



Diagnostic des sources de contamination des cultures maraichères par des éléments traces métalliques (ETM) à Kinshasa/RD Congo (Cas des sites de CECOMAF et Tshuenge).

KAMANDA Vincent de Paul^{1,2}, NSIMBA NSIKU David^{1,3}, ECA IDRISSE Idi⁴, MUMBA DJAMBA Antoine^{1,5}

¹Faculté des Sciences Agronomiques et environnement/Université Pédagogique Nationale, B.P. 8815 Kinshasa Ngaliema, République Démocratique du Congo

²Clinique des Plantes de Kinshasa, 8842, Wangata, Kinshasa/Gombe, République Démocratique du Congo.

³Research & Development Department, Centre de Recherche en Agrumiculture (CERAGRU), Democratic Republic of Congo. E-mail : davidnsiku@gmail.com, ORCID : 0009-0004-1111-174X

⁴Institut Supérieur du Développement Rural (ISDR), FIZI/RD Congo

⁵Institut National d'Etudes et de Recherche Agronomique de la RDC (INERA/RDC), B.P. 2037, Kinshasa I, RD Congo.

Auteur correspondant : depaulkamanda@gmail.com, ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5996-5358>, +243813895293

Submitted 30/06/2026, Published online on 31/08/2026 in the <https://www.m.elewa.org/journals/journal-of-applied-biosciences-about-jab/> <https://doi.org/10.35759/JABs.223.11>

RÉSUMÉ

Objectif : Cette étude a analysé le milieu biophysique du maraîchage ainsi que les pratiques agricoles afin d'identifier les principales sources de contamination de légumes par des éléments traces métalliques (ETM).

Méthode et Résultats : Des enquêtes ont été menées auprès de 150 maraîchers sélectionnés par échantillonnage aléatoire simple, dont 75 sur le site CECOMAF et 75 à Tshuenge. Les entretiens individuels directs avec les maraîchers ont été organisés pour la collecte des données qui ont servi aux analyses statistiques sous R4.3.3. Les résultats obtenus ont montré une forte exposition de ces deux sites à la contamination. La présence de décharges a été observée chez 100 % des producteurs à CECOMAF et 81,82 % à Tshuenge. Les parcelles étaient principalement localisées au bord des routes à CECOMAF (86,67 %) et près ou en aval des décharges à Tshuenge (93,94 %). L'utilisation des engrais minéraux demeure élevée, avec 100 % d'utilisation du NPK et de l'urée à CECOMAF contre respectivement 90,91 % et 84,85 % à Tshuenge. Les pesticides Pacha (57,58 %), Manèbe (39,39 %) et Thiodan (27,27 %) étaient davantage utilisés à Tshuenge.

Conclusion et application pratique : Ces résultats indiquent que les décharges, la position des sites, les pratiques de fertilisation et certains pesticides constituent les voies d'introduction des ETM dans les systèmes maraîchers étudiés. Les informations fournies dans cette étude peuvent servir à l'élaboration à l'aménagement des sites de production et à la mise en œuvre de programmes de suivi de la qualité environnementale et sanitaire des produits maraîchers.

Mots-clés : métaux lourds, maraîchage urbain, contamination des légumes, décharges, fertilisants organiques, pesticides, Kinshasa.

Diagnosis of Potential Sources of Trace Metal Contamination in Market Gardening Systems in Kinshasa, Democratic Republic of the Congo: The Case of the CECOMAF and Tshuenge Sites.

ABSTRACT

Objective: This study analysed the biophysical environment of market gardening systems and agricultural practices in order to identify the main sources of vegetable contamination by trace metals (TMS).

Methods and Results: Surveys were conducted among 150 market gardeners selected through simple random sampling, including 75 farmers from the CECOMAF site and 75 from Tshuenge. Information was gathered using semi-structured interviews, while statistical analyses were performed in R (version 4.3.3). The results showed that contamination risks were substantial across both study sites. The presence of waste dumps was reported by 100% of producers at CECOMAF and 81.82% at Tshuenge. Plots were mainly located along roadsides at CECOMAF (86.67%) and near or downstream of waste dumps at Tshuenge (93.94%). The use of mineral fertilizers remained high, with 100% of farmers applying NPK and urea at CECOMAF compared with 90.91% and 84.85%, respectively, at Tshuenge. The pesticides Pacha (57.58%), Maneb (39.39%), and Thiodan (27.27%) were more frequently used at Tshuenge.

Conclusion and Practical Application: These findings indicate that waste dumps, site location, fertilization practices, and certain pesticides constitute major pathways for the introduction of trace metals into the market gardening systems studied. This study provides useful information for managing the risk of trace metal contamination in vegetable production systems. The findings of this study provide a scientific basis for planning market gardening production sites and implementing environmental and food safety monitoring programs for vegetable production.

Keywords: Heavy metals; urban vegetable farming; vegetable contamination; dumpsites; organic fertilizers; pesticides; Kinshasa.

INTRODUCTION

Les produits maraichers contribuent à la sécurité alimentaire des populations urbaines par leurs apports en nutriments (Dan-Badjo *et al.*, 2013 ; Nsandji *et al.*, 2023). La consommation des légumes dans la ville de Kinshasa est d'environ 155.500 tonnes par an, et la demande augmente au minimum de 3-5% par an, ce qui constitue une demande intéressante pour les maraîchers (Muliele *et al.*, 2017). En effet, l'explosion démographique et l'urbanisation rapide de cette mégapole engendrent des risques environnementaux importants notamment la contamination des légumes en éléments traces métalliques (ETM) qui peuvent provenir de différentes sources, telles que les émissions industrielles, les dépôts atmosphériques, les eaux et les sols pollués ou ayant intercepté des particules atmosphériques enrichies en éléments traces métalliques (Bakhoun *et al.*, 2025 ;

Nsandji *et al.*, 2023). En outre, l'emploi permanent d'engrais, de pesticides et l'usage des eaux usées, sont des pratiques largement répandues dans le maraîchage urbain et périurbain peuvent constituer une source de pollution métallique (ETM) avec des risques pour la santé des consommateurs des produits récoltés (Amoah *et al.*, 2006 ; Mukeba *et al.*, 2023 ; Tano *et al.*, 2012). Malgré plusieurs études ayant quantifié les concentrations en ETM dans les légumes produits à Kinshasa, très peu de travaux ont analysé de manière intégrée les pratiques agricoles et les facteurs environnementaux susceptibles d'être à l'origine de cette contamination. L'objectif de cette étude est de contribuer à la réduction à la source des risques de contamination des légumes en éléments traces métalliques dans une stratégie globale de biosurveillance.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude : L'étude a été menée dans la ville de Kinshasa (4° et 5° de latitude sud, 15° et 16° de longitude est) sur les sites maraîchers de CECOMAF (commune de N'djili) et de Tshuenge (commune de Masina). Le site de Tshuenge est traversé par la rivière Tshuenge, tandis que CECOMAF constitue l'un des

principaux périmètres maraîchers urbains de la ville. Les sols de Kinshasa sont majoritairement de type Arénoferrasol et le climat est tropical humide de type AW4 selon Köppen, avec une température moyenne annuelle de 25 °C et une pluviométrie moyenne de 1400 mm (Shomba *et al.*, 2015 ; Phanzu *et al.*, 2024).

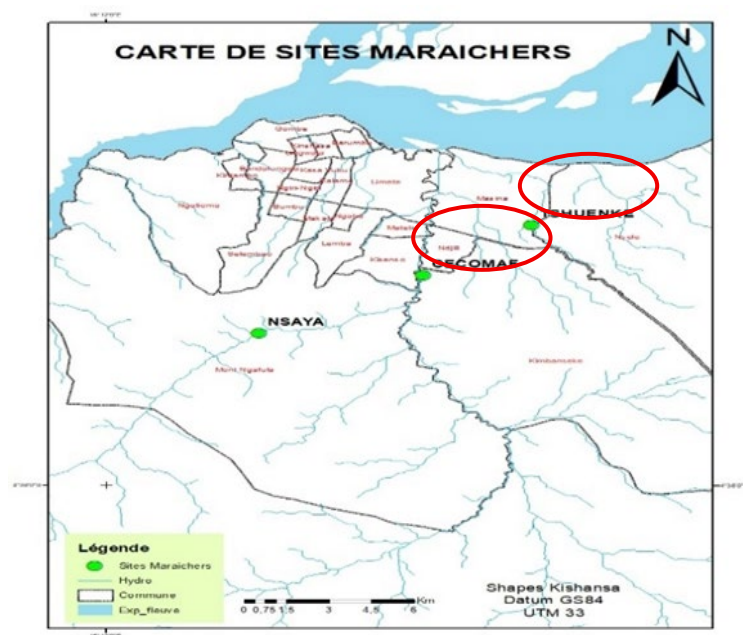


Figure 1 : Carte des sites maraîchers étudiés à Kinshasa (Minengu et Ngweme, 2021)

Matériel : Afin de mener à bien cette étude, divers équipements et outils technologiques ont été mobilisés. Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire électronique administré via Kobo Collect. Les analyses statistiques ont été réalisées sous R version 4.5.3, tandis que le tableur Microsoft Excel a été utilisé pour le traitement et l'organisation des données.

Méthodes

Observations et technique documentaire : Conformément à Dépélteau (2000), des observations directes ont été réalisées sur les sites maraîchers afin d'identifier les principales sources potentielles de contamination par les ETM et de mieux orienter la collecte des données. Une recherche documentaire a également été menée pour rassembler les informations scientifiques relatives aux

différentes voies de contamination des systèmes maraîchers.

Echantillonnage : Dans le cadre de cette étude, l'absence de listes d'enregistrement exhaustives des maraîchers actifs sur les sites étudiés a justifié l'adoption de l'approche probabiliste (Ardilly, 2006). Ainsi, un échantillonnage aléatoire simple a été appliqué, permettant de sélectionner les participants de manière aléatoire sans biais systématique. L'échantillon retenu comprenait 150 maraîchers, répartis équitablement entre les deux sites, soit 75 individus par site.

Collecte des données : Les entretiens individuels directs avec les maraîchers ont été organisés pour la collecte des données. Ces entretiens se sont déroulés de décembre 2024 à janvier 2025. Les informations recueillies

concernaient les caractéristiques socioéconomiques des producteurs ainsi que les principales sources potentielles de contamination par les ETM, notamment les décharges, les sources d'irrigation, la position des sites, les pratiques de fertilisation et l'utilisation des pesticides.

Traitement et analyses des données : Les données ont été préalablement vérifiées afin d'identifier et de corriger les éventuelles erreurs de saisie, incohérences et valeurs manquantes avant les analyses statistiques. Toutes les variables qualitatives ont été converties en facteurs avant traitement statistique. Le logiciel R version 4.5.3 (R Core Team, 2026) a été utilisé pour les différentes analyses statistiques des

données après leur nettoyage.. Une analyse descriptive a été effectuée et les comparaisons entre sites ont été réalisées à l'aide du test exact de Fisher ($p < 0,05$). Les associations entre les différentes variables étudiées ont été examinées au moyen de l'analyse des correspondances multiples (ACM).. Les pourcentages d'inertie ont été interprétés à partir des valeurs propres corrigées selon la méthode de Benzécri. Après l'ACM, les répondants présentant des caractéristiques similaires ont été regroupés à l'aide d'une classification hiérarchique sur composantes principales (HCPC).. Une analyse de réseau basée sur le coefficient V de Cramer a été réalisée afin d'identifier les principales voies potentielles de contamination.

RESULTATS

Caractéristiques du milieu agricole et des pratiques culturelles : Les caractéristiques du milieu agricole et des pratiques culturelles dans les sites d'étude sont présentées dans le tableau 1. Les résultats montrent que les deux sites étudiés présentent des caractéristiques environnementales et des pratiques culturelles distinctes. Le site de CECOMAF se distingue par des décharges d'ordures aux abords des espaces consacrées aux cultures, localisées principalement en amont des jardins (43,33 %) ou très proches des parcelles cultivées (41,67 %). Dans ce site, les espaces consacrés aux cultures sont essentiellement situés au bord des routes (86,67 %). En ce qui concerne les pratiques culturelles dans ce site, les producteurs utilisent essentiellement les engrais verts (51,67 %) et les fientes de poules (31,67 %) comme fertilisants organiques, et les engrais minéraux NPK et Urée (100%). À TSHUENGE, la présence de décharges (81,82 %) est signalée principalement en amont des jardins (78,79 %) contrairement à CECOMAF où les parcelles agricoles se localisent essentiellement à proximité ou en aval des décharges d'ordures

(93,94 %). Les engrais verts constituent le principal fertilisant organique utilisé (57,58 %), suivis des fientes de poules (33,33 %). Les producteurs utilisent aussi les engrais minéraux avec 90,91 % pour le NPK et 84,85 % pour l'urée. L'analyse comparative entre les deux sites révèle des différences significatives concernant la présence des décharges ($p = 0,0015$), leur emplacement par rapport aux jardins ($p = 0,0046$), ainsi que la position des sites agricoles ($p < 0,001$). Des différences significatives apparaissent également dans l'utilisation des engrais NPK ($p = 0,042$) et de l'urée ($p = 0,0046$). En revanche, aucune différence significative n'est observée pour la durée d'existence des décharges ($p = 0,7701$), les sources d'irrigation ($p = 0,1054$) ou les fertilisants organiques utilisés ($p = 0,280$), ce qui indique une relative homogénéité entre les deux sites pour ces paramètres. Les deux sites partagent certaines pratiques agricoles communes, mais diffèrent sensiblement par leurs caractéristiques environnementales et certains modes de gestion des intrants.

Tableau 1 :Caractéristiques du milieu agricole et des pratiques culturelles

Variable	Modalités	Sites		Test	p-value
		CECOMAF	TSHUENGE		
		%	%		
Existence décharges	<i>Non</i>	0	18.18	Fisher	0.0015
	<i>Oui</i>	100	81.82		
Emplacement de décharge	<i>En amont des jardins</i>	43.33	78.79	Fisher	0.0046
	<i>En aval des jardins</i>	15	18.18		
	<i>Tout près des jardins</i>	41.67	3.03		
Durée décharge	<i>1 a 5ans</i>	33.33	36.36	Fisher	0.7701
	<i>6 a 10 ans</i>	48.33	51.52		
	<i>Moins d'un an</i>	18.33	12.12		
Source d'irrigation	<i>Mare</i>	6.67	12.12	Fisher	0.1054
	<i>Puits</i>	50	27.27		
	<i>Rivière</i>	43.33	60.61		
Position du site	<i>Au bord d'une route</i>	86.67	6.06	Fisher	0.0
	<i>Près ou en aval d'une décharge d'ordures</i>	13.33	93.94		
Fertilisants organiques	<i>Compost</i>	5	3.03	Fisher	0.28
	<i>Drêche</i>	10	0		
	<i>Engrais vert</i>	51.67	57.58		
	<i>Fiente de poules</i>	31.67	33.33		
	<i>Lisier de porc</i>	1.67	6.06		
Engrais NPK	<i>Non</i>	0	9.09	Fisher	0.042
	<i>Oui</i>	100	90.91		
Engrais UREE	<i>Non</i>	0	15.15	Fisher	0.0046
	<i>Oui</i>	100	84.85		

Susceptibilité de légumes à la contamination en ETM des fertilisants : Les fertilisants utilisés dans les deux sites présentent des potentiels variables de contribution aux apports d'ETM (Tableau 2). Les engrais minéraux de type NPK ainsi que les fertilisants organiques d'origine animale (fientes de poules et lisier de porc) apparaissent comme les sources

potentielles les plus importantes en raison de leur teneur connue en Cd, Pb, As, Cu ou Zn. À l'inverse, les engrais verts et l'urée présentent un risque direct plus faible. Ces résultats suggèrent que les pratiques de fertilisation observées pourraient contribuer à l'enrichissement progressif des sols en ETM.

Tableau 2. Potentiel théorique des fertilisants utilisés comme sources directes d'ETM.

Fertilisant	Métaux potentiellement intégrés dans la composition	Potentiel comme source directe d'ETM
Compost	Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni (variables selon les déchets utilisés)	Modéré à élevé
Drêche	Fe, Zn, Cu, Mn (dépend de l'origine industrielle/agroalimentaire)	Modéré
Engrais vert	Aucun métal directement intégré	Faible

Fiente de poules	Cu, Zn, As, Cd (variables selon les aliments et additifs utilisés)	Élevé
Lisier de porc	Cu, Zn, Pb, Cd (variables selon l'alimentation animale)	Élevé
NPK	Cd, Pb, As, Cr, Ni (impuretés fréquentes des phosphates)	Élevé
Urée	Généralement aucun métal intégré ; traces possibles d'impuretés	Faible

Utilisation des pesticides associées aux risques de contamination par les ETM : Les pesticides utilisés dans les sites d'étude sont consignés dans le tableau 3. Les résultats montrent que les pratiques phytosanitaires diffèrent entre les deux sites étudiés. À CECOMAF, l'utilisation des pesticides reste faible, avec des proportions très réduites pour DDforce (5 %), Emacot (5 %), Imida (5 %), Ivory 80 (1,67 %) et Thiodan (5 %). En revanche, Pacha (23,33 %) et Manebe (13,33 %) représentent les produits les plus fréquemment utilisés sur ce site. À TSHUENGE, les pesticides Manebe (39,39 %), Pacha (57,58 %) et Thiodan (27,27 %) présentent des fréquences

d'utilisation plus élevées, tandis que DDforce (3,03 %) et Imida (6,06 %) demeurent faiblement utilisés. Aucun producteur n'utilise Emacot ni Ivory 80 dans ce site. L'analyse comparative entre les deux sites révèle des différences significatives pour l'utilisation de Manebe ($p = 0,0083$), de Pacha ($p = 0,0014$) et de Thiodan ($p = 0,0036$). En revanche, aucune différence significative n'est observée pour DDforce ($p = 1$), Emacot ($p = 0,5499$), Imida ($p = 1$) et Ivory 80 ($p = 1$). Les résultats indiquent que TSHUENGE se caractérise par une utilisation plus importante de certains pesticides, notamment Manebe, Pacha et Thiodan.

Tableau 3. : Utilisation des pesticides associés aux risques de contamination par les ETM

Variable	Modalités	Sites		Test	p-value
		CECOMAF	TSHUENGE		
		%	%		
DDforce	Non	95	96.97	Fisher	1
	Oui	5	3.03		
Emacot	Non	95	100	Fisher	0.5499
	Oui	5	0		
Imida	Non	95	93.94	Fisher	1
	Oui	5	6.06		
Ivory 80	Non	98.33	100	Fisher	1
	Oui	1.67	0		
Manebe	Non	86.67	60.61	Fisher	0.0083
	Oui	13.33	39.39		
Pacha 25 EC	Non	76.67	42.42	Fisher	0.0014
	Oui	23.33	57.58		
Thiodan	Non	95	72.73	Fisher	0.0036
	Oui	5	27.27		

Les principes actifs, les familles chimiques, les types de pesticides ainsi que le potentiel des pesticides comme source de contamination en ETM sont présentés dans le tableau 4. Parmi les produits recensés, les fongicides Mancozèbe (Ivory 80) et Manèbe présentent le risque le plus élevé en raison de la présence de métaux intégrés dans leur structure moléculaire. Le Mancozèbe contient à la fois du manganèse (Mn) et du zinc (Zn), tandis que le Manèbe contient principalement du manganèse (Mn) et l'Acétamipride + Lambda-cyhalothrine contient le Nickel (Ni). L'utilisation répétée de ces produits peut favoriser un apport continu de

métaux dans les sols agricoles et constituer une source directe de contamination des agroécosystèmes maraîchers. À l'inverse, les autres pesticides recensés, notamment Dichlorvos (DDVP), Benzoate d'émamectine, Imidaclopride, et Endosulfan, ne contiennent pas de métaux directement intégrés dans leur structure chimique. Leur potentiel comme source directe d'ETM est donc considéré comme faible. Cependant, même en l'absence de métaux constitutifs, des apports indirects liés aux impuretés de fabrication, aux formulations commerciales ou à l'utilisation répétée de ces intrants ne peuvent être totalement exclus.

Tableau 4 : Standardisation des pesticides utilisés dans les sites maraîchers étudiés

Nom utilisé par les producteurs	Nom standardisé (principe actif)	Famille	Métal intégré dans la molécule	Potentiel comme source direct d'ETM
DDForce	Dichlorvos (DDVP)	Organophosphorés	Aucun	Faible
Emacot	Benzoate d'émamectine	Avermectines	Aucun	
Imida	Imidaclopride	Néonicotinoïdes	Aucun	Faible
Ivory 80	Mancozèbe (Mancozeb)	Dithiocarbamates	Mn + Zn	Élevé
Manebe	Manèbe (Maneb)	Dithiocarbamates	Mn	Élevé
Pacha	Acétamipride + Lambda-cyhalothrine	Néonicotinoïdes + Pyréthri-noïdes	Ni	Elevé
Thiodan	Endosulfan	Organochlorés	Aucun	Faible

Associations entre les pratiques agricoles et les variables environnementales : La figure 2 présente le plan factoriel issu de l'ACM illustrant les relations entre les pratiques agricoles et les variables environnementales. Les deux premières dimensions de l'ACM expliquent 24,0 % de l'inertie totale et 81,9 % de l'inertie corrigée selon Benzécri. La première dimension oppose principalement les exploitations caractérisées par l'utilisation du

NPK, de l'urée et la présence de décharges à celles où ces facteurs sont absents. La seconde dimension est davantage structurée par les modalités de fertilisation organique, les sources d'irrigation et l'utilisation de certains pesticides. Cette organisation met en évidence l'existence de profils agricoles distincts associés à différentes voies potentielles d'introduction des ETM.

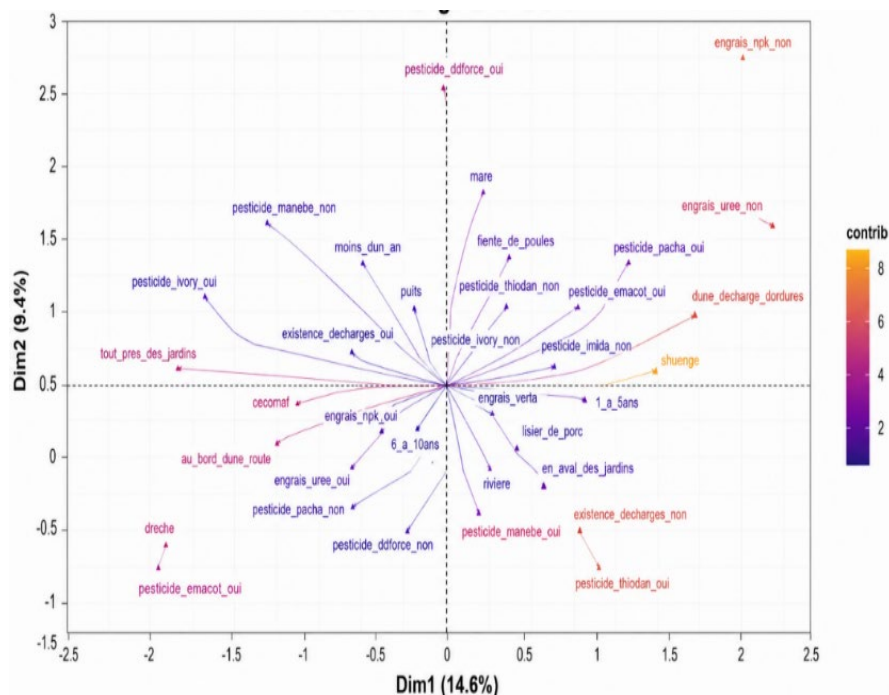


Figure 2 : Projection des modalités des pratiques agricoles et des caractéristiques environnementales de l'analyse des correspondances multiples (ACM).

Identification des profils de risque de contamination des sites maraichers par HCPC : La figure 3 présente les résultats de la Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) réalisée afin d'identifier des groupes homogènes d'unités de production maraichère présentant des caractéristiques biophysiques et des pratiques culturelles similaires susceptibles d'être associées aux sources potentielles de contamination en éléments traces métalliques (ETM). La classification hiérarchique sur composantes principales (HCPC) a permis d'identifier six groupes distincts d'unités de production maraichère présentant des caractéristiques environnementales et des pratiques culturelles

différenciées (Figure 3). La répartition des groupes sur le plan factoriel traduit une forte hétérogénéité des systèmes étudiés et suggère l'existence de plusieurs profils potentiels d'exposition aux éléments traces métalliques. L'analyse des modalités caractéristiques de chaque classe (Tableau 5) montre que les principaux facteurs discriminants sont liés à la proximité des décharges et des routes, aux sources d'irrigation ainsi qu'à l'utilisation des fertilisants et pesticides. Les classes 3, 4, 5 et 6 regroupent particulièrement des exploitations associées à plusieurs facteurs reconnus comme des sources potentielles d'ETM, notamment les décharges, les eaux d'irrigation, les fertilisants minéraux et certains produits phytosanitaires.

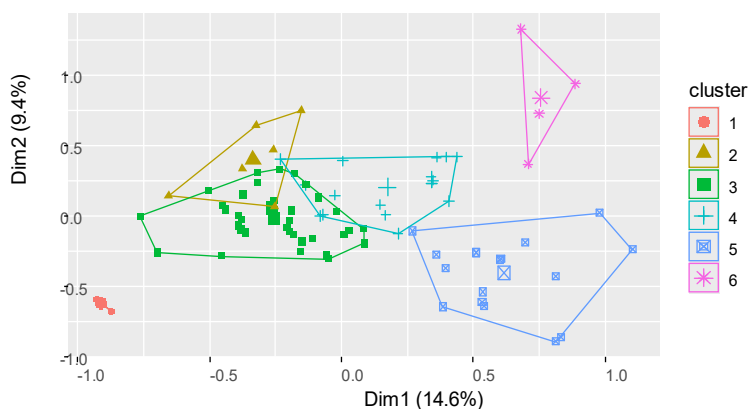


Figure 3. :Répartition des groupes obtenus par HCPC selon les caractéristiques environnementales et les pratiques agricoles susceptibles d'influencer la contamination en éléments traces métalliques.

Tableau 5. Description des classes issues du HCPC

Groupe	Variables/modalités caractéristiques	Sources potentielles d'ETM
Classe 1	Pesticide Emacot = oui ; Pesticide Emacot = non ; Fertilisation organique = drêche ; Décharges = tout près des jardins	Pesticide Emacot, drêche Décharges tout près des jardins
Classe 2	Décharges = tout près des jardins ; DD Force = oui ; DD Force = non ; Engrais vert ; Pacha = oui ; Pacha = non ; Décharges en amont des jardins	DD Force, Pacha = oui, Engrais vert ; Décharges tout près des jardins et en amont des jardins
Classe 3	Position du site = au bord d'une route ; Position = près ou en aval d'une décharge ; Décharges = oui ; Irrigation = puits ; Irrigation = mare ; Urée = oui ; Urée = non ; Manèbe = oui ; Manèbe = non ; Pacha = oui ; Pacha = non ;	Position du site au bord d'une route, jardin près ou en aval d'une décharge, Présence des Décharges ; Irrigation avec eau des puits et des mare, utilisation d'Urée, de Manèbe et de Pacha
Classe 4	Pacha = oui ; Pacha = non ; Irrigation = mare ; Fientes de poules ; Engrais verts ; Position = près ou en aval d'une décharge ; Position = bord de route ; Décharges en aval des jardins ; Durée décharge = 1–5 ans	Pacha, eau de mare, Fientes de poules ; Engrais verts, Position du jardin près ou en aval d'une décharge ; Position du site au bord de route
Classe 5	Manèbe = oui ; Manèbe = non ; Thiordan = oui ; Thiordan = non ; Position = près ou en aval d'une décharge ; Position = bord de route ; Décharges = oui ; Décharges = non ; Irrigation = rivière ; Irrigation = puits ; Engrais verts ; Fientes de poules ; Décharges tout près des jardins	Manèbe ; Thiordan ; Position des jardins près ou en aval d'une décharge, Position du site au bord de route ; Irrigation = rivière et puits ; Engrais verts et Fientes de poules
Classe 6	NPK = non ; NPK = oui ; Urée = non ; Urée = oui ; Position jardin = près ou en aval d'une décharge ; Position du site = bord de route	NPK, Urée, Position du jardin près ou en aval d'une décharge, Position du site au bord de route

Analyse des réseaux des voies potentielles de contamination en ETM : L'analyse du réseau met en évidence une structuration complexe des interactions entre les caractéristiques du milieu biophysique et les pratiques culturales susceptibles de contribuer à l'introduction des ETM dans les systèmes maraîchers (Figure 4). La fertilisation organique présente la centralité la plus élevée, indiquant qu'elle constitue le principal facteur connecté aux autres composantes du système. Les sources d'irrigation, l'emplacement des décharges et la

position des sites occupent une place centrale dans le réseau. Les associations observées entre les pratiques de fertilisation, les sources d'eau, la proximité des décharges et certains pesticides traduisent une forte interconnexion entre facteurs anthropiques et environnementaux susceptibles de favoriser l'introduction ou l'accumulation des ETM. À l'inverse, des variables telles que l'utilisation d'Imida, la durée d'existence des décharges et l'utilisation de Pacha présentent une contribution plus limitée à la structure globale du réseau.

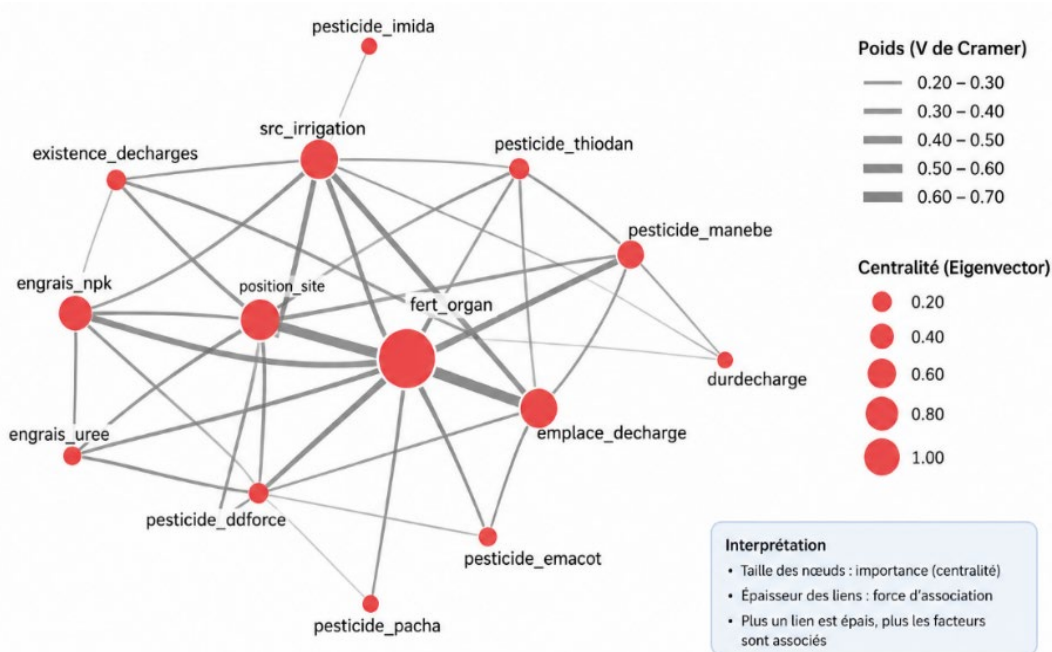


Figure 4 : Analyse des réseaux des voies potentielles de contamination en ETM

DISCUSSION

Les résultats montrent que le risque de contamination des systèmes maraîchers en éléments traces métalliques (ETM) est principalement lié à l'interaction entre les caractéristiques environnementales des parcelles et les pratiques culturales. La présence fréquente de décharges, leur localisation en amont ou à proximité des jardins, ainsi que l'implantation des parcelles près des routes ou des dépôts d'ordures traduisent une forte exposition des sites à des sources anthropiques de contamination. Ces conditions favorisent

l'accumulation des ETM dans les sols agricoles et augmentent leur transfert potentiel vers les cultures maraîchères (Alengebawy *et al.*, 2021 ; Mpundu *et al.*, 2013). Les pratiques phytosanitaires constituent également une voie importante d'introduction des ETM dans les systèmes maraîchers. Certains pesticides peuvent contenir des métaux lourds soit comme principes actifs, soit sous forme d'impuretés. Rashid *et al.* (2023) indiquent que l'acétamipride peut contenir du Ni, tandis que la cyperméthrine peut renfermer des traces de Zn,

Cu, Cr, Co et Pb. Les formulations à base de glyphosate peuvent également contenir As, Cr, Co, Pb et Ni. Selon Masindi et Muedi (2018), certains insecticides contribuent aux apports d'arsenic alors que les émissions routières constituent une source importante de plomb. L'utilisation plus élevée de Manèbe, Pacha et Thiodan à TSHUENGE traduit une intensification des pratiques phytosanitaires. Une attention particulière doit être portée au Manèbe puisque les dithiocarbamates, tels que le manèbe et le mancozèbe, contiennent des métaux intégrés à leur structure chimique, notamment Mn et Mn-Zn. Petitjean *et al.* (2024) ont montré que ces composés perturbent l'homéostasie du Mn et du Zn et induisent un stress oxydatif, renforçant leur potentiel comme source de contamination. Les fertilisants constituent aussi une source majeure de contamination en ETM. L'utilisation généralisée du NPK et de l'urée, associée à l'emploi régulier de fientes de poules, d'engrais verts, de compost, de drêche et de lisier de porc, traduit une forte dépendance aux intrants organiques et minéraux. Les engrais phosphatés sont particulièrement reconnus pour leur teneur en métaux lourds tels que Cd, Pb, Cr, Ni, Zn et Cu (Rashid *et al.*, 2023). Chen *et al.* (2020) montrent que les fertilisants contribuent à l'introduction des métaux lourds dans les sols, tandis qu'Ai *et al.* (2020) et Wang *et al.* (2020) rapportent qu'une utilisation excessive et prolongée favorise leur accumulation progressive, notamment pour Cu, Zn et Cd. Les travaux d'Alloway (2013) montrent également que les engrais et les fumiers présentent des teneurs variables, mais parfois élevées en métaux lourds, confirmant leur rôle dans

l'enrichissement progressif des sols agricoles. Les déjections animales représentent aussi une source importante d'ETM comme celles de volailles, de bovins et de porcs peuvent contenir Cu, Zn, Cd, Ni, Cr, As, Pb et Hg, principalement issus des compléments minéraux utilisés dans l'alimentation animale (Zhang *et al.*, 2012 ; Wang *et al.*, 2013). Les résultats de l'ACM et de la HCPC montrent une structuration des pratiques agricoles en profils de risque distincts. Les groupes associés aux routes, aux décharges, aux eaux de puits, de mares ou de rivières, aux fertilisants et aux pesticides potentiellement métallifères correspondent aux situations les plus critiques puisqu'ils combinent plusieurs voies potentielles d'introduction des ETM : contamination environnementale, apports agricoles directs et transfert hydrique. Enfin, l'analyse de réseau met en évidence le caractère systémique du risque. La forte centralité de la fertilisation organique, suivie des sources d'irrigation, de l'emplacement des décharges et de la position des sites, suggère que l'accumulation des ETM résulte d'interactions complexes entre pratiques culturales et contraintes environnementales locales, conformément aux observations d'Alengebawry *et al.* (2021). Bien que cette étude ait permis d'identifier les principales voies potentielles d'introduction des éléments traces métalliques (ETM) dans les systèmes maraîchers étudiés, elle repose essentiellement sur des données d'enquête et l'analyse des pratiques agricoles. Elle n'inclut pas de mesures directes des concentrations d'ETM dans les sols, les eaux d'irrigation, les fertilisants, les pesticides ou les légumes.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Cette étude a permis d'identifier les principales voies potentielles d'introduction des éléments traces métalliques dans les systèmes maraîchers de CECOMAF et de Tshuenge. Les résultats montrent que les risques potentiels de contamination sont principalement associés à la

proximité des décharges, à la localisation des parcelles le long des axes routiers, à l'utilisation des eaux d'irrigation ainsi qu'aux pratiques de fertilisation et de protection phytosanitaire. L'approche combinant analyses descriptives et méthodes multivariées a mis en évidence

l'existence de profils d'exposition différenciés selon les sites, traduisant une forte influence des interactions entre facteurs environnementaux et pratiques agricoles. Ces résultats fournissent une

base scientifique pour orienter les programmes de biosurveillance et les stratégies de réduction des risques de contamination dans les systèmes maraîchers urbains de Kinshasa.

BIBLIOGRAPHIE

- Ai P, Jin K, Alengebawya A, Elsayed M, Meng L, Chen M, Ran Y, 2020. Effect of application of different biogas fertilizer on eggplant production: Analysis of fertilizer value and risk assessment. *Environmental Technology & Innovation*, 19: 101019. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101019>
- Alengebawya A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ, 2021. Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants : Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 9(3): 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- Alloway BJ, 2013. Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In B. J. Alloway (Éd.), *Heavy Metals in Soils*. Springer Netherlands. 22:11-50. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2
- Amoah P, Drechsel P, Abaidoo RC, Ntow WJ, 2006. Pesticide and Pathogen Contamination of Vegetables in Ghana's Urban Markets. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50(1): 1-6. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-0054-8>
- Ardilly P, 2006. *Les techniques de sondage* (Nouvelle éd. actualisée et augmentée). Éd. Technip, Paris. 650p
- Bakhoum M, Ndiolene A, Ndiaye N, Diallo MA, Diop T, 2025. Evaluation du niveau de contamination en éléments traces métalliques des légumes feuilles cultivés au voisinage de la décharge urbaine de Mbeubeuss (Dakar). *Journal of Applied Biosciences*, 205 : 21642-21649.
- Chen XX, Liu YM, Zhao QY, Cao WQ, Chen XP, Zou CQ, 2020. Health risk assessment associated with heavy metal accumulation in wheat after long-term phosphorus fertilizer application. *Environmental Pollution*, 262:114348. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114348>
- Dan-Badjo AT, Guero Y, Lamso N, Barage M, Balla A, Sterckeman T, Evarria G, Feidt C, 2013. Évaluation des niveaux de contamination en éléments traces métalliques de laitue et de chou cultivés dans la vallée de Gounti Yena à Niamey, Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 67 : 5326-5335.
- Dépelteau F, 2000. *La démarche d'une recherche en sciences humaines. De la question de départ à la communication des résultats*. Bruxelles, Editions De Boeck Université. 407p.
- Masindi V. et Muedi KL, 2018. Environmental contamination by heavy metals (115-133). In *Heavy metals* (Eds Hosam El-Din M.Saleh and Refaat F.Aglan).
- Minengu J. et Ngweme G, 2021. Etude sur l'utilisation et l'impact des intrants chimiques (pesticides et fertilisants) dans le maraîchage à Kinshasa, Programme Investir sur les Données Scientifiques Probantes (PIDSP), Faculté des Sciences Agronomiques (Université de Kinshasa), 67 p.
- Mpundu M, Mulambi M, Useni SY, Ntumba NF, Muyambo ME, Kapalanga KP, Mwansa M, Ilunga K, Nyembo KL, 2013. Évaluation des teneurs en éléments traces métalliques dans les légumes feuilles vendus dans les différents marchés de la zone minière de

- Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences* 66 : 5106– 5113.
- Mukeba FB, Ngweme GN, Poté J, 2023. Consommation de légumes et risques sanitaires à Kinshasa : Une évaluation appliquée aux amarantes. *Revue Congolaise des Sciences Humaines et Sociales*, 2(2) : 1 10
- Muliele TM, Nsombo BM, Kapalay OM, Mafuka P, 2017. Amendements organiques et dynamique de l'azote minéral dans le sol sableux de Kinshasa (RD Congo). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 32(2) : 5156-5167.
- Nsandji RN, Mwamba AK, Kyela CM, Zabo IA, Ekwakwa AB, Mukendi CM, 2023. Niveaux de contamination en plomb, cadmium et arsenic des cultures produites au périmètre maraicher de Kasavubu/Saio «Cas d'Amaranthus hybridus». *Afrique SCIENCE*, 22(2) : 142-157.
- Petitjean K, Verres Y, Bristeau S, Ribault C, Aninat C, Olivier C, Leroyer P, Ropert M, Loréal O, Herault O, Amalric L, Baran N, Fromenty B, Corlu A, Loyer P, 2024. Low concentrations of ethylene bisdithiocarbamate pesticides maneb and mancozeb impair manganese and zinc homeostasis to induce oxidative stress and caspase-dependent apoptosis in human hepatocytes. *Chemosphere*, 346: 140535. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140535>
- Phanzy MA, Lukanu KP, Butuena BN, Bifubimbote SG, Tungi Tungi LJ, Belani MJ, Sankiana MG, Kinkela SC, 2024. Perception des maraîchers de kinshasa sur les effets des changements climatiques. *European Journal of Social Sciences Studies*, 9(6) : 212–236.
- Rashid A, Schutte BJ, Ulery A, Deyholos MK, Sanogo S, Lehnhoff EA, Beck L, 2023. Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil : Environmental Pollutants Affecting Crop Health. *Agronomy*, 13(6): 1521. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>
- R Core Team, 2026. *R : A language and environment for statistical computing* (version 4.5.3) [Computer software]. R Fondation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Shomba KS, Mukoka NF, Olela ND, Kaminar TM, Mbalanda W, 2015. *Monographie de la ville de Kinshasa*. Institut Congolais de Recherche en Développement et Etudes Stratégiques (ICREDES), Kinshasa – Montréal – Washington.105p.
- Tano B, Abo K, Dembele A, Fondio L, 2012. Systèmes de production et pratiques à risque en agriculture urbaine : Cas du maraîchage dans la ville de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(6): 2317-2329. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.12>
- Wang H, Dong Y, Yang Y, Toor GS, Zhang X, 2013. Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China. *Journal of Environmental Sciences*, 25(12): 2435-2442. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60473-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60473-8)
- Wang X, Liu W, Li Z, Teng Y, Christie P, Luo Y, 2020. Effects of long-term fertilizer applications on peanut yield and quality and plant and soil heavy metal accumulation. *Pedosphere*, 30(4): 555-562. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60457-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60457-0)
- Zhang F, Li Y, Yang M, Li W, 2012. Content of Heavy Metals in Animal Feeds and Manures from Farms of Different Scales in Northeast China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(8): 2658-2668. <https://doi.org/10.3390/ijerph9082658>