

## Consommation de légumes et risques sanitaires à Kinshasa : une évaluation appliquée aux amarantes

Florent B. Mukeba<sup>1</sup>, Georgette N. Ngweme<sup>2</sup>, John Poté<sup>3</sup>

- 1 Département de Géopolitique, Géostratégie, Environnement et Aménagement du territoire, Centre de Recherche en Sciences Humaines (CRESH), Kinshasa, République Démocratique du Congo.
- 2 Ecole de Santé Publique, Faculté de Médecine, Université de Kinshasa, B.P. 11850 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo.
- 3 Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Faculté des Sciences, Université de Genève, 66 Boulevard Carl-Vogt, CH – 1205, Genève, Suisse. Département de Géopolitique, Géostratégie, Environnement et Aménagement du territoire, Centre de Recherche en Sciences Humaines (CRESH), Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Résumé.** *Les cultures maraichères jouent un rôle très important pour la sécurité alimentaire et la vie socio-économique de la population de la ville de Kinshasa. Elles permettent l'approvisionnement de plus de 70% de légumes frais consommés dans la ville. Toutefois, les pratiques de production de ces légumes peuvent entraîner leur contamination par les micropolluants tels que les métaux toxiques avec des risques potentiels pour la santé des consommateurs à évaluer. Cette recherche examine l'accumulation des métaux toxiques dans les feuilles d'amarante (*Amaranthus viridis*) vendues dans 4 marchés de la ville de Kinshasa afin d'évaluer les risques potentiels pour les consommateurs. Les résultats montrent que les concentrations des métaux toxiques dans les feuilles d'amarante pendant les saisons sèche et de pluie sont très élevées. La contamination des légumes peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment, les produits chimiques utilisés pour prévenir les maladies d'amarante, les émissions à partir des véhicules et des motos pour les champs situés aux alentours des grands axes routiers, ainsi que les eaux d'arrosage. Vu les valeurs des concentrations des métaux toxiques dans les feuilles d'amarantes comparativement aux valeurs limites fixés par FAO/WHO, et nos résultats de calculs des risques, la consommation excessive de ce légume peut avoir des risques potentiels pour la santé des consommateurs.*

**Mots clés :** *Agriculture urbaine ; légumes ; amarante ; métaux toxiques ; évaluation des risques ; santé des consommateurs.*

**Abstract.** *Market gardening is very important for the food security and the socio-economic life of the population of the city of Kinshasa. They provide more than 70% of the fresh vegetables consumed in the city. However, the production practices of these vegetables can lead to their contamination by micropollutants such as toxic metals with potential health risks for consumers to be assessed. This research examines the accumulation of toxic metals in amaranth (*Amaranthus viridis*) leaves sold in four markets in the city of Kinshasa in order to assess the potential risks to consumers. The results show that concentrations of toxic metals in amaranth leaves during the dry and rainy seasons are very high. The contamination of vegetables can be explained by several factors, including chemicals used to prevent amaranth diseases, emissions from vehicles and motorcycles in fields located near major roads, and watering. Given the concentrations of toxic metals in pigweed leaves compared to the FAO/WHO limits, and the results of our risk calculations, excessive consumption of this vegetable may pose potential health risks to consumers.*

**Keywords:** *Urban agriculture; vegetable consumption; amaranth; toxic metals; risk assessment; consumer health risk.*



Received: 13 november 2022

Accepted: 18 march 2023

available online: 9 june 2023



## INTRODUCTION

Les légumes sont des aliments très importants et essentiels pour une alimentation saine, équilibrée et durable. Ils sont considérés comme une source de nombreux nutriments notamment les antioxydants et les fibres alimentaires pour le maintien des fonctions physiologiques normales des êtres humains et leur consommation est très utile pour la prévention de plusieurs maladies (Ngweme *et al.*, 2020 ; 2021a ; 2021b ; Azi *et al.*, 2018 ; FAO/WHO, 2013 ; Boeing *et al.*, 2012).

Par ailleurs, l'exposition à des micropolluants organiques et inorganiques par la consommation des légumes contaminés peut entraîner de graves conséquences pour la santé humaine. La présence des métaux toxiques dans les plantes comestibles constitue une préoccupation majeure pour la santé humaine en raison de leurs toxicités, leur non-dégradabilité, leur persistance et leur bioaccumulation. En outre, les plantes sont connues comme les grands accumulateurs des métaux toxiques. L'accumulation des métaux se produit principalement dans les parties comestibles des plantes telles que les feuilles et les racines, ce qui peut finalement entraîner une réduction de la qualité nutritionnelle et présenter une menace pour la santé humaine et animale (Ali and Al-Qahtani, 2012 ; Manzoor *et al.*, 2018 ; Ngweme *et al.*, 2020).

La consommation des légumes contaminés par des métaux toxiques peut entraîner leur accumulation dans les reins et le foie de l'homme, et de surcroît provoquer plusieurs maladies dont le cancer, l'anémie, les maladies cardiovasculaires, rénales et pulmonaires, ainsi que la déstabilisation du système nerveux et l'infertilité masculine (FAO/WHO, 2003 ; 2004 ; Mata *et al.*, 2020 ; Ngweme *et al.*, 2021a ; 2021b). De ce fait, il est très important et recommandé de consommer les légumes non contaminés par des polluants organiques et inorganiques tels que les métaux toxiques pour éviter les risques pour la santé humaine.

L'amarante fait partie des légumes de cultures maraichères les plus consommés dans les pays d'Asie du Sud et d'Afrique subsaharienne, et est actuellement importé et vendu dans des magasins africains et asiatiques situés dans de nombreux pays de l'Union Européenne (Ngweme *et*

*al.*, 2020 ; 2021a). C'est un légume très important pour l'alimentation humaine car il constitue une excellente source des oligoéléments, de manganèse, de magnésium, de phosphore et de la vitamine C. Il a une valeur calorifique de 43,4 kcal, des protéines brutes de 2,1%, une teneur en humidité de 87,9%, une teneur en glucides de 7,7%, des fibres brutes de 1,93% et de la matière grasse brute de 0,47% (Sharma *et al.*, 2012 ; Mota *et al.*, 2016 ; Azi *et al.*, 2018).

Dans la ville de Kinshasa avec une population estimée à plus de 15 millions d'habitants, les cultures maraichères jouent un rôle économique et social très important dans la vie quotidienne de la population. L'amarante (communément appelé Bitekuteku) est l'un des légumes les plus consommés à Kinshasa (Musibono *et al.* 2011 ; FAO/WHO 2013 ; Ngweme *et al.*, 2021a). La culture de ce légume est principalement pratiquée dans les zones péri-urbaines et souvent le long des rivières et à proximité des routes très fréquentées (Musibono *et al.* 2011 ; Ngweme *et al.*, 2021b).

Les agriculteurs de ce légume sont non professionnels, mais l'activité fait vivre des nombreuses familles à Kinshasa et emploie plus de 20 mille personnes. Elle peut contribuer au développement durable de la ville de Kinshasa sous certaines conditions, notamment à travers sa professionnalisation, l'arrêt des produits chimiques et la répartition équitable des terres arables (Musibono *et al.* 2011 ; Ngweme *et al.*, 2021a, 2021b). Fait inquiétant à Kinshasa, beaucoup d'agriculteurs utilisent couramment les eaux des puits, des étangs, des rivières urbaines et des canaux très chargées en polluants organiques et inorganiques pour l'irrigation des cultures maraichères. L'utilisation de ces eaux et la culture sous les sols agricoles contaminés ainsi que les dépôts atmosphériques peuvent contribuer de manière très significative à l'accumulation de métaux toxiques dans les légumes à culture maraichère (Ali et Al-Qahtani 2012 ; Tshibanda *et al.* 2014 ; Kapembo *et al.* 2016 ; Laffite *et al.* 2016 ; Chabukdhara *et al.*, 2016 ; Mwanamoki *et al.* 2015 ; Kilunga *et al.* 2017 ; Kayembe *et al.* 2018).

Nos recherches se sont inspirées des études récentes effectuées pour déterminer l'accumulation des polluants inorganiques et organiques dans l'amarante cultivée dans certains quartiers

de la ville de Kinshasa (Ngweme *et al.*, 2020 ; 2021a ; 2021b). Vu la complexité du mode de culture et l'importance nutritionnelle de ce légume dans l'alimentation des habitants de la ville de Kinshasa, ces recherches recommandent fortement des études complémentaires pour évaluer la contamination des légumes cultivés et vendue dans plusieurs communes de Kinshasa enfin de poursuivre l'évaluation des impacts sanitaires liés à leur consommation.

A notre connaissance, aucune donnée n'est disponible sur l'accumulation de métaux toxiques dans l'amarante vendue dans les marchés du Camp Kokolo (un des sites les plus producteur de ce légume à Kinshasa), de Bayaka, de Bandalungwa et de Kintambo. De ce fait, le but de cette recherche est de déterminer la concentration des métaux toxiques (Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Arsenic (As), Cadmium (Cd), Plomb (Pb) et mercure (Hg)) dans les feuilles d'amarante vendue dans ses marchés et d'évaluer les risques potentiels pour la santé des consommateurs.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Description des sites d'étude

Cette recherche a été réalisée dans quatre marchés situés dans les différentes communes de la ville-Province de Kinshasa, capitale de la RD Congo (Fig. 1).

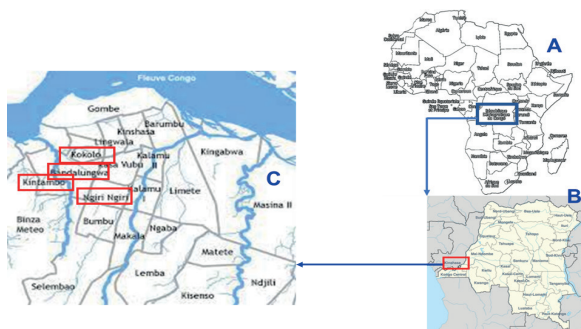


Figure 1. Carte adaptée indiquant: A. Localisation de la République Démocratique du Congo sur la carte continentale de l'Afrique ; B. Localisation de la ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo, et C. Les municipalités de Kinshasa (où se trouvent les marchés comme sites d'échantillonnage).

Les 4 marchés ont été choisis sur base des recommandations de études antérieures (Ngweme *et al.*, 2020 ; 2021b). Il s'agit des marchés se trouvant dans le Camp Kokolo (noté **Ko**), dans la commune de Bandalungwa (noté **Ba**), dans la commune de Kitambo (noté **Ki**), et dans la commune de Ngiri-Ngiri (communément appelé wenza ya Bayaka, noté **Ng**). Les amarantes vendues dans ces marchés sont produites dans des différents sites maraîchers de la Ville de Kinshasa. L'échantillonnage des feuilles d'amarante à partir de ces marchés a eu lieu en mars 2021 (saison de pluie) et en juillet 2021 (saison sèche). Pour chaque marché et au cours de chaque saison, des échantillons ont été prélevés en triplicata auprès de 3 vendeurs sélectionnés au hasard (par exemple Fig. 2). Chaque réplique consistait à prendre environ 500 g des feuilles d'amarante et homogénéisées pour former un échantillon composite. Après le prélèvement, les échantillons ont été stockés dans une glacière et transportés immédiatement au laboratoire de la Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa pour des traitements préliminaires (lavage à l'eau déminéralisée et pesée). Les échantillons ont été ensuite congelés et envoyés au laboratoire du Département F.-A. Forel (Université de Genève, Suisse) pour analyse des métaux toxiques.



Figure 2. Photos prises par Mukeba F. montrant la vente d'amarante dans le marché de Kitambo.

### 1.2. Digestion des plantes

Avant de procéder aux analyses des métaux toxiques, les feuilles d'amarante ont été préalablement digérés selon la méthode décrite par Larras *et al.* (2013) et Ngweme *et al.* (2020). Brièvement, les feuilles ont été lavées avec de l'eau désionisée, lyophilisées pendant 12 heures, pesées et broyées avec de l'azote liquide. Environ

500 mg d'échantillons de plantes broyées ont été digérés avec 8 mL de HNO<sub>3</sub> (65 %) et 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%) pendant 16 h à 105°C. Le surnageant a été récupéré et centrifugé à 20°C pendant 15 minutes à 4000 rpm. La dilution a été faite 50 fois avec HNO<sub>3</sub> (1%) pour permettre l'analyse des métaux en utilisant la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS).

### 1.3. Analyse des métaux toxiques dans les feuilles d'amarante

La concentration des métaux toxiques notamment Cr, Co, Cu, Zn, As, Cd et Pb dans les échantillons digérés des feuilles d'amarantes a été mesurée par ICP-MS (modèle 7700, Agilent). L'analyse du Hg a été réalisée à l'aide du spectrophotomètre d'absorption atomique (modèle AMA 254). La calibration des appareils, l'étalonnage, l'utilisation des matériels de références et le contrôle de qualité pour la vérification de la fiabilité analytique ont été réalisés comme décrit préalablement par Ngweme *et al* (2020 ; 2021b). Les concentrations des métaux dans les feuilles d'amarante sont exprimées en mg kg<sup>-1</sup> de feuille sèche.

### 1.4. Évaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'amarante

L'évaluation des risques sanitaires potentiels liés à la consommation d'amarante contaminée par les métaux toxiques a été effectuée en comparant les teneurs des métaux obtenues dans les feuilles d'amarante avec les valeurs limites recomman-

dées par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour la consommation humaine des légumes, et en calculant le Quotient de Risque Ciblé (QRC). Les formules de calculs de QRC ont été développées dans des études antérieures (Suami *et al.* 2018 ; Mata *et al.* 2019 ; Ngweme *et al.*, 2020 ; 2021b).

### 1.5. Analyse statistique

Toutes les analyses ont été réalisées en triplicata pour l'ensemble des conditions analytiques (échantillonnage terrain et techniques d'analyse de laboratoire). Les données ont été analysées de manière descriptive au moyen d'une analyse de t-test, avec une différence de signification fixée à p < 0,05. Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide du logiciel SigmaStat 11.0 (Systat Software). Les données obtenues ont été soumises à la corrélation de Pearson pour interpréter les relations entre les variables.

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Concentrations des métaux dans les feuilles d'amarante

Les concentrations de métaux toxiques notamment le Cr, Co, Cu, Zn, As, Cd, Pb et Hg dans les feuilles d'amarante analysées sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Concentrations des métaux toxiques exprimées en mg kg<sup>-1</sup> matière sèche dans les feuilles d'amarante collectées dans les 4 marchés en fonction des saisons.

		Cr	Co	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
		± SD	± SD	± SD	± SD	± SD	± SD	± SD	± SD
Kokolo	Ko1	2,25 ± 0,23	2,17 ± 0,10	17,22 ± 4,36	119,36 ± 18,33	0,78 ± 0,02	0,73 ± 0,02	4,27 ± 0,41	0,06 ± 0,01
	Ko2	2,23 ± 0,16	2,36 ± 0,12	46,35 ± 7,22	238,59 ± 13,62	0,87 ± 0,06	0,88 ± 0,04	8,15 ± 0,53	0,09 ± 0,01
	Ko3	4,31 ± 0,43	2,18 ± 0,02	45,53 ± 8,27	127,38 ± 21,91	0,64 ± 0,02	0,73 ± 0,02	4,63 ± 0,22	0,02 ± 0,01
	Ko4	2,62 ± 0,26	2,41 ± 0,04	31,48 ± 5,66	198,62 ± 23,44	2,17 ± 0,07	0,87 ± 0,04	7,48 ± 0,87	0,07 ± 0,02
	Ko5	2,52 ± 0,38	2,25 ± 0,07	18,82 ± 2,35	335,38 ± 16,28	1,44 ± 0,08	0,67 ± 0,09	6,61 ± 0,96	0,04 ± 0,01
	Ko6	5,61 ± 0,16	2,25 ± 0,03	47,62 ± 8,38	465,32 ± 14,32	2,11 ± 0,09	0,86 ± 0,08	29,76 ± 1,16	0,14 ± 0,03
Bandal	Ba1	1,04 ± 0,23	0,37 ± 0,02	36,22 ± 7,35	123,25 ± 24,13	2,32 ± 0,08	0,62 ± 0,01	17,23 ± 3,71	0,04 ± 0,01
	Ba2	3,18 ± 0,42	0,37 ± 0,02	45,14 ± 9,67	167,42 ± 18,12	4,18 ± 0,23	0,79 ± 0,02	26,52 ± 6,44	0,06 ± 0,02
	Ba3	1,23 ± 0,62	0,66 ± 0,05	24,32 ± 8,25	129,71 ± 13,43	1,56 ± 0,08	0,74 ± 0,02	13,47 ± 2,61	0,03 ± 0,01
	Ba4	2,46 ± 0,33	3,27 ± 1,21	31,23 ± 9,37	287,26 ± 20,31	1,33 ± 0,15	0,62 ± 0,05	23,05 ± 5,27	0,06 ± 0,01
	Ba5	0,97 ± 0,27	3,65 ± 1,02	23,62 ± 8,36	142,61 ± 18,62	1,25 ± 0,67	0,66 ± 0,03	13,43 ± 1,73	0,05 ± 0,01
	Ba6	3,25 ± 0,61	3,66 ± 0,09	47,16 ± 8,27	272,36 ± 32,52	1,32 ± 0,12	0,94 ± 0,03	19,26 ± 6,27	0,08 ± 0,02

Kitambo	Ki1	2,27 ± 0,64	1,19 ± 0,06	17,36 ± 6,24	142,36 ± 18,42	1,32 ± 0,09	0,73 ± 0,05	3,46 ± 1,08	0,02 ± 0,01
	Ki2	3,61 ± 1,42	1,62 ± 0,08	54,15 ± 9,43	248,71 ± 31,27	1,89 ± 0,37	0,98 ± 0,07	5,27 ± 1,82	0,05 ± 0,01
	Ki3	1,42 ± 0,08	1,37 ± 0,06	16,31 ± 2,36	127,62 ± 26,78	1,78 ± 0,27	0,61 ± 0,03	1,64 ± 0,17	0,03 ± 0,01
	Ki4	2,74 ± 0,07	2,53 ± 0,17	19,62 ± 1,91	262,12 ± 38,16	1,26 ± 0,21	0,88 ± 0,04	3,42 ± 0,74	0,08 ± 0,02
	Ki5	1,76 ± 0,05	1,93 ± 0,08	46,26 ± 8,73	163,52 ± 21,39	1,64 ± 0,43	0,74 ± 0,08	2,57 ± 0,78	0,07 ± 0,01
	Ki6	3,34 ± 1,04	2,35 ± 0,12	27,71 ± 3,74	208,36 ± 42,25	1,97 ± 0,73	0,97 ± 0,23	6,28 ± 1,45	0,07 ± 0,03
Bayaka	Ng1	1,74 ± 0,32	1,46 ± 0,13	36,24 ± 9,75	168,46 ± 31,47	1,38 ± 0,46	1,26 ± 0,42	11,23 ± 1,82	0,04 ± 0,01
	Ng2	2,63 ± 0,73	2,31 ± 0,82	44,37 ± 8,61	262,71 ± 29,38	1,97 ± 0,22	1,43 ± 0,73	18,47 ± 2,14	0,03 ± 0,01
	Ng3	1,86 ± 0,09	0,89 ± 0,07	36,81 ± 7,27	187,44 ± 25,76	1,74 ± 0,67	1,25 ± 0,39	13,93 ± 1,37	0,03 ± 0,01
	Ng4	4,14 ± 1,31	1,78 ± 0,13	41,36 ± 9,53	295,56 ± 58,37	1,92 ± 0,84	1,72 ± 0,81	15,48 ± 2,71	0,11 ± 0,04
	Ng5	1,72 ± 0,08	1,24 ± 0,58	28,32 ± 7,49	271,28 ± 42,94	1,37 ± 0,28	1,67 ± 0,70	14,68 ± 2,62	0,06 ± 0,01
	Ng6	4,83 ± 1,42	2,64 ± 0,91	46,27 ± 9,82	366,15 ± 78,39	1,86 ± 0,74	1,94 ± 0,86	19,46 ± 3,24	0,08 ± 0,03
FAO/OMS		1,3	-	40	60	0,5	0,1	0,3	0,001

X : Concentration moyenne de triplicata, exprimée en ppm (mg kg<sup>-1</sup>)

SD : Ecart type, moyenne de 3 réplicas.

Ko1-Ko3 et Ko4-Ko6 : Échantillons pris du marché du camp Kokolo pendant la saison sèche et de pluie, respectivement.

Ba1-Ba3 et B4-B6: Échantillons pris du marché de Bandalungwa pendant la saison sèche et de pluie, respectivement.

Ki1-Ki3 et Ki4-Ki6 : Échantillons pris du marché de Kitambo pendant la saison sèche et de pluie, respectivement.

Ng1-Ng3 et Ng4-Ng6 : Échantillons pris du marché de Ngiri-Ngiri (Bayaka) pendant la saison sèche et de pluie, respectivement.

FAO/OMS : Valeurs limites recommandées par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour la consommation humaine des légumes.

Les teneurs des métaux toxiques dans les feuilles d'amarantes ont été comparées à celles de la réglementation internationale pour la consommation humaine des légumes, établies par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation

Mondiale de la Santé (FAO/OMS, 2007) afin d'évaluer les risques pour la santé humaine des consommateurs. D'une manière générale, les valeurs des concentrations des métaux dans les échantillons d'amarantes prélevés dans tous les marchés en étude dépassent celles recommandés par FAO/OMS (FAO/OMS, 2007). Les concentrations des métaux toxiques dans les feuilles variaient significativement selon les sites d'échantillonnage et les variations saisonnières ( $P < 0,05$ ). La culture d'amarante est réalisée dans plusieurs endroits de la ville. Toutefois dans la plupart des cas, elle se fait dans les municipalités périurbaines le long des cours d'eau et proches des routes à fort trafic. La contamination d'amarante par les métaux toxiques pourrait ainsi être attribuée par plusieurs facteurs notamment (i) l'absorption et accumulation par les stomates des métaux provenant de l'utilisation d'eaux usées urbaines non traitées dans l'arrosage. Ces eaux proviennent souvent des rivières, des puits et des canaux de drainages des eaux usées urbaines très polluées (Kayembe *et al.*, 2018 ; Kapembo *et al.*, 2019) ; (ii) l'utilisation des pesticides, des fongicides, et des engrais chimiques mais aussi des engrais verts (fientes, bouses et *Tithonia diversifolia*) ayant accumulés des fortes teneurs des métaux toxiques (Ngweme *et al.*, 2020 ; 2021b, 2021b) ; (iii) les émissions à partir des véhicules et des motos dont les carburants contiennent des métaux toxiques (Pb, Cd, Zn, Cr et Hg) susceptibles d'être libérés dans l'air suite à la combustion de carburant.

## 2.2. Évaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'amarante

Les concentrations des métaux toxiques dans les échantillons analysés des feuilles d'amarante ont été comparées avec les valeurs des normes de la réglementation internationale pour la consommation humaine établie par la FAO/OMS (Tableau 1). Les valeurs maximums autorisées (en mg kg<sup>-1</sup>) par FAO/OMS sont 1,3 (Cr), 40 (Cu), 60 (Zn), 0,1 (As), 0,2 (Cd), 0,3 (Pb) et 0,001 (Hg). D'une façon générale, les résultats montrent que les concentrations des métaux dans les feuilles d'amarante dépassent largement dans plusieurs cas les valeurs fixées par FAO/OMS. Le cas de Hg est

très évident. Bien que le Hg présente des faibles concentrations dans les feuilles d'amarante, sa valeur est au minimum 30 fois supérieure à la valeur limite autorisée par FAO/OMS. Le Hg est le métal le plus dangereux en raison de sa forte toxicité et de son potentiel de bioamplification et bioaccumulation dans la chaîne alimentaire. Sa concentration observée dans les échantillons d'amarante peut ainsi avoir des effets très nocifs sur la santé humaine. D'autre part, le quotient de risque ciblé (QRC) a été calculé pour évaluer les risques potentiels pour la santé humaine associés à la consommation d'amarante contaminée par les métaux toxiques analysés. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 2. Le quotient de risque ciblé (QRC) pour la consommation d'amarante contaminés des métaux toxiques.

Métaux toxiques	Dose de référence (mg/per/kg/jour)	Quotient de Risque Ciblé (QRC)			
		Kokolo	Kitambo	Bandal	Bayaka
<b>Cr</b>	0,0030	0,896	0,621	0,948	0,952
<b>Co</b>	0,00030	2,634	2,427	1,483	0,874
<b>Cu</b>	0,0400	0,574	1,327	0,735	0,668
<b>Zn</b>	0,300	6,822	4,362	5,653	3,465
<b>As</b>	0,0003	0,467	0,265	0,461	0,542
<b>Cd</b>	0,0010	1,936	0,768	0,936	1,620
<b>Pb</b>	0,0040	3,654	0,964	3,721	2,764
<b>Hg</b>	0,0001	0,500	0,400	0,600	0,600

Les résultats indiquent que les valeurs obtenues de QRC pour chaque métal étaient dans la majorité des cas supérieure à 1, signifiant ainsi les risques potentiels non négligeables de la consommation régulière d'amarante pour la santé humaine. Pour tous les sites (marchés) échantillonnés, le Zn présente les valeurs de QRC les plus élevées et l'As les plus faibles. Le Zn est un oligoélément essentiel pour de nombreuses fonctions métaboliques et enzymatiques chez l'homme, telles que la croissance et le développement, la fonction neurologique, la maturation testiculaire, la cicatrisation des plaies et la compétence immunitaire. C'est l'un des métaux considérés comme les moins toxiques pour l'homme, et les problèmes de carence sont plus fréquents et plus graves que ceux de la toxicité. La carence à Zn peut entraîner

un retard de croissance, une perte de goût et une éventuelle diminution de l'infertilité (Suami et al., 2018 ; Mukeba et al., 2020a ; 2020b). La toxicité du Zn dans l'organisme humain est rare, néanmoins, il peut exercer une certaine toxicité à des doses plus élevées. Au contraire, l'As n'est pas un élément essentiel pour l'organismes humain. L'arsenic et ses composés sont classés par le Centre international de la recherche sur cancer (CIRC) comme éléments hautement dangereux pour l'homme même à des très faibles concentrations. Selon le CIRC, l'exposition à l'As par la consommation alimentaire même à des faibles concentrations peut avoir des effets très nocifs et cancérigène pour la santé humaine (Mukeba et al., 2021).

## 2.3. Corrélation de Pearson entre les métaux toxiques

L'approche statistique par la corrélation de Pearson a été réalisée dans les échantillons du marché Kokolo qui présentent les plus fortes concentrations à métaux toxiques sauf pour le Cd. Le but principal est de savoir si les métaux

toxiques qui contaminent les feuilles d'amarante proviennent des mêmes sources ou des sources différentes. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 3. Matrice de corrélation de Pearson de teneur en métaux toxiques dans les feuilles d'amarante provenant du marché Kokolo.

	Cr	Co	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
Cr	1,00	0,7	0,96	0,82	0,83	0,91	0,57	0,42
Co		1,00	0,25	0,94	0,63	0,59	0,62	0,45
Cu			1,00	0,36	0,94	0,62	0,86	0,33
Zn				1,00	0,75	0,83	0,76	0,27
As					1,00	0,93	0,99	0,36
Cd						1,00	0,97	0,48
Pb							1,00	0,25
Hg								1,00

A part le Hg, tous les métaux toxiques analysés (Cr, Co, Cu, Zn, Cd, As, Pb) sont significativement et positivement corrélés. Cr présente une forte corrélation positive avec Cu, et Cd. Une forte corrélation positive se réalise entre Co et Zn, Cu et As et entre Co et Cd. Une forte corrélation positive est également observée entre Cu et Pb, Zn et Cd et As et Pb. Le Cd présente une forte avec le Pb ( $r = 0,97$ ,  $p < 0,001$ ), ce qui traduit le dépôt du trafic routier sur le milieu environnant et l'accumulation subséquente sur les feuilles d'amarante. Il y avait une corrélation significative observée entre Co et Zn, ce qui suggère d'éventuelle application d'engrais chimiques et son impact sur la contamination des feuilles d'amarante (Ndiaye, 2009 ; Ngweme *et al.*, 2021a ; 2021b).

### Conclusion

Cette étude examine les concentrations des métaux toxiques dans les feuilles d'amarante afin d'évaluer les risques associés à la santé des consommateurs. Les résultats indiquent qu'en général, les feuilles d'amarante échantillonnées dans les 4 marchés sélectionnés sont fortement contaminées par les métaux toxiques notamment Cr, Co, Cu, Zn, Cd, As, Pb et Hg. Les concentrations de ces métaux dépassent dans la plupart

des échantillons les valeurs limites maximums recommandées par la FAO/OMS. La contamination peut s'expliquer par les eaux d'arrosage, les produits chimiques utilisés pour combattre et prévenir les maladies, et les émissions des véhicules et des motos dans les champs situés à proximité des grands axes routiers. De ce fait, les résultats de cette étude recommandent fortement le contrôle et la limitation de l'utilisation de composés chimiques et des pesticides inconnus dans l'agriculture urbaine afin de réduire les risques potentiels pour la santé humaine. De plus, comme bon nombre de ces cultures sont principalement pratiquées le long des routes à fort trafic, la relocalisation de ces sites est recommandée afin de réduire les dépôts d'émissions de véhicules et de motos sur les cultures maraichères. Sur la base des résultats de cette étude, les auteurs recommandent des études périodiques plus détaillées pour surveiller la teneur en métaux toxiques et d'autres composés chimiques dans les légumes cultivés et vendus à Kinshasa pour prédire de manière réaliste les risques associés à la santé humaine.

### Conformité aux normes éthiques et conflits d'intérêt

Nous confirmons que les études de terrain

n'ont pas impliqué d'espèces menacées et protégées. Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

## RÉFÉRENCES

- Ali, MHH., Al-Qahtani, MK. 2012. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 38, 31–37.
- Azi, F., Odo, MO., Okorie, PA., *et al.* 2018. Heavy metal and microbial safety assessment of raw and cooked pumpkin and *Amaranthus viridis* leaves grown in Abakaliki, Nigeria. *Journal of Food Science and Nutrition*, 6, 1537-1544.
- Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A. 2012. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*, 51, 637-663.
- FAO, 1985. Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm> (accès 25 Juillet 2021).
- FAO/WHO. 2000. Evaluation of certain food additives and contaminants. Geneva. World Health Organization. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. vol. 859. World Health Organization Technical Report Series. pp. 29–35.
- FAO/WHO. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Geneva, World Health Organization, 2003 (WHO Technical Report Series, No. 916).
- FAO/WHO. 2004. Fruit and Vegetables for Health. <http://www.fao.org/3/a-y5861e.pdf> (access 12 September, 2019).
- FAO/WHO. 2004. Summary of evaluations performed by the joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA 1956e2003). Evaluation of certain contaminants in food: Sixty-fourth report of the joint
- additives. WHO Technical Report Series. No. 930. WHO, Geneva FSA (Food Standard Agency). Metals and other elements in processes fish and fish products. Food Survey Information Sheet 08/06 <http://www.food.gov.uk/science/surveillance>.
- FAO/WHO. 2013. L'horticulture nourrit les villes de la République Démocratique du Congo, [www.fao.org/in-action/fr/page/30](http://www.fao.org/in-action/fr/page/30).
- from Atlantic Coast of Muanda, Democratic Republic of the Congo. *J Food Compos Anal* 73,
- FSA (Food Standard Agency) (2006) Metals and other elements in processes fish and fish products. Food Survey Information Sheet 08/06, <http://www.food.gov.uk/science/surveillance>.
- He, L., Hu, W., Wang, X. 2020. Analysis of Heavy Metal Contamination of Agricultural Soils and Related Effect on Population Health-A Case Study for East River Basin in China, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 1996.
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). (2006). <http://www.fao.org/3/a-at874e.pdf> (access 12 September 2019).
- Kapembo, M.L.; Laffite, A.; Bokolo, M.K.; *et al.* (2016) Evaluation of Water Quality from Suburban Shallow Wells Under Tropical Conditions According to the Seasonal Variation, Bumbu, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Exposure and Health*, 2016, 487-496.
- Kayembe, J.M., Periyasamy, S, Diz Salgado, *et al.* (2018b) Assessment of water quality and time accumulation of heavy metals in the sediments of tropical urban rivers: Case of Bumbu River and Kokolo Canal, Kinshasa City, Democratic Republic of the Congo. *Journal of African Earth Sciences*, v. 147, 536-543.
- Kayembe, J.M.; Thevenon, F; Laffite, A. *et al.* (2018a) High levels of faecal contamination in drinking groundwater and recreational water due to poor sanitation, in the sub-rural neighbourhoods of Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Inter-*



- national Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221, 400-408.
- Khan, MU., Muhammad, S., Malik, RN. 2014. Potential risk assessment of metal consumption in food crops irrigated with wastewater. *Clean – Soil, Air, Water*, 42, 1415-1422.
- Kilunga, P.I, Sivalingam, .P, Laffite, A. et al (2017) Accumulation of toxic metals and organic micro-pollutants in sediments from tropical urban rivers, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Chemosphere* 179, 37-48.
- Laffite, A., Kilunga, PI., Kayembe, J. et al. 2016. Hospital Effluents Are One of Several Sources of Metal, Antibiotic Resistance Genes, and Bacterial Markers Disseminated in Sub-Saharan Urban Rivers. *Frontiers in Microbiology*, 7 (1128). doi:10.3389/fmicb.2016.01128.
- Larras, F., Regiera, N., Planchonb, S. et al. 2013. Physiological and proteomic changes suggest an important role of cell walls in the high tolerance to metals of *Elodea nuttallii*. *Journal of Hazardous Materials* 263, 575–583.
- Lü, H., Cai, Q-Y., , Jones, KC. et al. 2014. Levels of organic pollutants in vegetables and human exposure through diet: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44, 1-33.
- Manzoor, J., harmab, M., Wanic, KA., 2018. Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables: A review. *Journal of plant nutrition*, 41, 1744-1763.
- Mata, HK., Sivalingam, P., Konde, J., et al. 2019. Concentration of toxic metals and potential risk assessment in edible fishes from Congo River in urbanized area of Kinshasa, DR Congo, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, DOI: 10.1080/10807039.2019.1598253.
- Mukeba, FB, Mukoko, BJ, Mutwale, Mpiana, PT., et al. 2020a. Selenium content, antibacterial, antioxidant and anti-sickling activities of *Zanthoxylum gillettii* (De Wild) PG Waterman (*Rutaceae*). *Discovery Phytomedicine*, 7(4), 145–154. <https://doi.org/10.15562/phytomedicine.2020.141>.
- Mukeba, FB., Mukoko, JB., Mayangi, MM., Ngondo, MM., Mpiana, PT, et al. 2020b. Microscopic Features, Mineral Contents, Anti-sickling, Antioxidant and Antibacterial Activities of Stem Bark of *Harungana madagascariensis* Lam. Ex Poirlet (*Hypericaceae*). *European Journal of Medicinal Plants*, 31(20), 33–47. <https://doi.org/10.9734/ejmp/2020/v31i2030355>.
- Mukeba, F.B., Ngondo, MM, Mpiana, PT, et al. 2021. Heavy Metal Content and Physico-Chemical Analyzes of Soils under the Litter of some Medicinal Taxa in the Luki Biosphere Reserve, Democratic Republic of the Congo. *AJEE*, 14(3), 19–35. <https://doi.org/10.9734/ajee/2021/v14i330208>.
- Musibono, DE., Biey, EM., Kisangala, M., et al. 2011. Agriculture urbaine comme réponse au chômage à Kinshasa, République Démocratique du Congo. *Vertigo - La Revue Electronique en Sciences de l'Environnement*, 11, 1-9.
- Mwanamoki, PM., Devarajan, N., Thevenon, F., et al. 2014. Trace metals and persistent organic pollutants in sediments from river-reservoir systems in Democratic Republic of Congo DRC.: Spatial distribution and potential ecotoxicological effects. *Chemosphere*, 111, 485-492.
- Ndiaye, ML., 2009. Impacts sanitaires des eaux d'arrosage de l'agriculture urbaine de Dakar (Sénégal). *Terre et Environnement*, 86, 100pp.
- Ngweme, G., Al Salah, D., Laffite, A., et al. 2021a. Occurrence of organic micropollutants and human health risk assessment based on consumption of *Amaranthus viridis*, Kinshasa in the Democratic Republic of the Congo. *Science of the Total Environment* 754 (2021) 142175.
- Ngweme, G., Atibu, E., Al Salah, D., et al. 2020. 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 En-*

- vironment 2 (2020) 16-24.
- Ngweme, G., Konde, G., Laffite, A., *et al.* 2021b. Contamination levels of toxic metals in marketed vegetable (*Amaranthus Viridis*) at Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *J Food Sci*, 7, 087.
- Suami, R.B., Sivalingam P, Kabala CD. *et al.* 2018. Concentration of heavy metals in edible fishes from Atlantic Coast of Muanda, Democratic Republic of the Congo. *J Food Compos Anal* 73, 1–9.
- Tshibanda, JB., Devarajan, N., Birane, N. *et al.* 2014. Microbiological and physicochemical characterization of water and sediment of an urban river: N'Djili River, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 3–4, 47-54.
- UN-Water, 2018. SDG 6 Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation; Nations, U.: New York, 2018.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) 1989. Risk assessment guidance for
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2018. Regional Screening Level (RSL) Summary Table. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>
- WHO/FAO, 2003. Report of the 24 session of the codex committee on nutrition and foods for special dietary uses. joint fao/who food standards programme codex alimentarius commission. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- WHO/UNICEF. 2017. Progress in Drinking Water and Sanitation: Update and SDG Baseline; World Health Organization (WHO) and United Nations Children's Fund (UNICEF): Geneva, Switzerland and New York City, NY, USA.

