

Feuilles de Manioc (*manihot esculenta crantz*) Cultivées sur les Sols de Moanda Riche en Manganèse, Risques et Conséquences pour Santé des Consommateurs

[Cassava Leaves (*manihot esculenta crantz*) Grown on the Soils of Moanda Rich in Manganese, Risks and Consequences for Consumer Health]

Stéphane Mombo¹⁻², Norbert Ondo Zue Abaga³, Albert Novy Messi Me Ndong⁴, Éphrem Nzengue⁵, Alexis Nicaise Lepengue¹, Dhert Souviens Ontod Tshi Tshi¹, Aurélien Mokéa-Niaty¹, Yaëlle Christie Massounga⁷, Alain Souza¹, and Camille Dumat²⁻⁶

¹Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes, Unité de Recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

²Réseau-Agriville, Gabon

³Laboratoire de Paléobiodiversité, Paléoenvironnement et Pétrologie, Unité de Recherche en Sciences de la Terre et de l'Environnement (URSTE), Université des Sciences et Techniques de Masuku, BP 913, Franceville, Gabon

⁴Laboratoire de Chimie des Matériaux Inorganiques, Département de Chimie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

⁵Institut de Recherche en Écologie Tropicale (IRET), Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Technologique (CENAREST), BP: 13345, Libreville, Gabon

⁶Centre d'Etude et de Recherche Travail Organisation Pouvoir (CERTOP), Axe Transition Ecologique, UMR5044, Université J. Jaurès - Toulouse II, France

⁷Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies (INSAB), Université des Sciences et Technique de Masuku (USTM), Gabon

Copyright © 2026 ISSN Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In the city of Moanda, where one of the world's largest manganese (Mn) deposits is located, the soils are very rich in manganese, which promotes the transfer of Mn from the soil to the various organs of fruits and vegetables that are grown near the manganese plateaus. Cassava is widely cultivated and consumed daily by the population of this region of Gabon. These cassava leaves pose a moderate but not negligible risk to the people who consume them daily. This study was conducted to assess the health risks to the population of this region who regularly consume cassava leaves. Manganese (Mn) concentrations in cassava leaves were measured at four sites in Moanda (La Gare, Leyima, L'Alliance, and L'Oasis), which have relatively high levels in the soil. The results show high concentrations of manganese in cassava leaves, concentrations above regulatory limits with a maximum of 48200 µg.kg⁻¹. The risk factor calculation indicates that these concentrations represent a moderate but not negligible risk factor for the health of the inhabitants of Moanda who regularly consume cassava leaves.

KEYWORDS: Manganese, cassava, absorption, potassium, health risk.

RESUME: Dans la ville de Moanda où se trouve l'un des plus grands gisements mondiaux de manganèse (Mn), les sols sont très riches en manganèse, ce qui favorise le transfert de Mn du sol vers les différents organes des fruits et légumes qui sont cultivés à proximité des plateaux manganésifères. Des nombreuses cultures de manioc sont cultivées et consommées tous les jours par les populations de cette région du Gabon. Ces feuilles de manioc présentent un risque modéré mais non négligeable pour les populations qui les consomment tous les jours. La présente étude a été réalisée pour évaluer les risques sur la santé des populations de cette région qui consomment régulièrement les feuilles de manioc. Les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc ont été mesurées sur quatre sites à Moanda (La Gare, Leyima, l'Alliance, l'Oasis) qui présentent des teneurs relativement élevées dans le sol. Les résultats montrent des concentrations élevées en manganèse dans les feuilles de manioc, des concentrations au-dessus des concentrations réglementaires avec un maximum de $48200 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Le calcul du facteur de risque indique que ces concentrations représentent un facteur de risque modéré mais non négligeable pour la santé des habitants de Moanda qui consomment régulièrement les feuilles de manioc.

MOTS-CLEFS: Manganèse, feuilles de Manioc, absorption, santé risque.

1 INTRODUCTION

La ville de Moanda au sud-est du Gabon est une région au sol riche en Manganèse (Mn): On retrouve des zones avec des concentrations en Mn dans le sol pouvant atteindre 9200 et $3406 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectivement en Mn total et Mn biodisponible [1], des pics de concentration pouvant atteindre $17956 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ont déjà été mesurés [2]. Dans cette ville minière, les plateaux manganésifères concentrent environ 25 % des réserves mondiale en Mn (Figure 1) avec deux principaux gisements [3], [4]. Le Gabon est le deuxième producteur Africain de manganèse après l'Afrique du Sud [5], le manganèse représente 19 % des ressources totales africaines [6]. Les concentrations élevées en Mn dans les sols de Moanda constituent un risque d'exposition pour les populations qui consomment les feuilles de manioc dans cette région.

Le manioc (*Manihot esculenta*, Crantz) est une plante largement cultivée à Moanda du fait de sa forte consommation par les populations, les feuilles de manioc aussi bien que les tubercules sont consommés. C'est une plante classée parmi les aliments de base des populations gabonaises. Cette plante peu exigeante, est capable de pousser sur des sols pauvres [7]. Le manioc se retrouve dans la quasi-totalité des champs des populations des Moanda, on retrouve les feuilles de manioc dans tous les marchés de Moanda. En effet, c'est un aliment qui est très accessible du fait de son faible coût avec un apport énergétique considérable, jusqu'à 1038,84 calorie/j/personne [8].

Le manganèse est un oligoélément très important pour les végétaux [9]; il participe à plusieurs réactions métaboliques qui favorisent la croissances des plantes [10]. Cependant, à forte concentration, il peut être toxique et favoriser des effets négatifs [11], [12]. Pour les feuilles de manioc culture essentielle dans l'alimentation à Moanda, il n'y actuellement pas d'études disponibles sur les conséquences sanitaires de ces dernières lorsqu'elles sont cultivées sur les sols riches en Mn et consommées quotidiennement par les populations. Les objectifs de cette étude sont de mesurer les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc cultivées à Moanda, organes largement consommés dans cette région afin d'évaluer les risques encourus par les populations qui les consomment régulièrement.

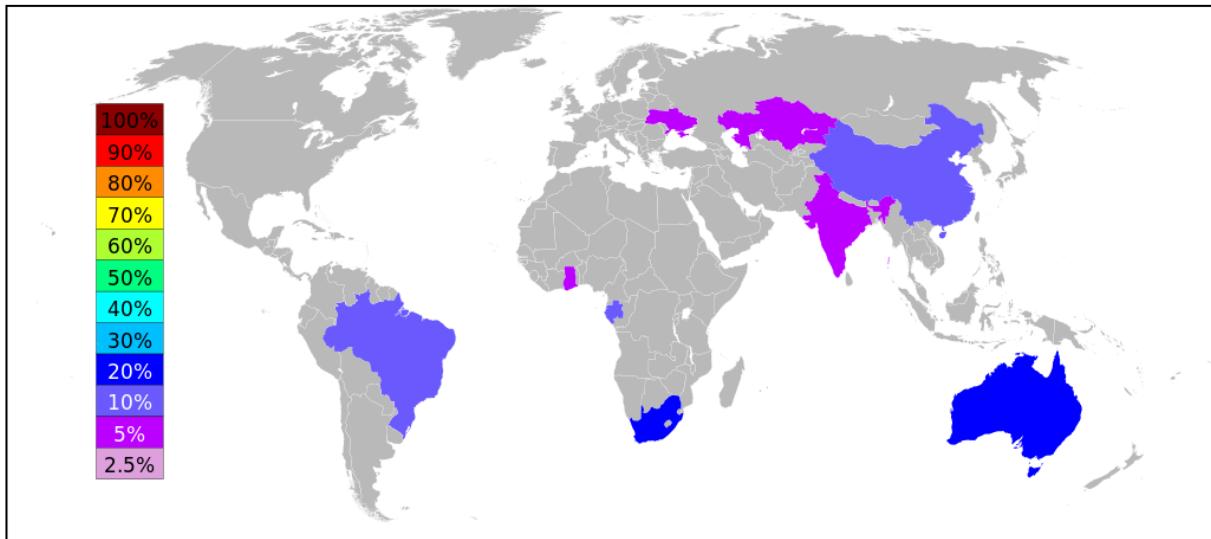


Fig. 1. Pourcentage de manganèse exporté par pays en 2006 dans le monde (Lisa A, 2009)

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé pour cette étude est le manioc (*Manihot esculenta*, Crantz). Les boutures de manioc ont été achetées au marché potos de Franceville. Elles correspondent à des tiges de 30 cm à 50 cm de longueur, contenant 10 à 20 nœuds (Photos 1).



Photo 1. Boutures de manioc prête à être mise en terre pour culture

2.2 CULTURE DES PLANTES DE MANIOC

Quatre sites expérimentaux ont été choisis à Moanda à proximité des champs déjà présent sur place, la distance entre les 4 sites est d'environ 5 km.

Pour chaque site, 3 blocs de 20 boutures de manioc ont été cultivés sur un terrain préalablement aménagé. Les cultures ont été réalisées selon les techniques qui recommande une couverture complète des boutures de manioc en position horizontale dans le sol. Les plantes ont été naturellement irriguées par les pluies, ce qui correspond à une fréquence de précipitation comprise en 1800 et 3500 mm.an⁻¹ [13]. Les sites ont été maintenus par contrôle constant des mauvaises herbes toutes les 3 semaines, pendant 14 mois correspondant à la maturité générale des plantes.

2.3 COLLECTION D'ÉCHANTILLONS ET DOSAGE MINÉRAL

Les feuilles de manioc ont été récoltées et ensachées avant d'être transportées au laboratoire. Au total, vingt-quatre (24) sacs, soit six (6) sacs par site, ont été constitués.

Afin de déterminer les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc et ensuite d'évaluer les risques pour la santé humaine, les échantillons ont été soigneusement lavés pour éliminer la poussière comme cela se fait couramment pour la consommation humaine [14], [15]. Puis les échantillons ont ensuite été rincés à l'eau du robinet pendant 30 secondes, avant d'être immersés dans deux bains d'eau distillée pendant 1 min et rincés encore une fois avec de l'eau distillée [16]. Les échantillons ont ensuite été séchés pendant 72 h à 70 °C à l'étuve (JP SELECTA, 56491, France). Après séchage, les feuilles de manioc ont été broyées. Deux (2) grammes de chaque échantillon ont été prélevés, placés dans un bêcher et minéralisés par addition de 20 ml d'acide sulfurique et 5 ml de peroxyde d'hydrogène. Les bêchers ont ensuite été chauffés dans de l'eau bouillante jusqu'à ce que la minéralisation soit totale. Tous les bêchers ont ensuite été ajustés avec 50 ml avec l'eau distillée après refroidissement, puis laissé au réfrigérateur pour analyse.

Les concentrations en Mn ont été mesurées par spectrométrie d'émission atomique à l'aide d'un appareil analytique (CIBA CORNING, modèle 410).

2.4 CARACTÉRISTIQUES DES SOLS ET CONCENTRATION EN MN DANS LES DIFFÉRENTS SITES

Les sols ont été échantillonnés de manière aléatoire sur les quatre sites entre 0 et 10 cm de profondeur. Pour chaque site, trois réplicats ont été effectués.

2.4.1 LE PH

La méthode utilisée est celle indiquée dans la norme NF ISO10390 (AFNOR 1994b). La prise d'essai est d'au moins 5 g de sol sec mis dans des tubes auxquels sont ajoutés 5 fois son volume en eau distillée ayant une conductivité inférieure ou égale à 0,2 mS/m à 25° C. Les tubes ont ensuite été agités énergétiquement à 400 tpm pendant 5 min sur une table d'agitation à température ambiante et la suspension est mise à reposer au moins 4 h. Le mélange est agité énergétiquement avant la mesure du pH.

2.4.2 TEXTURE DES SOLS

La granulométrie a été effectuée au laboratoire de Génie civil de l'Université de Sciences et Technique de Masuku. 200 g de sol ont été pesés et mis à l'étuve à 105° C pendant 24 h, 50 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Pendant une semaine, tous les deux jours, le sol était homogénéisé. Puis les sols séchés et placés dans une colonne de tamis de maille décroissante en Inox AFNOR NFX 11504 ont été tamisés à l'aide d'une tamiseuse électrique pendant cinq minutes. Les refus des différentes fractions (gravier, sable, limon et argile) ont ensuite été pesés et le pourcentage de chaque fraction a été déterminé.

2.4.3 ANALYSE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La détermination de la matière organique a été faite par minéralisation sèche (calcination) selon la méthode [17]. L'échantillon de sol a été séché à l'étuve pendant 24 heures à 105°C. Les creusets vides ont été pesés (P_0), puis 2 g de sol séchés ont été ajoutés. Les creusets ont été à nouveau pesés (P_1). Les creusets contenant 2 g de sol ont ensuite été placés dans un four à moufle à 800°C pendant 6 h. Après calcination de la matière organique, les creusets ont été à nouveau pesés (P_2) après refroidissement. Le pourcentage en matière organique a été calculé à partir de l'équation suivante.

$$\% MO = \frac{(P_1 - P_0) - (P_2 - P_0)}{P_1 - P_0} \times 100$$

Avec:

M.O: Matière organique

P0: Poids du creuset à vide.

P1: Poids du creuset avec 2 g de sol

P2: Poids du creuset après calcination de matière organique

2.5 CONCENTRATIONS EN MN DANS LES FEUILLES ET RISQUE POUR LA SANTÉ

Afin d'évaluer les risques sur la santé humaine liés à l'ingestion du Mn par la consommation régulière des feuilles de manioc, l'apport journalier (AJ, $\mu\text{g} \cdot \text{j}^{-1}$) a été déterminé à partir des concentrations en Mn mesurées dans les feuilles de manioc ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). L'équation 1 (Eq. 1) ci-dessous est généralement utilisée pour calculer l'apport journalier du Mn [18], [19], [20], pour les concentrations en Mn dans chaque site de Moanda et la quantité journalière de feuilles de manioc ($\text{g} \cdot \text{j}^{-1}$) consommées. Pour une personne de masse corporelle de 72 kg, la masse moyenne des hommes est de 75 kg et les femmes 69 kg.

$$AJ = \frac{\text{concentration en Mn dans les feuilles de manioc } (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ poids frais}) \times 0.085 \times \text{consommation journalière } (\text{g} \cdot \text{J}^{-1})}{\text{la masse du consommateur } (\text{kg})}$$

Apport journalier de Mn (AJ, $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) par les feuilles de manioc

Les quantités journalières maximales de manioc consommées à Moanda pour évaluer les risques sanitaires et déterminer la Dose Journalière Tolérable (DJT) du manganèse peuvent donc être calculées avec l'équation 2 (Eq. 2):

$$DJT_f = \frac{\text{concentration journalière acceptable } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}}{\text{la concentration en Mn dans les feuilles de manioc } (\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})}$$

DJT_f = Consommation journalière de feuilles de manioc (par kg de poids corporel et par jour)

2.6 ANALYSE STATISTIQUE

Les concentrations pour chaque site ont été considérés comme des répliques. Le traitement statistique a été effectué à l'aide du logiciel R studio 4.4.1. Les concentrations en Mn ont été soumises au test de normalité. Pour la comparaison des différents traitements, une analyse de variance (ANOVA) à un critère d'évaluation a été effectuée sur les différents sites, suivi du test de comparaisons multiples de Tukey lorsque l'hypothèse nulle était rejetée au seuil 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO CHIMIQUES DES SOLS

Le tableau 1 montre les caractéristiques physico-chimiques des sols des quatre sites d'échantillonnage. Tous les sols présentaient un pH acide compris entre 5,65 et 5,72, avec aucune différence significative entre les valeurs de pH des différents sites. Les pourcentages en MO des sols sont sensiblement les mêmes sur les différents sites. Cependant, les teneurs en argile, en limons et sable des sols diffèrent significativement entre certains sites étudiés, ce qui expliquerait l'évolution de la texture qui est sablo-limoneuse pour les sites Leyima et Oasis, et sableuse pour les sites La gare et l'Alliance (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols

	pH _{eau}	MO (%)	Argiles (%)	Limon (%)	Sable (%)	Texture
Leyima	5,66±0,3	14,116±0,4	15,16	16,66	68,17	Sablo-argileuse
Oasis	5,72±0,6	15,72±0,5	14,9	15,83	71,83	Sablo-argileuse
La gare	5,68±0,2	14,133±0,4	8,66	13,66	77,66	Sableuse
L'alliance	5,65±0,4	12,56±0,2	1,5	9,33	89,16	Sableuse

CONCENTRATION EN MN DANS LES FEUILLES DE MANIOC

Les mesures des concentrations en Mn dans les feuilles de manioc donnent des concentrations moyennes comprises entre 43900 de 48200 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Fig. 1).

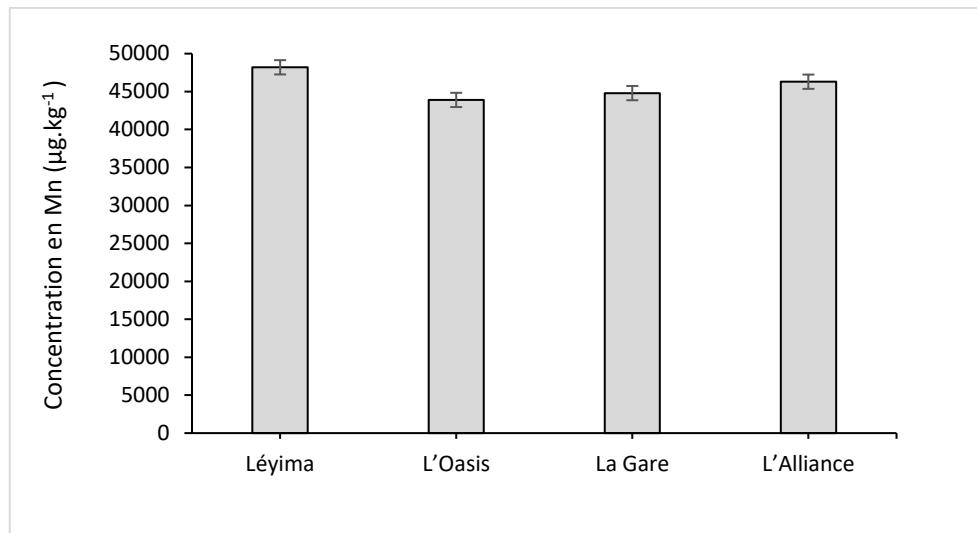


Fig. 2. Concentration en Mn contenue dans les feuilles de manioc en fonction des différentes localités (Leyima, Oasis, la Gare and Alliance) étudiées

FACTEUR DE RISQUE ET EXPOSITION DES POPULATIONS DE MOANDA

Le tableau 2 présente les facteurs de risques d'exposition pour les personnes qui consomment quotidiennement les feuilles de manioc.

DOSE JOURNALIÈRE TOLÉRABLE

Tableau 2. Quantités quotidiennes maximales des feuilles de manioc exposés aux Mn (g.jour⁻¹, poids sec) qui peuvent être consommées sans dépasser l'apport journalier acceptable

Localités	Consommation journalière des feuilles de manioc g.j ⁻¹	Concentrations journalière acceptable de Mn ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$)	Concentration dans les feuilles de manioc ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Apport journalier Mn ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$)	Quantité journalière maximal des feuilles manioc pour un adulte de 71 kg (g.j ⁻¹)	Conclusion : risques potentiels pour la santé
L'Oasis	500	2000 et 5000	43900	25739,4	3,7	Risques modérés d'exposition
La Gare			44800	26338	3,6	
Léyima			48200	28732,3	3,3	
L'Alliance			46300	27535,2	3,5	

4 DISCUSSION

LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS, CONCENTRATION EN MN

A Moanda, les sols sont acides, le pH pour tous les sites est au tour de 5. La texture des sols est sablo-limoneuse pour les sites Leyima et Oasis, et sableuse pour les sites La gare et l'Alliance, avec un faible taux de matière organique (Tableau. 1). La concentration en Mn disponible est variable selon les endroits, elle se situe autour de 3406 mg.kg⁻¹ [1]. Des études ont montré que la concentration en Mn total dans les sols où sont cultivées des cultures maraîchères peut atteindre jusqu'à 17956 mg.kg⁻¹ [2], [21]. Les concentrations en Mn dans un sol considéré comme non pollué varient entre 40 et 900 mg.kg⁻¹ [22] celles considérées comme valeurs d'alertes pour les sols sont de 1500 mg.kg⁻¹, et les concentrations qui représentent les valeurs d'interventions 2500 mg.kg⁻¹ [23]. Les concentrations en Mn que l'on retrouve dans les sols de Moanda sont 19 à 450 fois au-dessus des limites acceptables réglementées, 20 fois au-dessus des valeurs d'alertes et 7 fois au-dessus des valeurs d'interventions [24]. Le sous-sol de Moanda est naturellement riche en Mn, l'exploitation de la mine de manganèse favorise

l'augmentation des concentrations en Mn biodisponible dans les sols de la ville et l'agglomération par le transfert atmosphérique [16]. Le labour des champs de manioc par les agriculteurs avant l'exploitation, le pH acide et la faible quantité de matière organique pourraient favoriser le transfert du Mn du sol vers la plante et donc vers les feuilles de manioc organes largement consommés populations [9], [25]. Ces fortes concentrations en Mn dans les sols constituent un sérieux risque d'exposition pour les consommateurs réguliers des feuilles de manioc dans cette région.

RISQUE DE TRANSFERT SOL-PLANTE

Les concentrations en Mn retrouvées très élevées dans les feuilles de manioc démontrent les risques d'expositions qu'encourent les populations de Moanda qui les consomment régulièrement. Les concentrations en Mn retrouvées dans les feuilles de manioc pour les 4 sites d'études varient entre 43900 de 48200 $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ avec la plus forte concentration à Léyima et la plus faible à l'Oasis bien qu'ils n'existent pas de différences significatives entre les quatre différents sites. Leyima est le site de culture le plus proche de la mine, la distance entre la mine et les champs pourrait avoir un effet sur les concentrations en Mn retrouvées dans les feuilles de manioc. En effet, une étude a démontré un gradient de concentration croissant en Plomb sur le sol en se rapprochant d'une usine de recyclage de batterie automobile [26]. La direction du vent, le fait qu'on soit en saison de pluie ou non, sont aussi des facteurs non négligeables qui peuvent avoir un rôle important sur les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc. Pendant la saison des pluies, les poussières qui sont sur les feuilles de manioc sont régulièrement nettoyées par les pluies abondantes de cette région. Les concentrations en Mn dans les sols considérés comme toxiques pour les plantes se situent entre 1500 et 3000 mg.Kg^{-1} [23], pour notre étude les concentrations retrouvées dans les sols sont bien au-dessus générant une toxicité avérée pour les plantes de manioc. Le pH du sol acide facilite la mobilité du Mn dans la solution du sol et ainsi son transfert vers ses différents organes. Selon [24], les sols acides se lessivent plus vite favorisant la phytodisponibilité du Mn comparativement aux sols avec des pH neutres et basiques. Le faible pourcentage de matière organique va limiter les liaisons entre ces dernières et le Mn, favorisant leurs transferts vers le manioc [27]. A Moanda, une étude sur 10 plantes potagères cultivées dans différents jardins a montré que 2 plantes l'oseille et le manioc avaient des concentrations supérieures à 1000 mg.Kg^{-1} dans leur feuilles [2] qui correspond à la concentration de Mn considérée comme toxiques pour les végétaux [28].

La consommation quotidienne moyenne de des feuilles de manioc pour un adulte de masse moyenne: 69 kg peut être variable selon les pays. En Afrique, elle varie entre 30 et 500 g par personne et par jour; en Afrique central, elle représente entre 7 et 35 % d'apport en protéines total [29], [30], [31]. Au Gabon la quantité journalière moyenne des feuilles de manioc consommée par personne n'est pas connue, nous pouvons supposer qu'elle est approximativement égale à celle du Cameroun et Congo pays voisins avec quasiment les mêmes habitudes alimentaires où elle varie entre (30 et 500 g.j^{-1}) [32].

TOXICITÉ HUMAINE EXPOSITION DES POPULATIONS DE MOANDA

Les populations de Moanda et des environs qui consomment quotidiennement les feuilles de manioc encourent finalement des risques modérés d'exposition au Mn comme l'indique le calcul de risque d'exposition (Tableau 2). Les sociétés de nutrition d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse recommandent un apport de journalier de manganèse entre 2000 et 5000 $\mu\text{g.j}^{-1}$ pour les adultes et les enfants de plus de 10 ans [33], [34]. A Moanda, les apports journalier de Mn peuvent atteindre jusqu'à 29565.2 $\mu\text{g.kg}^{-1}\text{j}^{-1}$. Ce qui est dans l'intervalle des concentrations admissibles et constitue un risque modéré d'exposition pour les populations qui consomment les feuilles de manioc quotidiennement. On peut supposer que le transfert atmosphère-plante qui s'effectue par l'air a un impact important sur l'augmentation de la concentration dans les feuilles pouvant aller jusqu'à 12% de la surfaces des stomates [35] a un impact modéré. La forte pluviométrie dans la région de Moanda pourrait en être l'une des raisons. Bien que les populations de Moanda consommant régulièrement les feuilles de manioc dépassent modérément la dose journalière admissible, comme indiqué dans le Tableau 2. Le fait de consommer régulièrement pourrait favoriser l'accumulation du Mn dans les organes comme les os ou la demi-vie est plus longue. La demi-vie du Mn dans les os est variable, elle varie 77 et 429 jours respectivement dans le fémur ou humérus elle peut aller jusqu'à 9 ans [36], [37], ce qui favorise le risque d'accumulation. Les concentrations dans les tubercules de manioc qui sont eux dans le sol pourraient certainement être plus importantes. Ces dernières doivent aussi être mesurées afin d'évaluer les réels risques d'exposition car le plus souvent, les feuilles de manioc sont consommées avec les tubercules de manioc. D'autres paramètres comme les concentrations en Mn dans l'air, ainsi que dans l'eau que consomme les populations de Moanda doivent aussi être prises en compte pour avoir le réel risque d'exposition et les concentrations réelles du Mn dans les organismes des populations de cette région.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les populations de Moanda qui consomment les feuilles de manioc quotidiennement présentent un risque modéré d'exposition au Mn en dépit des concentrations très élevées que l'on retrouve dans les sols. La consommation additionnelle d'autres aliments concentrés en Mn pourrait considérablement augmenter le facteur de risque et ainsi augmenter l'exposition des populations de cette localité. Il serait judicieux de prendre en compte l'ensemble des aliments cultivés sur ces sols et majoritairement consommés pour réévaluer le calcul du facteur de risque.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien des agricultrices de Moanda pour le désherbage des sites. Au Dr André MULUWAY KALENDA et toute l'équipe du laboratoire de physiologie végétale de l'USTM. Un grand merci au Réseau international d'innovations pédagogiques et de recherches participatives pour les agricultures urbaines (Agriville), pour l'ensemble d'informations accessible sur leur site (<https://reseau-agriville.com/>).

REFERENCES

- [1] F. Eba, J. A. Ondo, S. Emane Mba, M. Ollui-M'boulou, and J. Omva-Zue, «Taux de manganèse accumulé dans quelques plantes vivrières cultivées dans la région manganésifère de Moanda (Gabon),» *J. la Société uest-africaine Chim.*, vol. 023, no. 23, pp. 69–74, 2007.
- [2] J. Aubin Ondo, F. Eba, R. Menye Byogo, P. Prudent, M. Ollui-Mboulou, and J. Omva-Zue, «Characteristics of a manganese-rich soil and metal accumulation in edible parts of plants in the region of Moanda, Gabon,» *African J. Agric. Res.*, vol. 9, no. 25, pp. 1952–1960, 2014, doi: 10.5897/AJAR11.2082.
- [3] J. A. Ondo *et al.*, «Accumulation of soil-borne aluminium, iron, manganese and zinc in plants cultivated in the region of Moanda (Gabon) and nutritional characteristics of the edible parts harvested,» *J. Sci. Food Agric.*, vol. 93, no. 10, pp. 2549–2555, 2013, doi: 10.1002/jsfa.6074.
- [4] E. Nzengué *et al.*, «Effets des Terrils de Manganèse de la Mine de Moanda (Gabon) sur Quelques Caractères Morphométriques de l'Arachide (*Arachis hypogea L.*),» 2019.
[Online]. Available: <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>
- [5] C. Clarke and S. Upson, «A global portrait of the manganese industry—A socioeconomic perspective,» *Neurotoxicology*, vol. 58, pp. 173–179, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.NEURO.2016.03.013.
- [6] X. Guo, Y. Lu, Q. Zhang, J. Ren, and W. Cai, «The Geological Characteristics, Resource Potential, and Development Status of Manganese Deposits in Africa,» *Minerals*, vol. 14, no. 11, 2024, doi: 10.3390/min14111088.
- [7] S. Mombo and C. Dumat, Jardins nourriciers urbains à Libreville (Gabon) : opportunités pour les citoyens de développer les liens santé-environnement, vol. 1. Toulouse, 2023. Accessed: Jul. 12, 2024.
[Online]. Available: <https://www.decitre.fr/livres/agricultures-urbaines-en-afrique-subsaharienne-francophone-et-a-madagascar-9782810712472.html#resume>.
- [8] S. Mombo, C. Dumat, M. Shahid, and E. Schreck, «A socio-scientific analysis of the environmental and health benefits as well as potential risks of cassava production and consumption,» *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 6, pp. 5207–5221, 2017, doi: 10.1007/s11356-016-8190-z.
- [9] R. Millaleo, M. Reyes- Diaz, A. Ivanov, M. Mora, and M. Alberdi, «Manganese As Essential and Toxic Element for Plants: Transport, Accumulation and Resistance Mechanisms,» *J. soil Sci. plant Nutr.*, vol. 10, no. 4, pp. 470–481, 2010, doi: 10.4067/S0718-95162010000200008.
- [10] A. L. Smythers *et al.*, «Excess manganese increases photosynthetic activity via enhanced reducing center and antenna plasticity in *Chlorella vulgaris*,» *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–14, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-35895-x.
- [11] F. Kanwal, A. Riaz, S. Ali, and G. Zhang, «NRAMPs and manganese: Magic keys to reduce cadmium toxicity and accumulation in plants,» *Sci. Total Environ.*, vol. 921, p. 171005, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2024.171005.
- [12] M. Campagna, R. G. Lucchini, and L. Alessio, «Manganese Toxicity,» *Encycl. Met.*, pp. 1303–1308, Jul. 2023, doi: 10.1007/978-1-4614-1533-6_265.
- [13] Z. Menié Ovono and P. Pottier, «Le risque inondation dans les petits bassins-versants côtiers urbains de Libreville (Gabon) : exemple d'Ogombié et d'Indongui,» 2019.
- [14] G. Uzu, S. Sobanska, G. Sarret, M. Muñoz, and C. Dumat, «Foliar Lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts,» *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, no. 3, pp. 1036–1042, 2010, doi: 10.1021/es902190u.

- [15] T. Xiong, T. Leveque, M. Shahid, Y. Foucault, S. Mombo, and C. Dumat, «Lead and Cadmium Phytoavailability and Human Bioaccessibility for Vegetables Exposed to Soil or Atmospheric Pollution by Process Ultrafine Particles,» *J. Environ. Qual.*, vol. 43, no. 5, p. 1593, 2014, doi: 10.2134/jeq2013.11.0469.
- [16] T. T. Xiong *et al.*, «Kinetic study of phytotoxicity induced by foliar lead uptake for vegetables exposed to fine particles and implications for sustainable urban agriculture,» *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 46, pp. 16–27, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.jes.2015.08.029.
- [17] D. Baize, *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)*. France: Editions Quae, 1997. Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: http://books.google.fr/books?id=w5eal_GfYxQC.
- [18] Y. J. Cui *et al.*, «Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China,» *Environ. Int.*, vol. 30, no. 6, pp. 785–791, 2004, doi: 10.1016/j.envint.2004.01.003.
- [19] R. K. Sharma, M. Agrawal, and F. M. Marshall, «Heavy metals in vegetables collected from production and market sites of a tropical urban area of India.,» *Food Chem. Toxicol.*, vol. 47, no. 3, pp. 583–91, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.fct.2008.12.016.
- [20] A. Okorie, J. Entwistle, and J. R. Dean, «Estimation of daily intake of potentially toxic elements from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing.,» *Chemosphere*, vol. 86, no. 5, pp. 460–7, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.09.047.
- [21] N. A. N. Messi-Me, «Impact des éléments traces métalliques sur les plantes alimentaires de la ville minière de Moanda (Gabon). Cas du Manihot esculenta Crantz,» *These Dr. en Chim. inorganique, Spec. Chim. l'environnement. Univ. Sci. Tech. Masuku*, vol. 2018/EDSFA, p. 132, 2018.
- [22] B. T. Pavilonis *et al.*, «Manganese concentrations in soil and settled dust in an area with historic ferroalloy production,» *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 25, no. 4, pp. 443–450, 2015, doi: 10.1038/jes.2014.70.
- [23] C. Dinu *et al.*, «Soil and vegetation pollution from an abandoned mining area situated in Hunedoara County, Romania,» *Rev. Chim.*, vol. 69, no. 1, pp. 14–20, 2018, doi: 10.37358/rc.18.1.6036.
- [24] R. G. Mihaileanu *et al.*, «Assessment of heavy metals (total chromium, lead, and manganese) contamination of residential soil and homegrown vegetables near a former chemical manufacturing facility in Tarnaveni, Romania,» *Environ. Monit. Assess.*, vol. 191, no. 1, 2019, doi: 10.1007/s10661-018-7142-0.
- [25] R. Daulta, M. Prakash, and S. Goyal, «Metal content in soils of Northern India and crop response: a review,» *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2022 204, vol. 20, no. 4, pp. 4521–4548, Mar. 2022, doi: 10.1007/S13762-022-03953-Y.
- [26] T. Leveque, Y. Capowiez, E. Schreck, T. Xiong, Y. Foucault, and C. Dumat, «Earthworm bioturbation influences the phytoavailability of metals released by particles in cultivated soils.,» *Environ. Pollut.*, vol. 191, pp. 199–206, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.envpol.2014.04.005.
- [27] M. Tan, L. Liu, M. Zhang, Y. Liu, and C. Li, «Effects of solution chemistry and humic acid on the transport of polystyrene microplastics in manganese oxides coated sand.,» *J. Hazard. Mater.*, vol. 413, pp. 125410–125410, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2021.125410.
- [28] S. Murtic, E. Sahinovic, H. Civic, and J. Jurkovic, «Health risk from heavy metals via consumption of food crops grown on the soils in the vicinity of manganese mine,» *Bulg. J. Agric. Sci.*, vol. 26, no. 2, pp. 452–456, 2020.
- [29] A. Ufuan Achidi, O. A. Ajayi, M. Bokanga, and B. Maziya-Dixon, «The use of cassava leaves as food in Africa,» *Ecol. Food Nutr.*, vol. 44, no. 6, pp. 423–435, Nov. 2005, doi: 10.1080/03670240500348771.
- [30] S. Latif and J. Müller, «Potential of cassava leaves in human nutrition: a review,» *Trends Food Sci. Technol.*, 2015, doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.006.
- [31] M. A. Velázquez-Cedeño, A. M. Farnet, E. Ferré, and J. M. Savoie, «Variations of lignocellulosic activities in dual cultures of *Pleurotus ostreatus* and *Trichoderma longibrachiatum* on unsterilized wheat straw,» vol. 96, no. 4, pp. 712–719, 2017, doi: 10.1080/15572536.2005.11832919. <http://dx.doi.org/10.1080/15572536.2005.11832919>
- [32] S. Latif and J. Müller, «Potential of cassava leaves in human nutrition: A review,» 2015, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.006.
- [33] P. Chen, J. Bornhorst, and M. Aschner, *Manganese metabolism in humans*, vol. 23. 2018. doi: 10.25932/publishup-42743.
- [34] B. Sachse *et al.*, «Dietary Manganese Exposure in the Adult Population in Germany—What Does it Mean in Relation to Health Risks?,» Aug. 01, 2019, Wiley-VCH Verlag. doi: 10.1002/mnfr.201900065.
- [35] T.-T. Xiong *et al.*, «Foliar uptake and metal (loid) bioaccessibility in vegetables exposed to particulate matter.,» *Environ. Geochem. Health*, vol. 36, no. 5, pp. 897–909, Oct. 2014, doi: 10.1007/s10653-014-9607-6.
- [36] S. L. O’Neal *et al.*, «Manganese accumulation in bone following chronic exposure in rats: Steady-state concentration and half-life in bone,» *Toxicol. Lett.*, vol. 229, no. 1, pp. 93–100, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.toxlet.2014.06.019.
- [37] D. Rolle-McFarland *et al.*, «Development of a cumulative exposure index (CEI) for manganese and comparison with bone manganese and other biomarkers of manganese exposure,» *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 7, Jul. 2018, doi: 10.3390/ijerph15071341.