

Niveaux de contamination en plomb, cadmium et arsenic des cultures produites au périmètre maraîcher de Kasavubu / Saïo « *Cas d'Amaranthus hybridus* »

Ruffin Ngadi NSANDJI^{1*}, Aloys Kanda MWAMBA¹, Crispin Mulaji KYELA²,
Idrissa Assumani ZABO¹, Alain Buluku EKWAKWA¹ et Clément Mukendi MUKENDI¹

¹ Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences, Kinshasa, RD Congo

² Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Kinshasa, RD Congo

(Reçu le 19 Janvier 2023 ; Accepté le 27 Février 2023)

* Correspondance, courriel : ngadiruffin@gmail.com

Résumé

L'étude vise à évaluer le niveau de contamination des cultures maraîchères situées le long des chaussées à intense fréquence motorisée. L'analyse était effectuée par spectroscopie d'absorption moléculaire à l'aide du spectrophotomètre DR 2000 à lecture digitale appliquant la loi de Beer - Lambert dont la limite de la détection et de la quantification étaient respectivement de 0,001 mg/Kg et 0,02 mg/Kg. La précision ainsi que la reproductibilité de la méthode étaient jugées acceptables puisque le coefficient de variation de la méthode était respectivement inférieur à 10 %. Le taux moyen de plomb dans le sol diminue avec l'éloignement de la route en toute saison. Il varie de 2,5 à 0,1 mg/kg et dans les légumes, le taux moyen du plomb décroît quand la distance augmente. Il varie de 1,65 à 0,00 mg/kg, teneur plus élevée par rapport aux normes des *Amaranthus hybridus*. La zone utile pour une culture sécurisée est fixée à 50m de la route à fréquence motorisée intense.

Mots-clés : *contamination, métaux lourds, cultures maraîchères, milieu urbain.*

Abstract

Levels of lead, cadmium and arsenic contamination of crops produced in the market gardening perimeter of Kasavubu / Saïo “Cases of *Amaranthus hybridus*”

The study aims at assessing the contamination level of vegetable crops located along roads with intense motorized frequency. The analysis was carried out from molecular absorption spectroscopy using the DR 2000 spectrophotometer with digital reading applying the Beer-Lambert law which the limit of detection and that of quantification were respectively 0.001 mg/Kg and 0.02 mg/Kg. The method's precision and reproducibility were considered acceptable by the fact that the method's variable coefficient was respectively less than 10 %. The average level of lead in the soil decreases with distance from the road during a whole season. It varies from 2.5 to 0.1 mg/kg and in vegetables, the lead's average level decreases when the distance increases. It varies from 1.65 to 0.00 mg/kg, a higher content compared to the standards for *Amaranthus hybridus*. The useful area for a secure culture is fixed at 50m from the road with intense motorized frequency.

Keywords : *contamination, heavy metals, market gardening, urban environment.*

1. Introduction

Selon les estimations de l'Institut National de Statistique de la RDC [1], la Ville de Kinshasa comptait 6 062 000 d'habitants en 2000. Actuellement elle est estimée à 16.315.534 habitants en 2023, une augmentation de 4,4 % par rapport à l'année dernière [2]. Face à la forte augmentation de la population mondiale, en général, et urbaine, en particulier, l'alimentation des villes est devenu un problème majeur [3]. Cette croissance de la population urbaine concerne tant les capitales que les villes secondaires [4]. La consommation des légumes feuilles est d'environ 155.500 tonnes par an et avec une augmentation annuelle de 3 à 5 % l'an [5]. Longtemps ignorée, l'agriculture urbaine est de plus en plus considérée par les planificateurs urbains comme l'un des moyens de lutter contre l'inégalité alimentaire. Elle procure des revenus aux populations citadines [6]. Cultiver en ville des plantes comestibles implique une exposition à des contraintes telles que l'optimisation de la place disponible et la maîtrise de l'exposition des populations aux polluants souvent présents dans les différents milieux (sols, eaux, air). Comme les villes sont fortement peuplées, la probabilité d'exposition humaine aux polluants présents est relativement élevée. Des scénarios d'exposition humaine aux polluants couramment observés en zones urbaines sont particulièrement l'ingestion d'eau des puits pollués ou la consommation de plantes potagères cultivées sur des sols pollués [7] ou ayant intercepté des particules atmosphériques enrichies en métaux [8]. Des pollutions des milieux sont toujours largement observées en zones urbaines à la suite des pollutions historiques en plomb, cadmium ou mercure très persistants dans les sols [9] ou de dépôts atmosphériques de polluants particuliers sur de longues distances. De nombreux produits chimiques peuvent circuler ou s'accumuler dans les sols de jardin [10], et enfin les légumes [8]. La pollution atmosphérique par les métaux lourds sévit surtout en milieu urbain, non seulement à cause de la concentration des industries et des foyers domestiques, mais aussi par suite de la densité de la circulation des véhicules à moteurs [11]. Les principaux polluants métalliques émis, en milieu routier, sont issus des carburants, des pneus, des garnitures et des freins [12]. L'utilisation de plomb dans l'essence est cependant encore courante dans les pays en développement [13]. L'entrée du plomb dans la fabrication des batteries et les carburants a entraîné une augmentation de sa concentration atmosphérique [14]. Des polluants issus du trafic automobile ou du chauffage urbain peuvent se déposer sur les végétaux ou le sol, voire être absorbés par les racines des plantes [15]. D'une part, les éléments métalliques traces (Pb, As, Hg, Cd, Zn, Cu, Ni et Cr) s'accumulent au fur et à mesure que la circulation augmente. D'autre part, les hydrocarbures, des huiles, des caoutchoucs constituent les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Indépendamment de la circulation routière, les contaminants issus des engrais, des pesticides et de la nature sont absorbés par la végétation et se retrouvent ensuite dans la chaîne trophique [16]. L'étude vise à évaluer la qualité des légumes cultivés près des chaussées Kasavubu et Saïo et consommés à Kinshasa. De manière spécifique, elle consiste à : analyser les paramètres physico-chimiques des sols maraîchers et des eaux d'arrosage ; évaluer l'impact du sol maraîcher et des eaux d'arrosage sur la qualité des légumes et déterminer la teneur de Pb, Cd et As dans les légumes en fonction de la distance qui les sépare des bords de chaussées Kasavubu et Saïo et déduire la zone utile pour une culture sécurisée ou un maraîchage urbain sain dans la ville de Kinshasa.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu

Situé au croisement des avenues KASAVUBU et SAIO dans la commune de KASAVUBU, ce site est fortement fréquenté par des véhicules motorisés. Il sert également à l'hébergement des enfants de la rue qui y rejettent des excréments et des urines. Les maraîchers s'adonnent à la culture d'amarante (*Amaranthus hybridus*), d'épinard (*Basella alba*), de patate douce (*Ipomoea batatas*) et d'oseille (*Hibiscus acetocella*). Les maraîchers recourent à l'eau de puits pour l'arrosage. Le sol est sablonneux et les fertilise avec les fientes de volailles, les déchets ménagers et NPK.

2-2. Échantillonnage et conditionnement

Des échantillons du sol et des plantes ont été prélevés en fonction de la distance qui les sépare de la route (entre 3 m et 100 m). Après élimination des débris végétaux et des racines, les échantillons de terre collectés des horizons organo-minéral (0 - 10 cm) du sol ont été séchés à une température ambiante, puis broyés et tamisés à travers les mailles de 2mm. Les échantillons des légumes ont été séchés à l'abri des rayons solaires puis broyés. La sauce a servi pour l'analyse des légumes cuits. L'échantillon d'eau a été prélevé des puits sélectionnés sur base de leur position par rapport à la route. Pendant la saison de pluie, le prélèvement a eu lieu entre le 10 et 15 avril 2019 soit 25 jours après. La deuxième phase s'est déroulée pendant la saison sèche (juillet 2019).

2-3. Méthodes d'analyses

- Les paramètres physico-chimiques [carbone organique total (COT) et Matières organiques (MO)] du sol ont été déduits selon la méthode de différence de poids avant et après l'incinération au four [17] (Abderrazzak 2012).
- Les paramètres physico-chimiques de l'eau des puits ont été déterminés *in situ* à l'aide de la sonde multi-paramètres de marque HACH HQ 40d.
- Le pH du sol a été réalisé à l'aide d'un pH-mètre à « électrodes pH combinées ». Le pH (H₂O) est mesuré dans une suspension sol-eau tandis que le pH-KCl est déterminé dans une suspension sol-KCl 1N à l'aide du pH-mètre de marque ST 10 OHAUS
- Les analyses des métaux traces (Pb, Cd et As) ont été effectuées par spectroscopie d'absorption moléculaire à l'aide du spectrophotomètre DR 2000 à lecture digitale appliquant la loi de Beer - Lambert dont la limite de détection est de 0,02 mg/L.
- L'évaluation des métaux traces qui se sont transférés du sol vers l'*Amaranthus hybridus* a été obtenu en divisant la concentration de l'élément trace métallique de la plante par celle du sol [18].
- Pour évaluer la relation qui existe entre différents paramètres analysés, une étude statistique de corrélation de PEARSON a été utilisée pour savoir si ces paramètres ont une même origine ou si la différence observée est due au hasard. Le logiciel ORIGIN 8 a servi pour ce faire.
- Le Test de Student a été appliqué en vue d'évaluer la variabilité des paramètres (distance entre zone rouge et zone utile) pendant les deux saisons. Il a été calculé sur base d'un programme Microsoft Excel [19].

3. Résultats

3-1. Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques globaux

3-1-1. Eaux de puits

Les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques des eaux des puits sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

3-1-1-1. pH

Le **Tableau 1** indique les valeurs moyennes de pH des eaux de puits pendant les deux saisons.

Tableau 1 : pH des eaux de puits

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
SP	6,1	6,3	6,7	6,6	5,6	6,6	6	6	6,1	6	5,6
SS	6,1	6,3	6,7	6,5	5,5	6,6	6	6	6	6	5,6

SP : saison de pluie SS : saison sèche

Ce **Tableau** montre que le pH du puits 3 est très élevé pendant les deux saisons et celui du puits 5 est faible pendant les deux saisons.

3-1-1-2. Oxygène dissous

Le **Tableau 2** indique les valeurs moyennes de l'oxygène dissous des eaux de puits pendant les deux saisons.

Tableau 2 : Oxygène dissous des eaux de puits

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
SP	3,4	2,7	2,6	4,7	3	3,3	3,7	3,7	2,5	2,3	5,6
SS	3,3	2,6	2,5	4,9	2,9	3,3	3,7	3,8	2,6	2,3	5,6

SP : saison de pluie SS : saison sèche

Ce **Tableau** montre que l'oxygène dissous du puits 11 est très élevé pendant les deux saisons et celui du puits 10 est faible pendant les deux saisons.

3-1-1-3. Conductivité

Le **Tableau 3** indique les valeurs moyennes de l'oxygène dissous des eaux de puits pendant les deux saisons.

Tableau 3 : Conductivité des eaux de puits

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
SP	611	116	962	696	469	558	565	542	759	746	824
SS	620	119	970	680	450	538	575	550	760	737	819

SP : saison de pluie SS : saison sèche

Ce **Tableau** montre que la conductivité électrique du puits 2 est très élevée pendant les deux saisons et celui du puits 5 est faible pendant les deux saisons.

3-1-1-4. Température

Le **Tableau 4** indique les valeurs moyennes de la température des eaux de puits pendant les deux saisons.

Tableau 4 : Température des eaux de puits

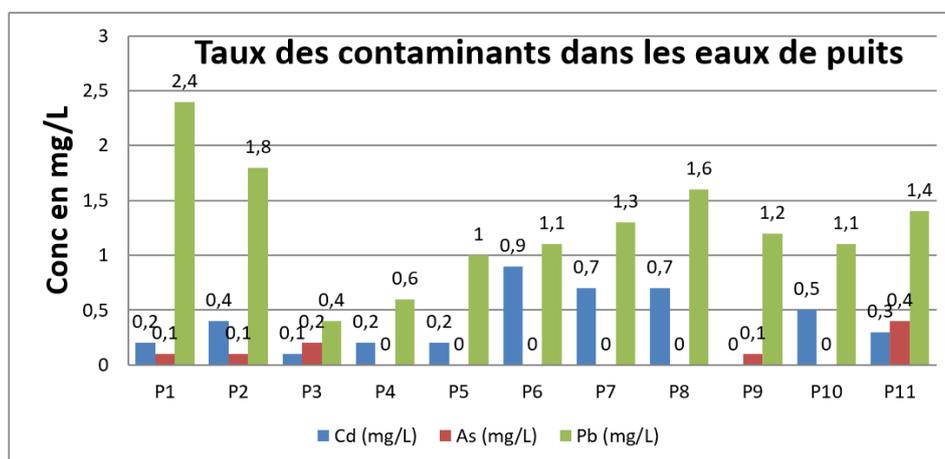
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
SP	32	30	30	30	30	29	30	31	32	30	30
SS	30	29	29	29	29	29	30	31	31	30	30

SP : saison de pluie SS : saison sèche

Ce **Tableau** montre que la température des puits 1 et 9 sont très élevées pendant la saison de pluie et faible au puits 6. Tandis que les puits 8 et 9 avaient une température très élevée et ceux 2, 3, 4, 5 et 6 très faibles pendant la saison sèche.

3-1-1-5. Métaux lourds dans l'eau de puits (Pb, Cd et As)

Les résultats d'éléments traces métalliques présents dans l'eau de puits sont indiqués le **Graphique 1** ci-dessous :



Graphique 1 : Taux de contaminants (Pb, Cd et As) dans différents puits d'eaux

Les résultats dans ce Graphique indiquent que :

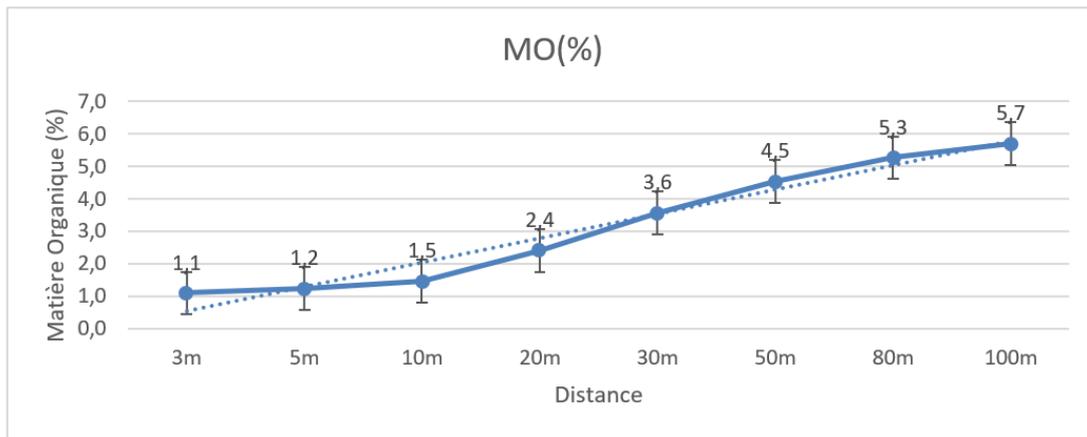
- les valeurs de l'arsenic sont nuls aux puits P4 à P8 et P10. Mais de P1 à P3, P9 et P11 varient entre 0,1 à 0,4mg/L.
- Une valeur élevée de Cadmium dans les puits 6 (P6) et 12 (P12) et faible dans les puits 3 (P3). On a constaté que dans les puits 9 (P9), la valeur de cadmium est quasiment nulle par rapport à la méthode d'analyse utilisée
- Les valeurs de Plomb sont considérables dans les puits P1 et P2 à proximité de la route par rapport aux puits P3 à P11 qui s'éloignent de la route.

3-1-2. Sol

Les résultats d'analyse physico chimiques de sol maraicher sont inscrits dans les **Graphiques 2 et 3** pour les matières organiques, 3 et 4 pour le carbone organique total, 5 et 6 pour le pH et 7, 8 et 9 pour les éléments traces métalliques.

3-1-2-1. Matières organiques moyennes dans le sol

Le **Graphique 2** indique l'évolution de matières organiques dans le sol en fonction de la distance par rapport à la route à trafic motorisé intense.

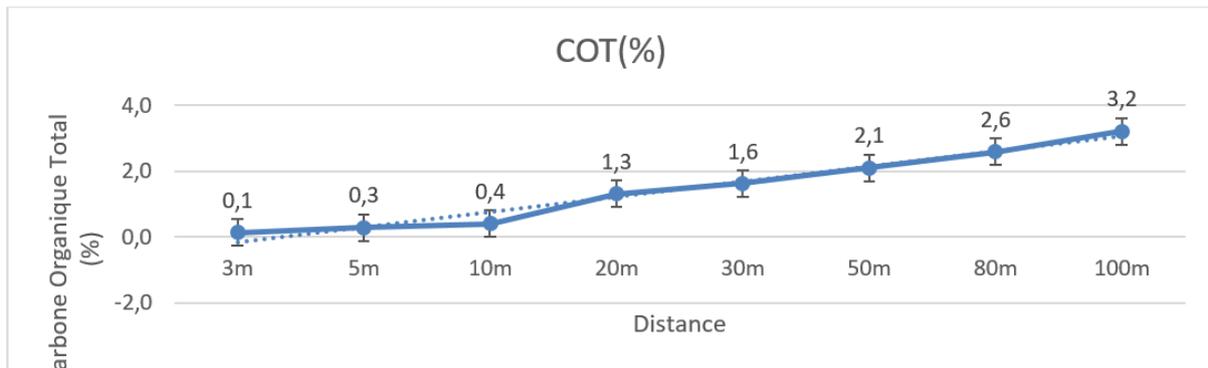


Graphique 2 : Évolution de matière organique de sol en fonction de la distance

Ce illustre l'évolution de la matière organique dans le sol en fonction de la distance. Elle révèle qu'à partir de 30 m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3 m. La courbe de tendance est croissante.

3-1-2-2. Carbone organique total moyen dans le sol

Le **Graphique 3** indique l'évolution de carbone organique total dans le sol en fonction de la distance par rapport à la route à trafic motorisé intense.



Graphique 3 : Évolution de carbone organique total de sol en fonction de la distance

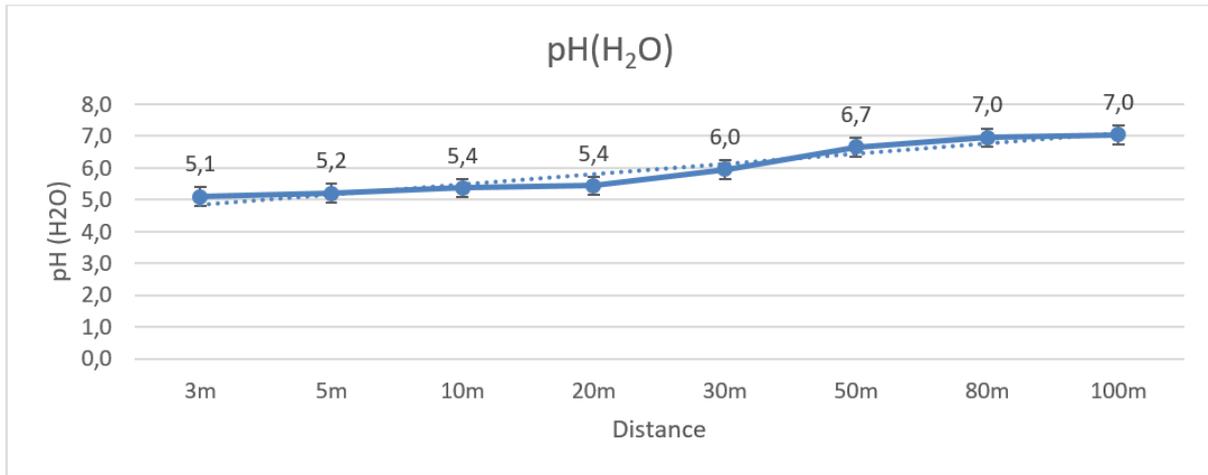
Le **Graphique 3** présente l'évolution du Carbone Organique Total dans le sol en fonction de la distance. Elle révèle qu'à partir de 20m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3 m. La courbe de tendance est croissante.

3-1-2-3. pH moyen du sol (0 - 10 cm)

Les résultats du pH du sol est fonction de solvant utilisé et sont inscrits dans le **Graphique 4 et 5** ci-dessous :

a) pH moyen dans la suspension eau-sol

L'évolution du pH dans la suspension eau-sol en fonction de la distance par rapport à la route motorisé est démontrée dans le **Graphique 4** ci-dessous :

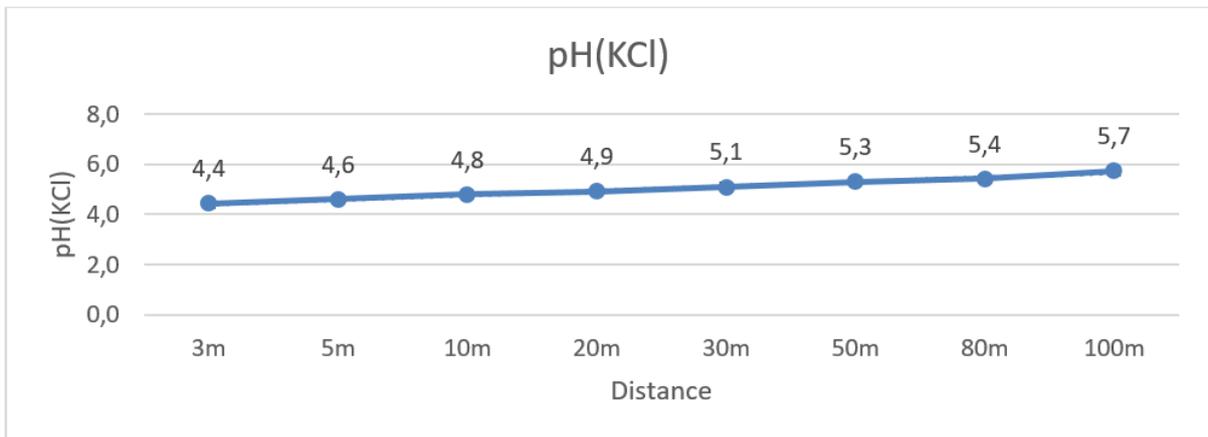


Graphique 4 : *Évolution du pH du sol dans la suspension eau-sol*

Le **Graphique 4** présente les valeurs du pH (H₂O) dans le sol en fonction de la distance. Elle révèle qu'à partir de 50 m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3 m. La courbe de tendance est croissante.

b) pH moyen dans la suspension eau- KCl

L'évolution du pH dans la suspension KCl-sol en fonction de la distance par rapport à la route motorisé est démontrée dans le **Graphique 5** ci-dessous :

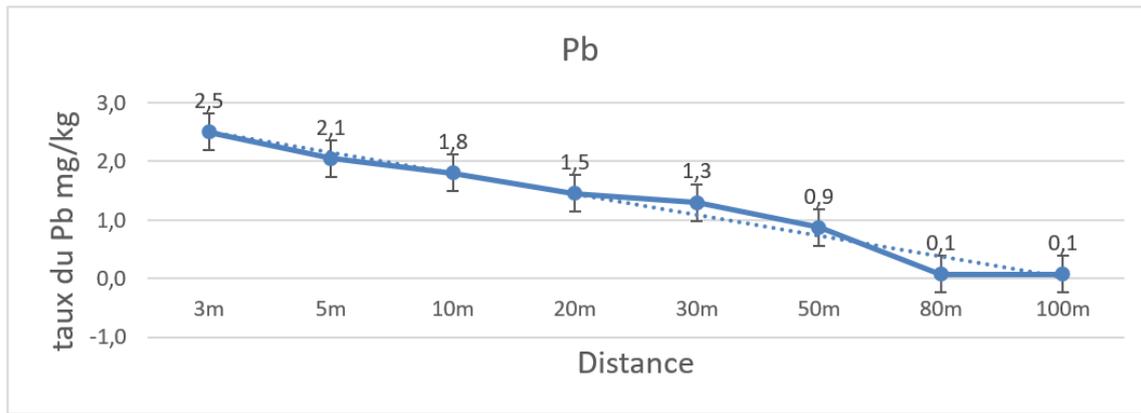


Graphique 5 : *Évolution du pH du sol dans la suspension KCl-sol*

Le **Graphique 5** présente les valeurs du pH (KCl) dans le sol en fonction de la distance. Elle révèle qu'à partir de 20 m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3 m. La courbe de tendance est croissante.

3-1-2-4. Plomb moyen dans le sol

L'évolution du plomb dans sol en fonction de la distance par rapport à la route motorisé est démontrée dans le **Graphique 6** ci-dessous :

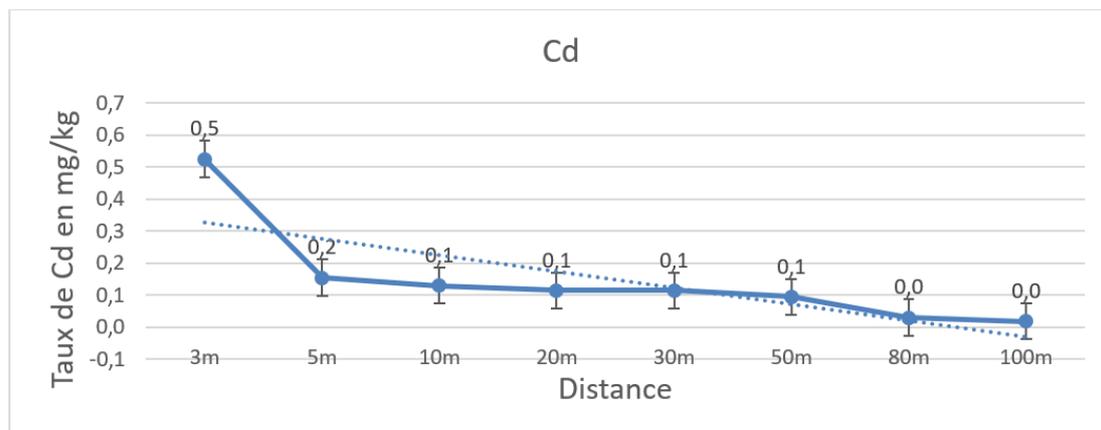


Graphique 6 : Évolution du plomb dans le sol

Le **Graphique 6** présente l'évolution du plomb dans le sol en fonction de la distance. Elle révèle qu'à partir de 20 m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3 m. La courbe de tendance est décroissante.

3-1-2-5. Cadmium moyen dans le sol

L'évolution du plomb dans sol en fonction de la distance par rapport à la route motorisé est démontrée dans le **Graphique 7** ci-dessous :

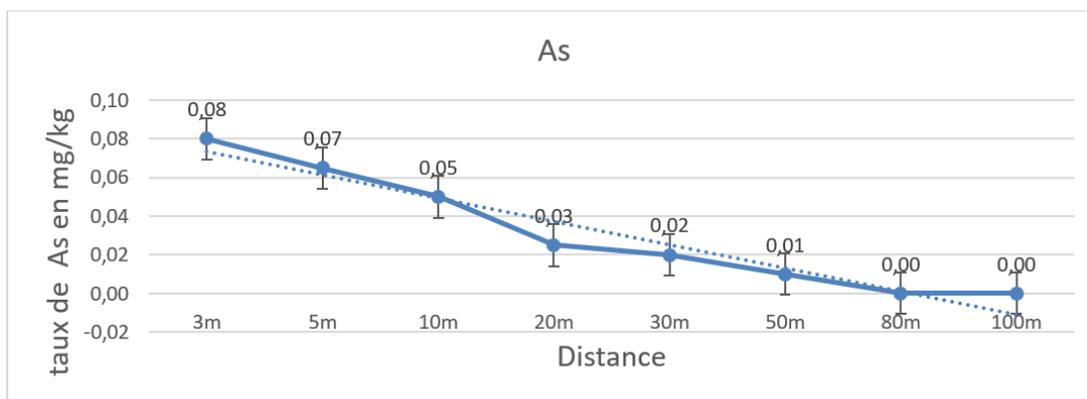


Graphique 7 : Évolution de cadmium dans le sol

Le **Graphique 7** présente l'évolution du Cd dans le sol en fonction de la distance. Elle révèle qu'à partir de 5 m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3 m. La courbe de tendance est décroissante.

3-1-2-6. Arsenic moyen dans le sol

L'évolution d'arsenic dans sol en fonction de la distance par rapport à la route motorisé est démontrée dans le **Graphique 8** ci-dessous :

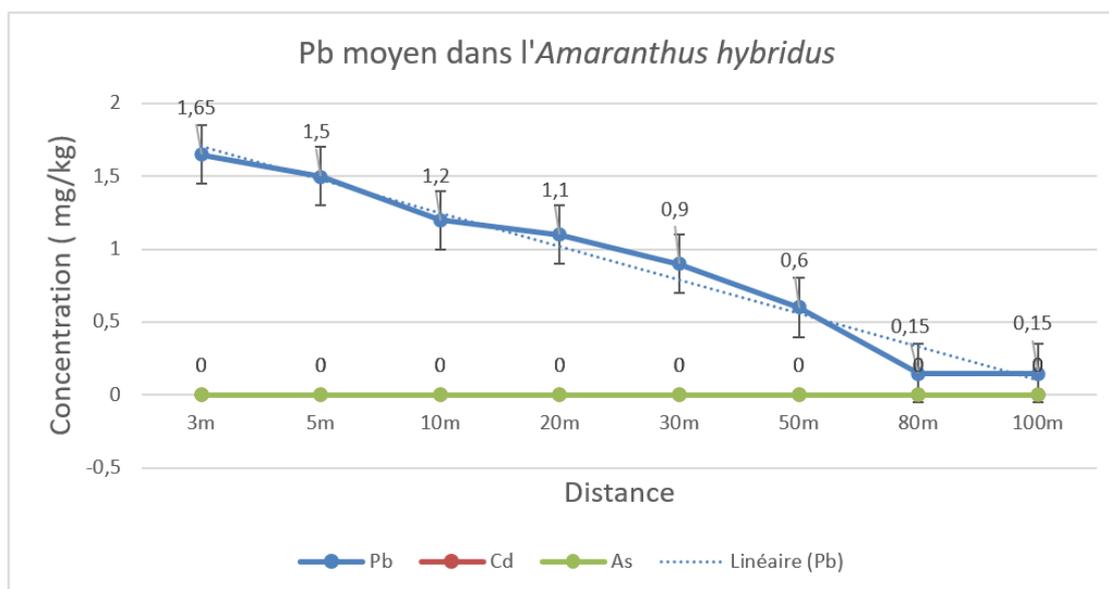


Graphique 8 : Évolution de l'arsenic dans le sol

Le **Graphique 8** présente l'évolution d'As dans le sol en fonction de la distance. Elle révèle qu'à partir de 10m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3m. La courbe de tendance est décroissante.

3-1-3. Légume

Les résultats de l'évolution des métaux traces dans l'Amaranthus hybridus en fonction de la distance par rapport à la route à intense circulation motorisée sont mis dans le **Graphique 9** ci-contre :



Graphique 9 : Évolution de Pb, As et Cd moyens dans Amaranthus hybridus en fonction de la distance

Le **Graphique 9** présente le taux des métaux traces contaminants dans l'Amarante. Elle révèle qu'à partir de 10 m, la barre d'erreur-type se démarque de la valeur enregistrée à 3 m. La courbe de tendance est décroissante. De 0-50 m, la concentration de plomb est de loin supérieure à celle prévue par la législation (0,1 mg/ Kg). L'absence du taux de Cadmium et d'Arsenic à partir de 3 m de la route se justifie par le fait que les fumées d'échappement n'émettent que le plomb provenant du carburant.

- **Facteur de transfert (F)**

Les résultats du facteur de transfert du plomb du sol vers les légumes sont inscrits dans le **Tableau 5** ci-dessous :

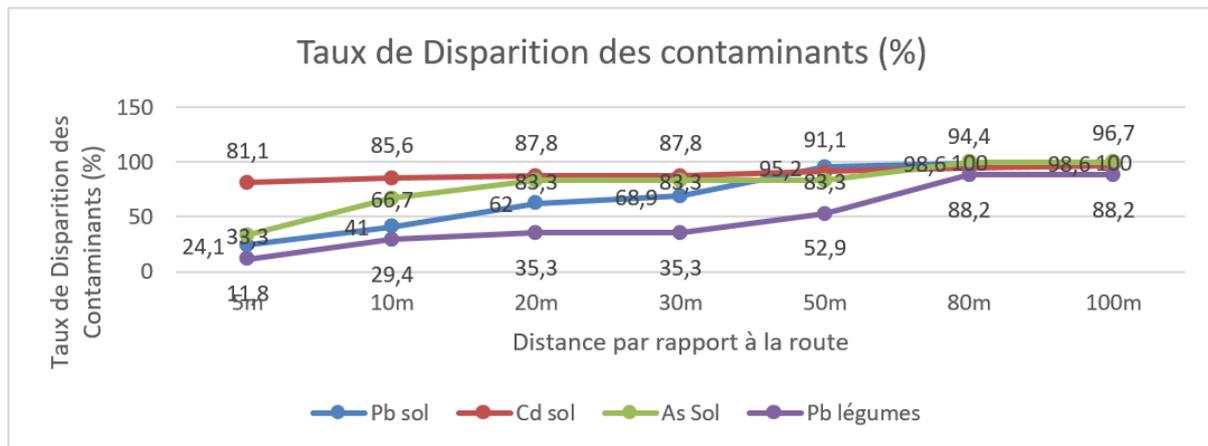
Tableau 5 : Facteur de transfert (F)

Distance (m)	Chaussée Kasavubu et Saio		
	Cd	As	Pb
3	n.d	n.d	0,6
5	n.d	n.d	0,7
10	n.d	n.d	0,7
20	n.d	n.d	1,0
30	n.d	n.d	1,2
50	n.d	n.d	5,7
80	n.d	n.d	5,0
100			5,0

Le **Tableau 5** présente la possibilité du métal du sol est transférée aux légumes. De 3 à 50 m de la route à intense circulation routière, le facteur de transfert de plomb varie de 0,6 à 5,7 et pas de transfert pour le cadmium et l'arsenic.

- **Disparition des contaminants par rapport à la distance**

Le taux de disparition des d'éléments traces dans le sol et les légumes sont inscrits dans le **Graphique 10** ci-après :

**Graphique 10 : Taux de disparition des contaminants par rapport à la distance**

A 5m de parcours, le taux de disparition est respectivement estimé à 81,1 % (Cd), 33,3% (As), 24.1 % (Pb du sol) et 11.8 % (Pb légume). Le taux de disparition est proportionnel à la distance. A 100 m, le taux de disparition est de 100 % pour l'As (sol), 96,7 % pour le Cd (sol), 98,6 % pour le Pb du sol et 88,2 % de Pb dans les légumes.

3-1-4. Coefficient de corrélation de Pearson de Kasavubu/ Saio

Les résultats de corrélation sont présentés dans le **Tableau 6** ci-après :

Tableau 6 : Coefficient de corrélation de Pearson pour Kasavubu / Saio

	pH (KCl)	M.O.	C.O.	Cd/sol	As/sol	Pb/sol	Pb/lég
pH (H ₂ O)	0,86887	0,95795	0,91669	-0,53556	-0,7906	-0,9118	-0,90243
pH (KCl)		0,9026	0,94944	-0,76078	-0,92459	-0,9438	-0,91623
M.O.			0,97608	-0,57616	-0,85742	-0,94115	-0,96991
C.O.				-0,64825	-0,9249	-0,95793	-0,95632
Cd/sol					0,83958	0,77057	0,6536
As/sol						0,96173	0,87519
Pb/sol							

Le **Tableau 6** indique qu'il y a une corrélation négative entre les paramètres physico-chimiques et les métaux traces sous étude. Par contre, le plomb de sol et celui des légumes manifestent une forte corrélation (0.92393).

3-1-5. Coefficient de corrélation de Pearson des eaux

Ces résultats sont présentés dans le **Tableau 7** ci-après :

Tableau 7 : Coefficient de corrélation de Pearson des eaux

	Cd eau	As eau	Pb eau
Cd eau	1	-0,40203	0,15445
As eau		1	0,06212
Pb eau			1

Le **Tableau 7** montre qu'il y a faible corrélation entre les métaux traces dans les puits d'eau, liée à une même origine géochimique. Donc ils n'ont pas même origine.

4. Discussion

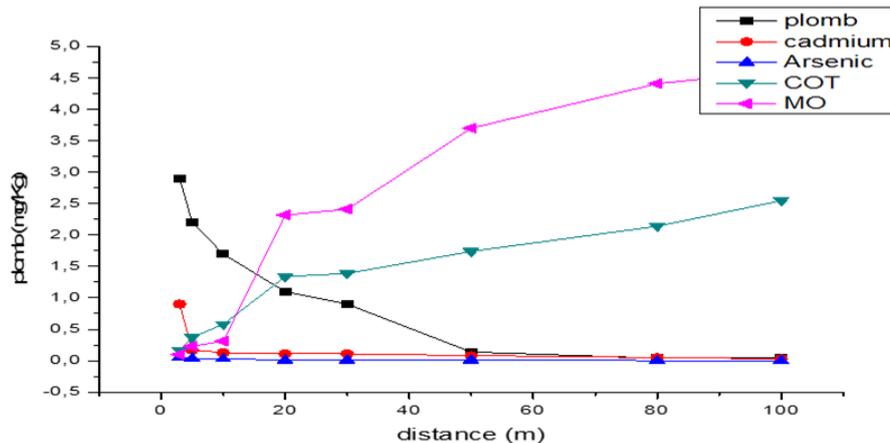
Le pH des puits d'eau varie entre 5,6 et 6,7, valeurs inférieures à 6,8 donc légèrement acide mais favorable à la vie aquatique (5-9,0) et conforme au pH des eaux souterraines [20]. Les valeurs de l'oxygène dissous de ces puits varient entre 2,51 et 5,58mg O₂/L. Elles sont inférieures à celles des eaux domestiques maghrébines (2,42 mg/L), et inférieures aux valeurs guides de traitement physique, chimique et approfondie (> 30 mg/L) et inférieures à celles de surface de la rivière Lukaya [21, 22]. Le pH de sol dans la suspension sol-H₂O varie de manière croissante de 5,12 à 7,3 pendant les deux saisons avec des valeurs moyennes variant entre 5,1 à 7,0. Ce pH dont la barre d'erreur-type se démarque à 50 m de la valeur initiale à 3 m, montre que le sol est faiblement acide (6,8). Le sol est donc propice aux cultures maraichères, car les plantes assimilent les nutriments solubles dans l'eau à ce pH. Il se dégage qu'après 50 m de la route, le pH est conforme aux normes requises pour le sol arable. Mais, à une distance inférieure à 50 m des chaussées, le sol est acide. Cela est dû aux gaz d'échappement comme le CO₂, le NO_x, le SO_x, etc. Ces gaz se dissolvent dans l'eau formant ainsi des acides correspondants avec un impact sur les cultures, car le pH acide augmente la phyto-disponibilité des métaux. Le pH moyen du sol dissous dans le solvant KCl est faiblement acide et varie entre 4,4 à 5,7 de 3 à 100 m de la route à fréquence motorisée intense. Ce pH bien que sa valeur à 20 m se démarque de sa valeur initiale à 3 m, il n'est pas utile pour caractériser un sol maraîcher. Les concentrations des matières organiques augmentent avec l'éloignement de la route. Ces valeurs varient de 1,0 à 6,9 % pendant les deux saisons avec des valeurs moyennes oscillant entre 1,1 à 5,7 %. A 30 m, sa valeur moyenne se démarque de celle de 3 m et devient acceptable pour un maraîchage. Les fumées d'échappement ont pratiquement un impact

négatif sur les matières organiques indicatrices du carbone organique nécessaire pour la plante. Ces résultats sont conformes à ceux de sol agricole cultivés de Sarrebruck en Allemagne (1 à 3 %) [10]. Variant de manière croissante avec l'éloignement de la route, le carbone organique total va de 0,15 à 4 % pendant les deux saisons, avec des valeurs moyennes allant de 0,1 à 3,2 % avec une valeur de 1,3 % se démarquant de la valeur initiale (**Graphique 7**). Les résultats obtenus sont inférieurs à ceux de maraîchers de Lorraine en France dont les valeurs dépassent 4 % [10]. Les valeurs moyennes du plomb dans le sol varient de manière décroissante qu'il soit de Kasavubu ou Saio, pendant la saison de pluie ou sèche. Ses valeurs moyennes varient entre 2,5 à 0,1 mg/kg (graphique 10). Les de plomb du sol sont inférieures à celles de sol jardin de Tshamalenga (530 mg/kg) [23] et même aux valeurs guides (100mg/kg) pour le sol maraicher [24 - 26] et celles sols maraichers polonais à proximité de trafic routier, comprises entre 3,41 et 1520 mg/kg [27], et sont supérieurs aux sols de Ezazou village en Côte d'Ivoire (4,9 mg/kg), [28]. Dans les légumes le taux de plomb décroît quand la distance augmente. Ses valeurs moyennes varient respectivement entre 1,65 à 0,0 mg/kg. L'évolution de plomb est inversement proportionnelle à la distance par rapport à la route. La contamination aérienne est la source principale de la contamination des légumes par le plomb issu des fumées d'échappement. Les valeurs de plomb dans les feuilles de *Amaranthus hybridus* obtenues sont inférieures à celles obtenues par influence des produits phytosanitaires 4mg/kg. Ceci démontre que les légumes cultivés dans les conditions de fortes contaminations anthropiques contiennent de quantités élevées des éléments traces dont le plomb [10]. Les valeurs obtenues sont inférieures à celles de Lubumbashi à proximité des zones minières (3,1 mg/kg) à Tshamalenga et à Shinkolobwe (5,352 mg/Kg) mais supérieures aux normes européennes (0,1 mg/kg) [23]. Il a en outre relevé que la teneur du plomb autant dans le sol que dans les légumes, décroît avec l'augmentation de la distance par rapport aux voies principales. Les valeurs de plomb présentes dans les légumes sont inférieures à celles dans les sols comme l'ont relevé [29]. Toutes les valeurs de plomb dans les eaux de puits varient entre 0,4-2,4 mg/L.

Ces concentrations sont supérieures par rapport aux valeurs limites (0,2 mg/L) pour les rejets dans les affluents aqueux et aux valeurs guides (0,01 mg/L), [30]. Et ces concentrations sont inférieures par rapport aux valeurs définies pour les eaux d'irrigation (5,0mg/L), [32]. Le facteur de transfert de plomb du sol vers les légumes varie de 0,6 à 5,7, se situant dans l'intervalle valeurs fixées (0,01 et 10) [18]. Seule la valeur à partir de 50 m des chaussées révèle le transfert de sol vers la plante car le facteur de transfert F (5,7) est supérieur à 5,6. Le pH influence la mobilité des micropolluants métalliques du sol. La mobilité de l'As étant très faible à pH acide, aucun transfert n'est possible. La concentration du cadmium décroît significativement à partir de 5m de la route et se stabilise par la suite. Le taux moyen de cadmium varie entre 0,5 à 0,0 mg/kg. A 5m il se démarque de la valeur à 3m de la route. Ces valeurs sont supérieures à 3 m (0,9mg/kg saison de pluie et 1,0mg/kg saison sèche) de la route à celles de sol arable (0,7 mg/kg) [24] et aux valeurs de référence applicables en Wallonie selon la réglementation régionale Flamande en la matière (0,2mg/kg), [28], inférieures à cette dernière à partir de 5 m (0,17 à 0,03 mg/kg), et à la norme Française en matière de sol agricole (2 mg/kg), inférieures à celle de sol jardin de Tshamalenga (1,45 mg/kg) [23] et aux valeurs guides (2 mg/kg) pour le sol maraicher [24 - 26]. Le facteur de transfert de Cadmium du sol vers les légumes est nul. Seuls les puits P6 à P8 (0,7 - 0,9 mg/L) ont des valeurs de Cadmium au-delà des normes de l'OMS pour la consommation humaine (0,03 mg/L) [30]. Valeurs supérieures à celles prévues pour les eaux d'irrigation (0,01 mg/L), [31] et aux valeurs limites pour les rejets dans les affluents aqueux (0,05 mg/L) [33]. Mais ces valeurs n'ont pas influencé sur le Cd de légumes analysés. Les concentrations d'arsenic décroissent moins avec l'éloignement de la route, ses valeurs moyennes varient de 0,08 à 0,00 mg/kg (**Graphique 12**). Valeur quasi faible dans le sol par rapport au sol de Tshamalenga (10 mg/kg) [23]. Les valeurs d'arsenic des eaux de puits sont supérieures à celles prévues pour les eaux de surface, pour les eaux d'irrigation (0,1 mg/L) [31], et aux valeurs limites (1 mg/L) pour les rejets dans les affluents aqueux [32]. Le T de Student des paramètres analysés a montré qu'il soit à Kasavubu ou Saio, Saison de pluie ou sèche, la différence n'est pas significative.

Les valeurs trouvées sont des moyennes de ces paramètres. Le coefficient de Pearson était appliqué entre les paramètres physicochimiques et les métaux traces. De cette corrélation en découle ce qui suit :

- Il y a une corrélation de manière inverse entre les métaux traces et les paramètres physicochimiques (pH, Matières organiques et Carbone organique total), c'est-à-dire plus les métaux traces diminuent, plus les paramètres physicochimiques augmentent comme l'indique le **Graphique 11** ci-dessous. Ces paramètres influent sur les métaux traces des sols.



Graphique 11 : Corrélation : Matières organiques, Carbone organique total et pH augmentent moins les métaux traces diminuent avec l'éloignement de la chaussée

- Le plomb, le cadmium et l'arsenic dans le sol ont une très faible corrélation, donc ils n'ont pas la même source de contamination. Cette faible corrélation peut être liée à une même source géochimique ;
- Le plomb du sol a une forte corrélation avec celui des légumes-feuilles, donc ils ont une même source de contamination, qui provient des sources anthropiques dont la fumée d'échappement des véhicules motorisés. Le lessivage est la principale cause de la différence de concentration entre le plomb de sol et celui des légumes, Ceci ;
- Les cultures maraîchères près des chaussées présentent un niveau de contamination plus élevé que la normale ;
- Le taux de contamination en Pb, Cd, et As est inversement proportionnel à la distance ;
- La zone utile est estimée à 50m des chaussées ;
- corrobore aux résultats de [33], qui a trouvé une corrélation entre la teneur en plomb dans le sol et celle des végétaux.

5. Conclusion

L'étude avait pour objectif d'évaluer le niveau de contamination d' *Amaranthus hybridus* en éléments traces métalliques toxiques dont le Pb, Cd et As en vue de déduire la distance de culture sécurisée ou la zone utile. Les résultats obtenus révèlent que :

- Les cultures maraîchères près des chaussées présentent un niveau de contamination plus élevé que la normale à l'instar du plomb ;
- Le taux de contamination en Pb, Cd, et As est inversement proportionnel à la distance ;
- La zone utile est estimée à 50m des chaussées.

Nous recommandons à l'autorité municipale l'interdiction stricte de culture maraîchère à moins de 50 m des routes à haute fréquence motorisée pour protéger la population contre les contaminants cancérigènes.

Références

- [1] - INS 2000, Comptabilité Nationale. Comptes Légers, République Démocratique du Congo, Ministère du Plan
- [2] - UN World, World population and urbanized, worldpopulationreview.com/ Kinshasa, site consulté le 9 février 2023
- [3] - L. J. A. MOUGEOT, Agropolis : The Social, Political and Environmental Dimensions of Urban Agriculture. IDRC, Earthscan, London, (2005) 286 p.
- [4] - C. AUBRY, M-H. DABAT et M. MAWOIS, Fonction Alimentaire de l'agriculture urbaine au Nord et au Sud : Permanence et renouvellement des questions de recherche. ISDA, Montpellier, France. Hal-00521221, (2010) 13 p.
- [5] - FAO, L'agriculture biologique peut contribuer à la lutte contre la faim, FAO, Relation media, Rome, www.fao.org/newsroom/fr/news/2007, (2007) 3 p.
- [6] - D. E. MUSIBONO, E. BIEY, M. KISANGALA, C. NSIMANDA, B. MUNZUND, V. KEKOLEMBA & J. PAULUS, Agriculture urbaine comme réponse au chômage à Kinshasa, République Démocratique du Congo. [Vertigo] La revue électronique en sciences de l'environnement, 11 (1). [En ligne], Vol. 11, N°1 (mai 2011), mis en ligne le 20 mai 2011, Consulté le 15 mai 2012. URL : <http://vertigo.revues.org/10818> ; DOI : 10.4000/vertigo.10818, (2011)
- [7] - M. SHAHID, C. DUMAT, S. KHALID, N. NIAZI, PMC ANTUNES, Cadmium Bioavailability, Uptake, Toxicity and Detoxification in Soil-Plant System. Springer, New York, (2016)
- [8] - T. XIONG, A. AUSTRUY, A PIERART, M. SHAHID, E. SCHRECK, S. MOMBO, C. DUMAT, Kinetic study of phytotoxicity induced by foliar lead uptake for vegetables exposed to fine particles and implications for sustainable urban agriculture. *Journal of Environmental Sciences*, (2016)
- [9] - C. DUMAT, T. XIONG and M. SHAHID, Agriculture urbaine durable : opportunité pour la transition écologique. Presses Universitaires Européennes, Saarbrücken, DE. ISBN 978-3-639-69662-2, (2016)
- [10] - C. SCHWARTZ, Les sols de jardins, supports d'une agriculture urbaine intensive. *Vertigo*, Hors-série 15, Pollutions atmosphériques, transport et agriculture, (2013)
- [11] - B. HANANE, H. BENCHABEN, A. NADIRA, A. ABBASSIA, Quantification de l'émission de plomb dans le milieu urbain de Sidi Bel' Abbes (Algérie occidentale) *European Scientific Journal* February 2015 edition, Vol. 11, N° 6 (2015) 82 - 94 ISSN : 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857 - 7431
- [12] - G. DELETRAZ, Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriadou (Pyrénées). Thèse de Doctorat en Géographie-Aménagement. Université de Pau et des pays de l'Adour. Institut de Recherche sur les sociétés et l'aménagement, (2002) 564 p.
- [13] - D. B. MENKES et JP. FAWCETT, Too easily lead? Health effects of gasoline additives. *Environ Health Perspect*, 105 (1997) 270 - 273
- [14] - R. D. RHUE, MANSELL, R. S. OULT, R. COX, S. R. TANG et Y. OUYANG, The fate and behavior of lead alkyls in the environment : a review. *Crit Rev Environ Control*, 22 (1992) 169 - 193
- [15] - I. K. KALAVROUZITIS, J. CARTER, S. P. VARNAVAS, A. MEHRA, P. A. DRAKATOS, Towards an understanding of the effect of road pollution on adjacent food crops: Zea mays as an example. *International Journal of Environment and Pollution*, 30 (2007) 576 - 592
- [16] - S. C. ATIDEGLA, E. K. AGBOSSOU, J. HUAT et R. G. KAKAI, Contamination métallique des légumes des périmètres maraîchers urbains et péri urbains : Cas de la commune de Grand—Popo au Bénin *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5 (6) (2011) 2351 - 2361, ISSN 1991 - 8631
- [17] - A. B. ABDERRAZZAK, Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux lourds dans les céréales, légumes et sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Hammam Boughrana, Thèse, Fac. des Sciences, Chimie, Université Abou BekrBelkaid-Tlemen, Algérie, (2012) 256 p.

- [18] - T. TANGO, Chimie Environnement, pollutions et nuisances, Ed. P.U.K., Université de Kinshasa, (2016) 139 p.
- [19] - A. ANCELLE, Statistique épidémiologie, collection Sciences fondamentales, 2^{ème} Ed., Maloine, (2008)
- [20] - J. PAINCHAUD, Qualité de l'eau de rivières du Québec, Etat et tendance, Direction des Ecosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement et de la faune, Québec, Canada, (Mars 1997)
- [21] - E. DROUART et J. M. VOUILAMOZ, Alimentation en eau potable des populations menacées, ACT, Hermat Editions, Paris, (1999)
- [22] - R. NGADI, A. IDRISSE et J. PONGI, Impact de rejet fiente de la ferme Minocongo sur la variation saisonnière des paramètres physicochimiques des eaux brutes de la rivière Lukaya. *Revue du CRIDUPN*, N° 61C (2014)
- [23] - C. BANZA, Rapport d'enquête sur la pollution chimique des quartiers Tshamalenga et Kabecha de la ville de Lubumbashi, ESP, Unité Toxicologique, Fac. Médecine, Université de Lubumbashi, (2002) 56 p.
- [24] - A. KABATA-PENDIAS, Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition, CRC Press, Boca Raton, USA, (2001) 413 p.
- [25] - L. BOUKHARS et A. RADA, Exposition au cadmium de végétaux cultivés sur des sols calcaires salés marocains amendés avec des boues et des eaux usées, *Environ. Technol*, Vol. 21, (2000) 641 - 652
- [26] - A. TREMEL-SCHAUB et I. FEIX, *Contamination des sols - Transferts des sols vers les plantes*, EDP Sciences, ADEME, (2005) 416 p.
- [27] - ADEME, Phytodisponibilité des ETM sur les plantes potagères et extrapolation dans la quantification d'exposition des consommateurs, Rapport, Université de Lorraine, France, (www.ademe.fr/médiathèque), (2017) 204 p.
- [28] - C. R. NGUELIEU, Evaluation des risques de contamination en éléments traces (Pb, Cd, Zn) des sites maraichers urbains de Yaoundé, Université de Liège, Master en Agro-Biotechnologie, (2017) 59 p. (<http://lib.ulg.ac.be>)
- [29] - D. MUSIBONO, Pollution au plomb des légumes cultivés le long des artères publiques à Kinshasa, INRB. Département Scientifique, Acte de colloque publié par courrier des lecteurs, (2003) 4 p. www.lettres@digitalcongo.net
- [30] - OMS, Directives de qualité pour l'eau de boisson ; Troisième édition, (2004)
- [31] - D. FATTA, Department of civil and environment engineering, University of Cyprus, (2014)
- [32] - B. LEPOT et J. POULLEAU, Méthodes de mesurage des polluants rejetés dans l'atmosphère et dans l'eau, Rapport final, INERIS, (2013) 549 p.
- [33] - E. NIEBOER et D. RICHARDSON, The replacement of the descript term "Heavy Metals" with biologically and chemically significant classification of metal ions, *J. Environ Pollution*, (1980) 3 - 26

