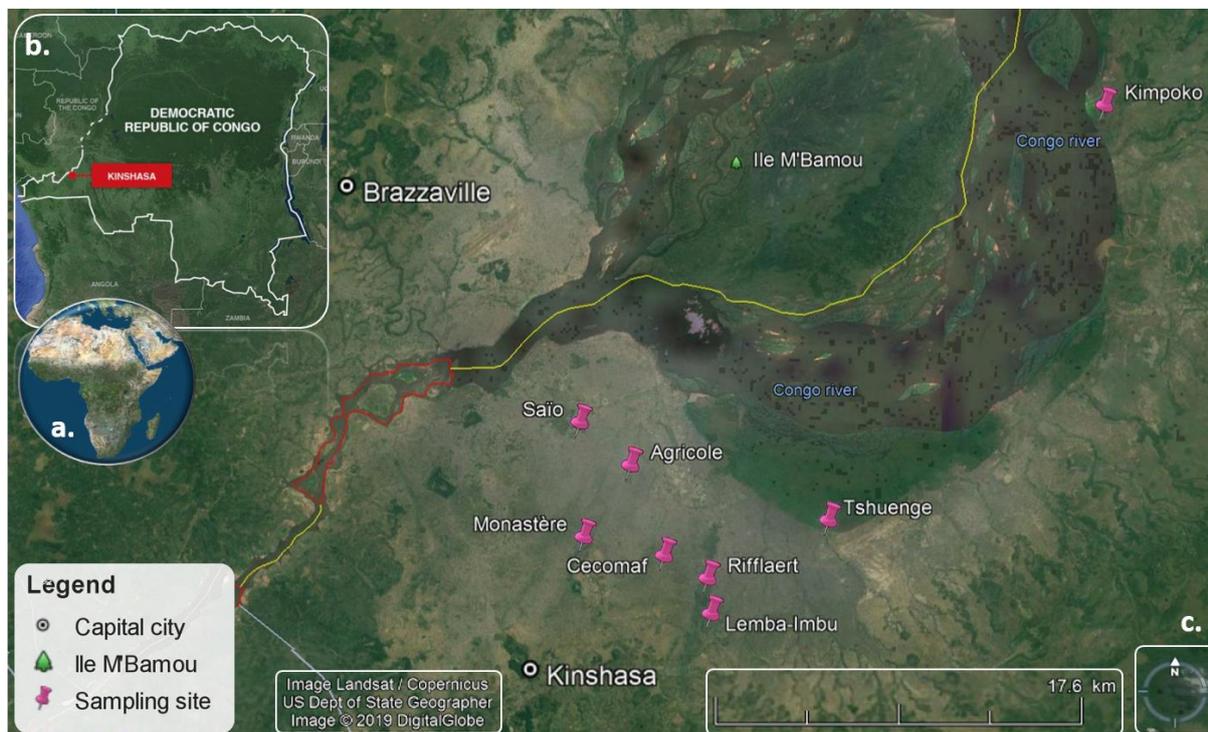
Cette activité est reliée à l'utilisation systématique de différents types de pesticides, qui sont soit périmés, soit homologués ou non, vendus par des commerçants ambulants ou dans leurs centres de maraîchage, pour une seule culture, afin de lutter contre les ravageurs et ensuite pour optimiser les rendements, ils recourent à des intrants chimiques pour récolter des légumes frais, propres, sans tâches ou perforations visibles causées par des agents nuisibles pour satisfaire le besoin des consommateurs. Malheureusement, l'usage intensif de pesticides en agriculture génère des métaux toxiques et des polluants organiques persistants dans les eaux, dans le sol et les sédiments ainsi que dans les plantes cultivées [11].

En vue de protéger et de gérer de façon raisonnée les ressources en eau de surface dans le pays, de bien protéger le sol exploité par les maraîchers, il convient d'avoir une idée sur l'état actuel des différentes masses d'eau et les sédiments, sur le sol exploité et les effets néfastes d'utilisation des pesticides et des intrants chimiques par les maraîchers dans leurs mauvaises pratiques agricoles. L'objectif de ce travail était de déterminer la concentration de métaux lourds, notamment le Cr, le Co, le Cu, le Zn, l'As, le Cd, le Pb et le Hg dans les sédiments des sites maraîchers enquêtés de la ville province de Kinshasa longtemps exposés aux traitements phytosanitaires et intrants chimiques afin d'attirer l'attention des utilisateurs sur les risques liés à leur utilisation inappropriée afin de protéger la santé des consommateurs.

## **2. Matériel et Méthodes**

### **2.1. Sites d'études et de la procédure d'échantillonnage**

Huit sites maraîchers appelés respectivement Tshuenge (TS), Kimpoko (KI), Rifflaert (RI), Cecomaf (CE), Lemba-Imbu (LI), Monastère (MON), Mombele/Agricole (MO) et Saïo (SA) ont été choisis pour cette étude et les prélèvements des échantillons des sédiments ont été effectués (Fig. 1). Les étiquettes des échantillons, les coordonnées GPS et les activités effectuées dans les sites d'échantillonnage sont indiquées dans le tableau 1.



**Figure 1. Carte de localisation de la République démocratique du Congo, les zones d'étude des différents sites maraîchers.**

Ces sites présentent chacun ses caractéristiques géographiques et sont localisés sur les sols sablonneux pauvres, soit intra soit péri-urbains. Cette étude a été menée pendant la période de la saison sèche (juillet-août 2022).

**Tableau 1 : Échantillonnage des coordonnées GPS et description des activités réalisées autour des sites**

| Site d'échantillonnage | Latitude    | Longitude    | Nom de l'échantillon   | Activités réalisées dans les sites  |
|------------------------|-------------|--------------|--|-------------------------------------|
| Tshuenge (TS)          | 04°23'.28'' | 015°25'.02'' | TS <sub>ea</sub> , TS <sub>so</sub> , TS <sub>pl</sub> , TS <sub>sed</sub>     | Maraîchage                          |
| Kimpoko (KI)           | 04°11'.13'' | 015°32'.32'' | KI <sub>ea</sub> , KI <sub>so</sub> , KI <sub>pl</sub> , KI <sub>sed</sub>     | Maraîchage                          |
| Mombele (MO)           | 04°22'.05'' | 015°19'.17'' | MO <sub>ea</sub> , MO <sub>so</sub> , MO <sub>pl</sub> , MO <sub>sed</sub>     | Maraîchage                          |
| Monastère (MON)        | 04°24'.12'' | 015°19'.17'' | MON <sub>ea</sub> , MON <sub>so</sub> , MON <sub>pl</sub> , MON <sub>sed</sub> | Maraîchage, élevage et pisciculture |

|                 |            |             |   |                       |
|-----------------|------------|-------------|---|-----------------------|
| Cecomaf (CE)    | 04°24'39'' | 015°20'21'' | CE <sub>ea</sub> , CE <sub>so</sub> , CE <sub>pl</sub> ,<br>CE <sub>sed</sub> | Maraîchage et élevage |
| Rifflaert (RI)  | 04°25'16'' | 015°21'37'' | RI <sub>ea</sub> , RI <sub>so</sub> , RI <sub>pl</sub> ,<br>RI <sub>sed</sub> | Maraîchage et élevage |
| Lemba-Imbu (LI) | 04°26'17'' | 015°21'45'' | LI <sub>ea</sub> , LI <sub>so</sub> , LI <sub>pl</sub> , LI <sub>sed</sub>    | Maraîchage et élevage |
| Saïo (SA)       | 04°20'54'' | 015°17'47'' | SA <sub>ea</sub> , SA <sub>so</sub> , SA <sub>pl</sub> ,<br>SA <sub>sed</sub> | Maraîchage            |

*ea : eau, so: sol, pl: plante, sed : sédiment*

## 2.2. Méthodes

Des prélèvements des sédiments (en amont, au milieu et en aval) dans les rivières, les étangs et les marécages ont été réalisés pendant la saison sèche dans les sites enquêtés pour être dosés en métaux toxiques (cadmium, plomb, arsenic, nickel, zinc et mercure).

### 2.2.1. Echantillonnage de sites de maraîchage visités des sédiments

Pour les sites Cecomaf, Rifflaert et Lemba-Imbu, 3 échantillons de 150 – 300 gr ont été prélevés en amont, au milieu et en aval dans la rivière N'djili parce que tous les 3 sites se trouvent le long de la rivière N'djili. Quant aux autres sites, chacun avait 3 échantillons de 150 – 300 gr prélevés en amont, au milieu et en aval dans la rivière Funa pour le site Monastère, rivière Tshuenge pour le site Tshuenge, rivière Kimpoko pour le site Kimpoko et enfin rivière Limete pour le site Mombele.

### 2.2.2. Technique de prélèvement des sédiments

Les prélèvements des sédiments, nous avons utilisé un tuyau PVC. Tous les échantillons prélevés étaient gardés dans une glacière contenant de la glace. Pour la pesée du sol et des sédiments, nous avons utilisé la balance à précision.

Pour les sites Cecomaf, Rifflaert et Lemba-Imbu, 3 échantillons de 150 – 300 gr ont été prélevés en amont, au milieu et en aval dans la rivière N'djili parce que tous les 3 sites sont le long de la rivière N'djili. Quant aux autres sites, chacun avait 3 échantillons de 150 – 300 gr prélevés en amont, au milieu et en aval dans la rivière Funa pour le site Monastère, rivière Tshuenge pour le site Tshuenge, rivière Kimpoko pour le site Kimpoko et enfin rivière Limete pour le site Mombele. Tous les échantillons ont été successivement conservés dans une glacière à 4°C pour être transportés au laboratoire de l'Institut Forel de l'université de Genève en suisse pour des analyses variées.

### 2.2.3. Analyse granulométrique et matière organique, carbone organique total, azote total et phosphore

Les caractéristiques physico-chimiques des sédiments ont été déterminées par l'analyse de l'humidité ou de la teneur en eau, de la granulométrie, de la matière organique totale, du carbone organique total, des carbonates, de l'azote total et de l'analyse du phosphore total [12-13].

Pour la granulométrie, la taille des particules a été mesurée à l'aide d'un diffractomètre à laser Coulter® LS 100 (Beckman Coulter, Fullerton, USA). Les échantillons de sédiment humide ont été homogénéisés dans de l'eau déminéralisée et ont été insérés dans la machine à travers un tamis de 1 mm. L'eau utilisée pour les mesures a été dégazée afin d'améliorer la mesure, les bulles d'air pouvant être confondues avec des particules. Cependant, pour les sédiments qui

#### **2.2.4. Analyse des métaux dans des échantillons de sédiments**

Avant l'analyse, les échantillons de sédiments ont été lyophilisés, broyés en une fine homogénéisation et tamisés à travers un tamis de 63 µm de maille et digérés selon la méthode précédente telle que décrite par Pote et al. (2008). Les échantillons digérés ont été soumis à une analyse par spectroscopie de masse couplée plasma inductive (ICP-MS Agilent série 7700 développé pour l'analyse matricielle complexe, Santa Clara, CA, USA). Une cellule de collision/réaction (mode Hélium) et des équations d'interférence ont été utilisées pour éliminer les interférences spectrales qui pourraient autrement fausser les résultats. Ceci est suffisant pour de nombreuses applications de routine. Des solutions étalons multi-éléments à différentes concentrations (0, 0,02, 1, 5, 20, 100 et 200 mg L<sup>-1</sup>) ont été utilisées pour l'étalonnage. Les matériaux de référence certifiés pour les sédiments LKSD-2 et LKSD4 ont été utilisés pour l'analyse des sédiments des lacs et des rivières afin de vérifier respectivement la sensibilité de l'instrument et la fiabilité des résultats. Les concentrations sont en mg kg<sup>-1</sup> (ppm) de poids sec. Les écarts types de 3 mesures répétées étaient inférieurs à 5 % et les blancs chimiques pour la procédure étaient inférieurs à 1 % du signal de l'échantillon.

L'analyse de Hg dans des échantillons de sédiments a été réalisée en utilisant la spectrophotométrie d'absorption atomique pour la détermination de mercure (Advanced analyseur de mercure; AMA 254, srl Altec, République Tchèque) suivant le mode opératoire décrit par Garcia Bravo et al. [14]. Cette méthode est basée sur la combustion échantillon, la fusion de l'or et la spectrométrie d'absorption atomique.

#### **2.2.5. Indice de géoaccumulation et facteur d'enrichissement**

Le facteur d'enrichissement (FE) et l'indice de géoaccumulation ( $I_{geo}$ ) dans les échantillons de sédiments ont été calculés comme décrit par Maanan et al. (2004), Varol (2011) et Thevenon et al. (2012, 2013). L'indice d'accumulation  $I_{geo}$  est défini par l'équation suivante :

$$I_{geo} = \log_2 (C_n) / 1.5 (B_n)$$

$C_n$  = concentration du métal (n) à examiner dans les échantillons de sédiments

$B_n$  = concentration du métal (n) fond géochimique

1.5 = facteur lithosphérique, effet fond de la matrice de corrélation Le facteur d'enrichissement est un outil utile pour déterminer le degré de pollution aux métaux lourds d'origine anthropique. Le FE est calculé en utilisant l'équation suivante, et le scandium (Sc) a été utilisé pour la normalisation géochimique [15].

$$FE = [(Métal / Sc)]_{Echantillon} / [(Métal / Sc)]_{Contexte}$$

### 2.2.6. Analyse des données

Pour toutes les analyses, les mesures en triple ont été effectuées sur des échantillons des sédiments sélectionnés. Les traitements statistiques des données (Ordre de corrélation de Spearman) ont été réalisés en utilisant SigmaStat 12.5 (Systat Software, Inc., États-Unis).

## 3. Résultats et Discussions

### 3.1. Caractéristiques physico-chimiques des sédiments

Les caractéristiques des sédiments, y compris la taille des grains de particules, la MO sont présentées dans le tableau 1. La MO totale dans les sédiments variait de 1,87 à 17,56 allant de site de Monastère (en amont) à celui de Tshuenge (en aval). Selon les résultats des études réalisées par Pote et al. [16] et Mubedi et al. [17], la matière organique dans les sédiments d'eau douce non contaminés variait de 0,1 à 6,0 %. Les résultats de cette étude ont indiqué que les sédiments des sites étudiés peuvent être considérés comme pollués/modérément pollués par la matière organique.

Tableau 2 : Texture des sites étudiés dans les échantillons des sédiments

| Nom des sites   | Type     | Paramètres physico-chimiques |       |       |                                |        |           |
|-----------------|----------|------------------------------|-------|-------|--------------------------------|--------|-----------|
|                 |          | Argile                       | Limon | Sable | Taille médiane des grains (µm) | MO (%) | CaCO3 (%) |
| S123SAM         | sédiment | 8,89                         | 43,04 | 48,07 | 59,16                          | 5,64   | 0,84      |
| S123SAV         | sédiment | 9,54                         | 57,37 | 33,09 | 27,83                          | 8,76   | 0,61      |
| S123SEV         | sédiment | 11,79                        | 49,35 | 38,86 | 36,63                          | 4,21   | 0,81      |
| Cecomaf (site)  | sédiment | 16,68                        | 67,18 | 16,14 | 12,45                          | 8,53   | 1,67      |
| Rifflaert       | sédiment | 19,9                         | 55,77 | 24,33 | 14,48                          | 5,36   | 0,51      |
| Lemba Imbu      | sédiment | 35,2                         | 63,75 | 1,05  | 5,884                          | 8,2    | 1,45      |
| Tshuenge (AM)   | sédiment | 5,65                         | 42,22 | 52,13 | 69,55                          | 12,41  | 0,76      |
| Tshuenge (AV)   | sédiment | 10,41                        | 66,19 | 23,4  | 7,77                           | 17,56  | 1,13      |
| Tshuenge (MI)   | sédiment | 7,73                         | 52,14 | 40,13 | 36,93                          | 17,4   | 0,98      |
| Kimpoko (AM)    | sédiment | 5,04                         | 20,21 | 74,75 | 112                            | 7,21   | 0,35      |
| Kimpoko (AV)    | sédiment | 13,21                        | 32,37 | 74,75 | 84,36                          | 7,42   | 0,42      |
| Lemba-Imbu (MI) | sédiment | 4,01                         | 18,28 | 77,71 | 153,8                          | 12,41  | 0,76      |
| Monastère (AM)  | sédiment | 0                            | 0     | 100   | 242,7                          | 1,87   | 0,08      |
| Monastère (AV)  | sédiment | 9,06                         | 51,4  | 39,54 | 39,01                          | 6,8    | 0,47      |
| Monastère (MI)  | sédiment | 5,01                         | 19,92 | 75,07 | 97,81                          | 5,2    | 0,52      |

|                  |          |       |       |       |       |       |      |
|------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Monastère (Site) | sédiment | 6,25  | 21,06 | 72,69 | 146,1 | 4,82  | 0,4  |
| Mombele (AM)     | sédiment | 1,77  | 16,52 | 81,71 | 161,4 | 12,43 | 0,74 |
| Mombele (AV)     | sédiment | 6     | 38,29 | 55,71 | 83,05 | 9,95  | 0,67 |
| Mombele (MI)     | sédiment | 13,95 | 66,1  | 19,95 | 17,62 | 8,5   | 0,74 |
| Saïo (site)      | sédiment | 1,59  | 15,49 | 82,92 | 213,7 | 3,32  | 0,24 |

### 3.2. Les concentrations de métaux dans les sédiments

Les résultats de la concentration de métaux lourds (Cr, Co, Cu, Zn, As, Cd, Pb et Hg) dans des échantillons de sédiments des sites maraîchers enquêtés de la ville de Kinshasa sont présentés dans le tableau 3 et sont exprimés en mg kg<sup>-1</sup> de poids sec.

Les concentrations de quatre métaux lourds, dont Zn, Pb, Cr et Hg ont été trouvées considérablement plus élevées dans la plupart des échantillons de sédiments des sites exploités.

La concentration de Zn s'est avérée être supérieure au niveau seuil dans certains échantillons de sédiments et la valeur variait de 0,01 à 370,82 mg kg<sup>-1</sup>. La concentration de Zn s'est avérée être de l'ordre de 0,97 à 370,82 mg kg<sup>-1</sup>. Il a été observé que la concentration de Pb est généralement élevée dans les sédiments des sites de Saïo et Tshuenge respectivement de 130,17 mg kg<sup>-1</sup> et de 126,61 mg kg<sup>-1</sup>. Les résultats de notre étude sont plus supérieurs à ceux trouvés dans les études de Mwanamoki et al., [12, 15] sur les concentrations de Zn, Pb et Cd et montrent que les concentrations plus élevées de Zn, Pb, Cr et Hg sont susceptibles d'avoir un effet nocif sur les organismes aquatiques et la personne humaine.

Tableau 3 : Teneur en métal (mg.kg-1 de poids sec) d'échantillons de sédiments des sites maraîchers Cecomaf, Rifflaert, Lemba-Imbu, Tshuenge, Kimpoko, Monastère, Mombele, et Saïo analysés par ICP-MS

| Sites d'échantillonnage | Commune  | Cr    | Co   | Cu    | Zn     | As   | Cd   | Pb     | Hg   |
|-------------------------|----------|-------|------|-------|--------|------|------|--------|------|
| S123SAM                 | sédiment | 7,46  | 1,04 | 1,61  | 11,90  | 0,54 | 0,01 | 0,11   | 0,13 |
| S123SAV                 | sédiment | 47,40 | 1,02 | 52,64 | 303,46 | 0,95 | 0,43 | 130,17 | 2,24 |
| S123SEV                 | sédiment | 3,56  | 0,45 | 1,10  | 9,20   | 0,24 | 0,18 | 12,20  | 0,10 |
| CF1SEET                 | sédiment | 9,32  | 1,30 | 36,88 | 127,25 | 0,69 | 0,01 | 0,41   | 0,56 |
| RF2SEET                 | sédiment | 5,54  | 0,51 | 4,37  | 19,14  | 0,42 | 0,08 | 7,84   | 0,09 |
| LI3SEET                 | sédiment | 12,30 | 1,23 | 2,35  | 12,11  | 0,60 | 0,01 | 0,09   | 0,15 |
| TS4SERAM                | sédiment | 54,48 | 0,33 | 48,11 | 354,27 | 0,56 | 0,37 | 126,61 | 0,41 |
| TS4SERAV                | sédiment | 5,28  | 0,33 | 7,70  | 44,74  | 0,57 | 0,20 | 0,19   | 0,45 |
| TS4SERMI                | sédiment | 6,48  | 0,44 | 11,11 | 56,13  | 0,58 | 0,57 | 4,41   | 0,65 |
| KI5SERAM                | sédiment | 2,81  | 0,21 | 1,65  | 14,21  | 0,18 | 0,09 | 1,60   | 0,10 |
| KI5SERAV                | sédiment | 4,90  | 0,38 | 3,63  | 15,19  | 0,62 | 0,48 | 33,26  | 0,07 |
| LI5SERMI                | sédiment | 4,25  | 0,34 | 3,16  | 12,43  | 0,27 | 0,02 | 0,35   | nd   |
| MO6SERAM                | sédiment | 0,78  | 0,03 | 0,23  | 0,97   | 0,08 | 0,16 | 3,78   | 0,03 |
| MO6SERAV                | sédiment | 6,07  | 0,50 | 6,68  | 74,76  | 0,55 | 0,05 | 2,34   | 0,33 |

|           |          |       |      |       |        |      |      |       |      |
|-----------|----------|-------|------|-------|--------|------|------|-------|------|
| MO6SERMI  | sédiment | 6,28  | 0,42 | 4,04  | 33,25  | 0,55 | 0,01 | 0,05  | 0,40 |
| MO6SEET   | sédiment | 5,05  | 0,18 | 1,86  | 11,14  | 0,24 | 0,50 | 2,98  | 0,26 |
| ML7SERAM  | sédiment | 6,58  | 0,89 | 20,81 | 228,57 | 0,36 | 0,43 | 0,76  | 0,52 |
| ML7SERAV  | sédiment | 19,13 | 1,49 | 48,42 | 370,82 | 0,72 | 1,58 | 4,35  | 0,41 |
| ML7SERMI  | sédiment | 6,56  | 0,56 | 14,27 | 84,44  | 0,36 | 0,01 | 0,03  | 0,24 |
| SA8SEMA   | sédiment | 1,18  | 0,15 | 4,50  | 29,98  | 0,19 | 0,01 | 0,08  | 0,03 |
| Rech. Max |          | 37.30 |      | 35.70 |        | 5.90 | 0.60 | 35.00 |      |
| LKSD 4    |          | 21    | 11   | 30    | 189    |      | 1.9  | 93    | 0,06 |

### 3.3. Indice de Geoaccumulation (IGéo) et le Facteur d'Enrichissement (FE)

Les valeurs Igéo et FE pour les métaux sélectionnés dans les échantillons de sédiments des rivières et étangs sont présentées dans le tableau 4.

Les indices Igéo et FE sont importants pour discriminer les métaux anthropiques et ceux d'origine naturelle et fournissent un critère quantitatif pour caractériser les sédiments selon le degré de pollution métallique [18]. Selon les valeurs Igéo, la pollution par les métaux toxiques dans les sites étudiés a été classée dans l'ordre de Hg > Pb > Zn.

La classification Igeo de «fortement à très pollué» a été observée pour le Hg dans les échantillons du site Saïo en aval et «moyennement à fortement pollué » a été observée dans les échantillons des sites Cecomaf (en étang), Tshuenge (en amont et en aval), Monastère (en milieu) et Mombele (en amont et en aval). Les valeurs de classification de Igéo «moyennement à fortement polluées) dans Pb et Zn ont été observées dans les sites de Saïo en aval) et Tshuenge (Amont) pour le Zn et dans les sites Tshuenge (Amont) et Mombele (Aval) dans le Zn.

Les résultats d'enrichissement sont interprétés selon les études antérieures telles que celles de Sakan et al. en 2009 [19] et Mavakala et al. en 2016 [20]. Ces valeurs de FE pour le Zn sont comprises entre 0,89 et 132,55, indiquant un «Absence d'enrichissement » à un «Enrichissement extrêmement sévère». Pour le Pb, les FE les plus élevés ont été trouvés aux sites de Tshuenge (en amont) et Saïo (en aval), indiquant un «enrichissement extrêmement sévère» tandis que quatre sites de maraîchage à savoir Cecomaf (étang), Lemba-Imbu (étang), Tshuenge (en aval) et Monastère (milieu) ont montré des valeurs très faibles de FE (0,02 à 0,36) montrant implicitement qu'il y a absence d'enrichissement en Pb. Les valeurs du FE pour le Hg sont comprises entre 9,65 et 363,22 montrant un Enrichissement modérément sévère à extrêmement sévère. Cependant, le Hg a montré les valeurs de FE les plus élevées de tous les métaux toxiques recherchés dans cette étude. Ces résultats suggèrent que le Pb et le Hg peuvent provenir des sources anthropiques tandis que le Zn pourrait avoir deux origines : anthropique et naturelle [15, 20].

Le tableau 4 montre la variation de l'indice de géoaccumulation en fonction des prélèvements des sédiments dans les sites de maraîchage visités.

Tableau 4: Igéo et FE de Zn, Pb et Hg dans les sédiments prélevés dans les différents sites de maraichage enquêtés

| Sites              | Echantillons | IGEO  |       |       | FE     |        |        |
|--------------------|--------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|                    |              | Zn    | Pb    | Hg    | Zn     | Pb     | Hg     |
| Saïo (Amont)       | sédiment     | -2,71 | -7,85 | 0,5   | 1,55   | 0,04   | 14,37  |
| Saïo (Aval)        | sédiment     | 1,96  | 2,35  | 4,64  | 56,69  | 74,39  | 363,22 |
| Saïo (puits)       | sédiment     | -3,08 | -1,06 | 0,2   | 2,3    | 9,34   | 22,4   |
| Saïo (Milieu))     | sédiment     | -1,38 | -8,24 | -1,52 | 92,77  | 0,8    | 84,08  |
| Cecomaf (Etang)    | sédiment     | 0,71  | -5,96 | 2,63  | 28,95  | 0,28   | 109,56 |
| Rifflaert (Etang)  | sédiment     | -2,03 | -1,7  | 0,01  | 3,91   | 4,89   | 16,04  |
| Lemba-Imbu (Etang) | sédiment     | -2,69 | -8,1  | 0,75  | 1,05   | 0,02   | 11,39  |
| Tshuenge (Amont)   | sédiment     | 2,18  | 2,31  | 2,2   | 132,55 | 144,89 | 133,92 |
| Tshuenge (Aval)    | sédiment     | -0,8  | -7,05 | 2,31  | 27,44  | 0,36   | 237,85 |
| Kimpoko (Amont)    | sédiment     | -2,46 | -3,99 | 0,15  | 4,32   | 1,49   | 26,23  |
| Kimpoko (Aval)     | sédiment     | -2,36 | 0,38  | -0,36 | 2,41   | 16,17  | 9,65   |
| Monastère (Amont)  | sédiment     | -6,33 | -2,75 | -1,58 | 0,89   | 10,69  | 24,03  |
| Monastère (Aval)   | sédiment     | -0,06 | -3,45 | 1,87  | 12,28  | 1,18   | 46,89  |
| Monastère (Milieu) | sédiment     | -1,23 | -9,05 | 2,15  | 4,09   | 0,02   | 42,58  |
| Monastère (Etang)  | sédiment     | -2,81 | -3,1  | 1,5   | 1,71   | 1,4    | 33,9   |
| Mombeles (Amont)   | sédiment     | 1,55  | -5,07 | 2,52  | 122,06 | 1,24   | 238,59 |
| Mombeles (Aval)    | sédiment     | 2,25  | -2,55 | 2,18  | 43,58  | 1,56   | 41,63  |
| Mombeles (Milieu)  | sédiment     | 0,11  | -9,8  | 1,42  | 29,53  | 0,03   | 73,23  |

|                           |   |                   |                                   |
|---------------------------|---|-------------------|-----------------------------------|
| <b>IGEO ≤ 0</b>           | <b>Classe 0 - pratiquement non pollué</b>   | <b>FE &lt; 1</b>  | <b>Absence d'enrichissement</b>   |
| <b>0 &lt; IGEO &lt; 1</b> | Classe 1 - à modérément polluée non polluée | <b>FE &lt; 3</b>  | Enrichissement mineur             |
| <b>1 &lt; IGEO &lt; 2</b> | Classe 2 - moyennement polluée              | <b>FE 3 - 5</b>   | Enrichissement modéré             |
| <b>2 &lt; IGEO &lt; 3</b> | Classe 3 - moyennement à fortement polluée  | <b>FE 5 - 10</b>  | Enrichissement modérément sévère  |
| <b>3 &lt; IGEO &lt; 4</b> | Classe 4 - fortement polluée                | <b>FE 10-25</b>   | Enrichissement sévère             |
| <b>4 &lt; IGEO &lt; 5</b> | Classe 5 - fortement à très polluée         | <b>FE 25 - 50</b> | Enrichissement très sévère        |
| <b>5 &gt; IGEO</b>        | Classe 6 - extrêmement polluée              | <b>FE &gt; 50</b> | Enrichissement extrêmement sévère |

## 7. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les teneurs du Zn, Pb, Cr et Hg révèlent un enrichissement métallique des sédiments dans les sites de maraichage de Cecomaf, Rifflaert, Lemba-Imbu, Tshuenge, Kimpoko, Monastère, Mombele et Saïo particulièrement par le zinc qui présente ainsi des concentrations relativement élevées dans les sédiments par rapport aux autres éléments, Pb, Cr et Hg qui révèlent néanmoins une contamination de ce compartiment. Ces teneurs peuvent être attribuées à un apport anthropique naturel et urbain auquel s'ajoutent les intrants chimiques.

Les résultats de Igéo et FE obtenus pour les Zn, Pb et Hg ont montré à suffisance les différents niveaux de contamination des sédiments dans les différents sites de maraîchage par ces métaux ainsi qu'une source anthropique prédominante.

### Références bibliographiques

1. CALVET R, BARRIUSO E, BEDOS C, BENOIT P, CHARNAY M.P, COQUET Y, 2005. Les pesticides dans le sol : Conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricole, 637 p.
2. OLIVIER ATTEIA, Chimie et pollutions des eaux souterraines, Institut EGID, Edition Tec & Doc, 2005
3. IOANNIS K. K, DIMITRA G. H, TRIANTAFYLLOS A. A, 2006. The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. Environ. Pollu. 141: 555-570.
4. Assogba B. 2008. Typologie des exploitations maraîchères au Sud-Benin. Mémoire D.I.T, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 102 p.
5. OLIVIER ATTEIA, Chimie et pollutions des eaux souterraines, Institut EGID, Edition Tec & Doc, 2005
6. BLIEFERT C., PERRAUD R., 2001, Chimie de l'environnement (eau, air, sols, déchets), première édition, De Boeck, Paris, pp 290-291.
7. FERRY B., 1992, Part des transformations naturelles et provoquées dans la nappe de la craie du nord de la France, DEA de génie civil. <USTL, Sept 1992, 11 pages
8. Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2000). Report on the 32nd session of the Codex Committee on food additives and contaminants. 20-24 mars 2000, Beijing, Chine, FAO et OMS, 72 p.
9. WANG J. et C. CHEN (2006). Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review. *Biotechnol. Adv.*, 24, 427-451.
10. EGGLETON J. et K.V. THOMAS (2004). A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environ. Int.*, 30, 973-980.
11. Georgette N. Ngweme, Emmanuel K. Atibu, Dhafer Mohammed M. Al Salah, Paola M. Muanamoki, Guillaume M. Kiyombo, Crispin K. Mulaji, Jean-Paul Otamonga, John W. Poté, Heavy metal concentration in irrigation water, soil and dietary risk assessment of *Amaranthus viridis* grown in peri-urban areas in Kinshasa, Democratic Republic of the Congo, *Watershed Ecology and the Environment*, Elsevier, August, 2020.
12. Paola M. Mwanamoki a, Naresh Devarajan b,c, Florian Thevenon b,1, Niane Birane b, Luiz Felipe de Alencastro d, Dominique Grandjean d, Pius T. Mpiana e, Kandasamy Prabakar c, Josué I. Mubedi f, Christophe G. Kabele e, Walter Wildi b, John Poté, Trace metals and persistent organic pollutants in sediments from river-reservoir systems in Democratic Republic of Congo (DRC) : Spatial distribution and potential ecotoxicological effects; 2014

13. Pote, J., 2014a. Assessment of pathogenic bacteria in water and sediment from a water reservoir under tropical conditions (Lake Ma Vallee), Kinshasa
14. Garcia Bravo, A., Bouchet, S., Amouroux, D., Poté, J., Dominik, J., 2011. Distribution of mercury and organic matter in particle size classes in sediments contaminated by a waste water treatment plant: Vidy Bay, Lake Geneva, Switzerland. *J. Environ. Monit.* 13, 974-982.
15. Mwanamoki, P.M., Devarajan, N., Thevenon, F., Atibu, E.K., Tshibanda, J.B., Ngelinkoto, P., Mpiana, P.T., Prabakar, K., Mubedi, J.I., Kabele, C.G., Wildi, W., Mwanamoki, P.M., Devarajan, N., Niane, B., Ngelinkoto, P., Thevenon, F., Nlandu, J.W., Mpiana, P.T., Prabakar, K., Mubedi, J.I., Kabele, C.G., Wildi, W., Pote, J., 2015. Trace metal distributions in the sediments from River-reservoir systems: case of the Congo River and lake ma vallee, Kinshasa
16. Poté, J., Haller, L., Loizeau, J.L., et al., 2008. Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bio/Technology* 99, 7122–7131.
17. Mubedi, Josué Ilunga, Devarajan, Naresh, Faucheur, Séverine Le, Mputu, John Kayembe, Atibu, Emmanuel K., Sivalingam, Periyasamy, Prabakar, Kandasamy, Mpiana, Pius T., Wildi, Walter, Poté, John, 2013. Effects of untreated hospital effluents on the accumulation of toxic metals in sediments of receiving system under tropical conditions: case of South India and Democratic Republic of Congo. *Chemosphere* 93 (2013), 1070–1076
18. Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., 2005., Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. *Chemosphere* 61, 800–809.
19. Sakan, S.M., Đorđević, D.S., Manojlović, D.D., Predrag, P.S., 2009. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *J. Environ. Manag.* 90, 3382-3390.
20. Mavakala , Le Faucheur, Mulaji, Laffite, Devarajan, Biey, Guiliani, Otamonga, Kabatusuila, Mpiana, Poté, 2016: Leachates draining from controlled municipal solid waste landfill : detailed geochemical characterization and toxicity tests. *Waste Manag.* 55, 238-248.