

**Evaluation de la pollution en éléments traces métalliques du sol sur Moringa (*Moringa oleifera* L) et Basilic (*Ocimum basilicum* L.) au Centre de Recherches Géologique et Minière de Niamey au Niger, en Afrique de l'Ouest**

***Mahamane Moustapha Souley Barhadje***

Laboratoire de sciences de sols et dynamique de surface, Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM), Niger. Faculté des Sciences Agronomiques, Université Djibo Hamani de Tahoua (UDH), Niger

***Hama Oumarou***

Faculté des Sciences Agronomiques,  
Université Djibo Hamani de Tahoua (UDH), Niger

***Abdourahamane Tankari Dan Badjo***

Laboratoire de sciences de sols et dynamique de surface,  
Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM), Niger

Doi: 10.19044/esipreprint.2.2025.p85

Approved: 10 February 2025

Posted: 12 February 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Souley Barhadje M.M., Oumarou H. & Dan Badjo A.T. (2025). *Evaluation de la pollution en éléments traces métalliques du sol sur Moringa (*Moringa oleifera* L) et Basilic (*Ocimum basilicum* L.) au Centre de Recherches Géologique et Minière de Niamey au Niger, en Afrique de l'Ouest*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.2.2025.p85>

## **Résumé**

Cette étude conduite au cours de la période du 1<sup>er</sup> juin au 30 août 2024 a pour objectif principal d'évaluer la pollution du sol et des végétaux du Centre de Recherches Géologique et Minière (CRGM) de Niamey par les Eléments Traces Métalliques (ETM). Pour ce faire, des échantillons du sol ont été prélevés à l'entrée, au milieu et à la sortie du centre à trois profondeurs (0-10cm, 10-20cm et 20-30cm) et un témoin. Ensuite, des feuilles de moringa (*Moringa oleifera* L.) et basilic (*Ocimum basilicum* L.) ont été collectées. L'analyse a été réalisée à l'aide du spectromètre à fluorescence x portatif, Niton XL3t pour caractériser les différents contaminants du sol et de ces végétaux. Ainsi, d'après les résultats obtenus, les concentrations dans le sol varient respectivement de 0 ppm (Cu, As, Pb et

Co) à 52,74 ppm (Ni) en zone témoin ; de 4,77 ppm (As) à 101,66 ppm (Pb) à l'entrée ; de 36,2 ppm (Pb) à 282,01 ppm (Co) au centre et de 2,69 ppm (en Pb) à 67,04 ppm (en Co) à la sortie. Le fer, le zinc, l'arsenic, le cobalt et le plomb de concentrations moyennes respectives dans les deux espèces végétales (*Moringa oleifera* L., *Ocimum basilicum* L.) de 229,24 à 291,8 ppm. Ainsi, on note 15,13 à 19,73 ppm ; 0 à 7,89 ppm ; 3,48 à 4,54 ppm et 0 à 50,80 respectivement en fer ; en zinc ; en arsenic, en cobalt et en plomb sur les feuilles de *Moringa oleifera* L. Cette concentration est de 271,03 à 544,03 ppm ; 21,93 à 66,42 ppm ; 16,25 à 48,75 ppm ; 0 à 378,89 ppm en fer ; en zinc ; en arsenic ; et en plomb sur *Ocimum basilicum* L. Ces résultats obtenus démontrent que le sol est plus contaminé en plomb, en arsenic, et en nickel. *Ocimum basilicum* et *Moringa oleifera* sont contaminées en arsenic, en plomb et en zinc. Cette étude renseigne le rejet du CRGM contaminant le sol et les végétaux en ETM destructeurs de l'environnement, et responsables des maladies cancérogènes. Il est donc indispensable de trouver des solutions pour protéger l'Homme et son environnement.

---

**Mots clés :** Contaminants, sol, végétaux, éléments traces métalliques, CRGM, Niamey

---

**Assessment of trace metal pollution in soil on *Moringa*  
(*Moringa oleifera* L.) and Basil (*Ocimum basilicum* L.) at the  
Centre de Recherche Géologique et Minière of Niamey in  
Niger, West Africa**

***Mahamane Moustapha Souley Barhadje***

Laboratoire de sciences de sols et dynamique de surface, Université Abdou  
Moumouni de Niamey (UAM), Niger. Faculté des Sciences Agronomiques,  
Université Djibo Hamani de Tahoua (UDH), Niger

***Hama Oumarou***

Faculté des Sciences Agronomiques,  
Université Djibo Hamani de Tahoua (UDH), Niger

***Abdourahamane Tankari Dan Badjo***

Laboratoire de sciences de sols et dynamique de surface,  
Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM), Niger

---

**Abstract**

The main aim of this study was to assess the contamination of the soil and plants at the Niamey Geological and Mining Research Centre (CRGM) by Trace Metal Elements (TMEs). Soil samples were taken at the entrance,

in the middle and at the bottom of the centre at three depths (0-10cm, 10-20cm and 20-30cm) and a control. Leaves of basil and moringa plants (*Ocimum basilicum* L., *Moringa oleifera* L.) were then collected. The analysis was carried out using the Niton XL3t portable x-ray fluorescence spectrometer to characterise the various soil and plant contaminants. According to the results obtained, soil concentrations ranged from 0 ppm (Cu, As, Pb and Co) to 52.74 ppm (Ni) in the control zone; from 4.77 ppm (As) to 101.66 ppm (Pb) at the entrance; from 36.2 ppm (Pb) to 282.01 ppm (Co) in the centre and from 2.69 ppm (Pb) to 67.04 ppm (Co) at the bottom. The average concentrations of iron, zinc, arsenic, molybdenum and lead in the two plant species (*Ocimum basilicum* L., *Moringa oleifera* L.) were 229.24 to 291.8 ppm; 15.13 to 19.73 ppm; 0 to 7.89 ppm; 3.48 to 4.54 ppm and 0 to 50.80 ppm respectively for iron, zinc, arsenic, molybdenum and lead in *Moringa oleifera* L. This concentration is 271.03 to 544.03 ppm; 21.93 to 66.42 ppm; 16.25 to 48.75 ppm; 0 to 378.89 ppm in Iron; Zinc; Arsenic; and Lead in *Ocimum basilicum* L. These results show that the soil is contaminated with Lead, Arsenic, and Nickel. *Ocimum basilicum* L. and *Moringa oleifera* L. are contaminated with Arsenic, Lead and Zinc. It is therefore essential to find solutions to protect people and their environment.

---

**Keywords:** Contaminants, soil, plants, trace metals, CRGM, Niamey

## Introduction

Les éléments traces métalliques sont présents de façon naturelle dans les sols (Desaules, 2012). Une grande partie de ces métaux découle de l'altération de la roche mère du sous-sol. Toutefois, leurs concentrations augmentent avec les activités humaines telles que les industries, le transport, les pratiques agricoles, les décharges sauvages, les retombées atmosphériques etc (Lv et Liu, 2019). La pollution des sols et des végétaux considérés dans le cadre de cette étude concerne, l'émission industrielle des ETM à partir des activités du laboratoire du centre de recherches géologique et minière. Le centre a pour vocation l'analyse des échantillons des roches, des sols et des eaux issues des processus miniers et domestiques. Lors des travaux d'analyses, le laboratoire produit des polluants gazeux qui à partir de l'atmosphère retombent dans le sol. Ensuite à partir des éventuels transferts naturels (dépôts secs, poussière, précipitation, ruissèlement, irrigation) certains polluants sont absorbés par les plantes. La pollution métallique liée aux industries est un sujet qui a été largement étudié par les chercheurs ayant fait des liens entre les rejets des polluants dans l'environnement et la pollution du sol ainsi que la destruction des végétaux. A titre d'exemples, on peut citer Marafa *et al.* (2019) et Soumaila *et al.* (2024) qui ont montré la contribution des traitements de l'or par la technique semi-artisanale dans la

contamination du sol et le risque sanitaire. En revanche, très peu d'études ont été portées sur les laboratoires qui sont dans les centres urbains qui polluent toutes les composantes environnementales environnantes à partir des rejets incontrôlés des déchets chimiques. De nombreux centres et leurs laboratoires d'analyses de Niamey tels que l'ONPPC, l'INRAN, le CRGM, l'ORIBA, la HANEA, le LABOCEL n'ont pas fait l'objet d'une évaluation de leur degré de contamination de l'environnement. Alors que les rejets des métaux comme le plomb, le cadmium, le nickel, l'arsenic et le zinc qui pourraient compromettre la santé de l'Homme et la fertilité du sol, engendrent la disparition des espèces végétales. Le caractère non renouvelable du patrimoine « sol », à l'échelle des générations humaines, impose de le préserver à cause aussi des services écosystémiques qu'ils rendent, tels que la production alimentaire et de biomasse, la régulation et le filtrage des eaux, l'atténuation et l'adaptation au changement climatique et la conservation de la biodiversité (Barthwal *et al.*, 2008; De et Toulouse, 2012; Lv et Liu, 2019; To et Id, 2014).

C'est dans cette perspective que la présente étude portant sur l'évaluation de la pollution du sol et des végétaux a été conduite au laboratoire du CRGM de Niamey. Les objectifs spécifiques visent à (i) identifier les différents métaux contenus dans le sol et dans deux espèces végétales à savoir *Ocimum basilicum* L. et *Moringa oleifera* L., (ii) déterminer leurs concentrations dans les deux matrices et (iii) évaluer la contribution de ses polluants métalliques aux problèmes sanitaire et environnemental.

## **Matériel et méthodes**

### **Milieu d'étude**

Le Centre de Recherche Géologique et Minière du Niger est implantée dans la commune 4 de la ville de Niamey, entre les latitudes 13°18'30''Nord et 13°46'0''Nord et les longitudes 2°1'0''Est et 2°15'0''Est. A l'Est le centre est limité par la centrale d'électricité (NIGELEC CENTRALE *Gamkalley* 2), à l'Ouest par le siège ORIBA et au Sud-Est par la SONICHAR et la douane (figure 1). Situé sur la rive gauche du fleuve Niger, l'arrondissement repose sur un plateau d'érosion de 250 m environ et surplombe le fleuve par une dénivellation de 20 à 25 m. Dans cette commune, le climat est de type sahélien avec un cumul pluviométrique moyen au cours de la période de 1975-2004 estimé à 500 mm. On rencontre 3 types de sols dans l'arrondissement communal IV. Il s'agit des sols cuirassés n'offrant aucune possibilité agricole du fait de leur faible profondeur, de leur faible perméabilité et surtout de leur extrême aridité (Dan-Badjo *et al.*, 2013). Ils sont soumis à un ravinement profond ; les sols à texture sableuse incluant les sols ferrugineux tropicaux des vallées ensablées

localisés un peu partout dans l'arrondissement. Ils sont utilisés à des fins agricoles pendant l'hivernage et les sols hydromorphes localisés dans les vallées du fleuve qui sont réservés aux cultures irriguées et abritent les vergers de la capitale en raison de leur gradient de fertilité élevé. Les principales activités économiques de la zone d'étude reposent sur l'agriculture, l'élevage, le commerce, le transport et l'artisanat (Dan-Badjo *et al.*, 2013).

L'expérimentation a été conduite au niveau de quatre zones différentes dont l'une à l'extérieur du CRGM (zone témoin) et les trois autres à l'intérieur du CRGM. La zone 1 est à l'extérieur du CRGM de coordonnées longitude et Latitude (WGS 1984) se situant respectivement entre 2°8'1,22964" E et 13°29'34,6686" N. La zone 2, à l'entrée du CRGM, trois points respectivement P1, P2 et P3 (à 10, 20, 30cm chacun) de coordonnées en longitude et latitude (WGS 1984) situées respectivement entre 2°8'0,17888" E et 13° 29'35,94788" N ; entre 2°8'096" E et 13°29'22012" N ; entre 2°7'59,58012 E et 13°29'34,13412" N.

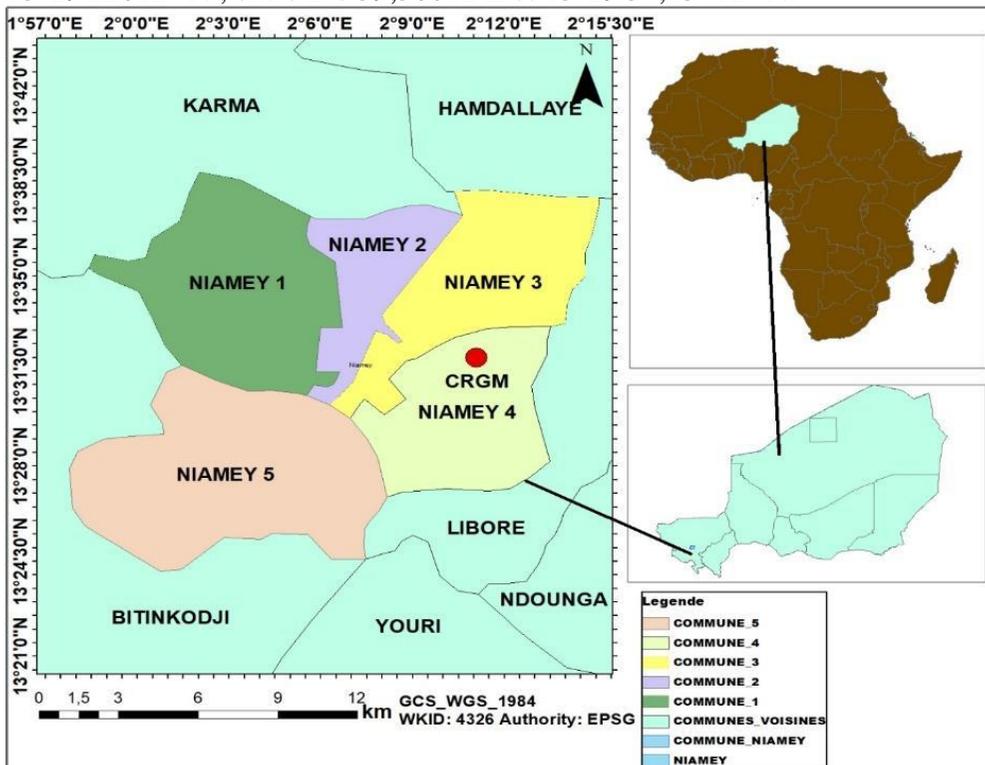


Figure 1 : Carte de localisation du CRGM

## Matériel

Pour mener à bien l'étude, les outils de collecte des données se résument à l'utilisation d'un GPS (Global Positioning System) pour la

géolocalisation et les coordonnées géographiques des principaux points ayant fait l'objet d'échantillonnage situés dans le centre et à sa proximité; d'un appareil photo numérique pour la prise de vues en guise d'illustrations ; d'une tarière pour le prélèvement des échantillons de sol destinés aux analyses au laboratoire de Géoscience du CRGM, d'une balance numérique pour les pesés des échantillons de sol et des sachets de polyéthylène pour le prélèvement de ces échantillons.

Le matériel de laboratoire utilisé est composé d'une part de gants de protection, du méthanol pour éviter toute contamination émanant des manipulations ; de mortier pour réduire les agrégats de terre en de petits agrégats et d'autre part un spectromètre à fluorescence X portatif (de type Niton XL3t®).

### **Echantillonnage**

A ce niveau, il a été retenu trois profondeurs du sol (0-10 cm, 0-20 cm et 20-30 cm) en un seul point et un témoin. Pour ce faire, trois répliques ont été prélevées à partir desquels est constitué un échantillon composite moyen conditionné en flacon en verre. Les échantillons sont conservés au réfrigérateur avant analyse (Smouni *et al.*, 2015). Aussi, les tiges, feuilles et racines des espèces de *Ocimum basilicum* et *Moringa oleifera* ont été récoltées aux mêmes points que le sol.

### **Collecte de données**

La méthode de collecte des données appliquée comprend successivement l'échantillonnage, la préparation et l'analyse des échantillons au laboratoire.

### **Préparation des échantillons**

Les échantillons du sol prélevés ont été broyés et séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures dans un récipient en aluminium (Lee *et al.*, 1998). Pour les espèces végétales, les feuilles et racines prélevées ont été rincées à l'aide de l'eau distillée pour les débarrasser de toutes les impuretés avant de subir un séchage à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures. Les échantillons séchés ont ensuite été broyés à l'aide d'un broyeur pour obtenir une poudre homogène. Les échantillons du sol et des végétaux préparés ont été introduits dans des sachets en polyéthylène puis conservés dans l'étuve (non allumée) pour éviter l'humidité et toute éventuelle contamination. Tous les échantillons ont par la suite été transportés au laboratoire pour des analyses chimiques.

## Analyses des échantillons au laboratoire

La quantification des éléments métalliques a été réalisée par spectrométrie à fluorescence X à l'aide du "*Thermo Scientific Niton XL3t*". C'est un analyseur portatif utilisé pour l'analyse multiélément de divers matériaux (sols, plantes). Il est capable de détecter une large gamme d'éléments allant du magnésium ( $Z = 12$ ) à l'uranium ( $Z = 92$ ) (Willis *et al.*, 2014). Le principe consiste à irradier l'échantillon par des photons émis depuis une source de rayons X, « *Co-57* » pour les appareils portables par exemple, pour que les atomes de l'échantillon ainsi ionisés émettent un rayonnement de fluorescence dans le domaine des rayons X. Ces photons chargés d'énergie rencontrent des électrons des couches internes (couche K par exemple) qui sont alors éjectés. Il s'agit de la phase d'absorption du rayonnement primaire. Les atomes de l'échantillon ainsi ionisés par leurs électrons "manquants" se trouvent en état instable. Les couches internes de ces atomes se réorganisent afin de tendre vers un état plus stable. Les électrons des couches plus externes supérieures (couches L par exemple) vont descendre pour combler les couches internes (couche K) insaturées, il s'agit de la phase d'émission (faisceau de rayon X secondaire émis). Ce réarrangement électronique libère un surplus énergétique sous la forme d'un photon caractéristique pour chaque atome et pour chaque transition de chaque atome. L'énergie du rayon X émis est spécifique à l'élément et l'intensité du rayon X est proportionnelle à la concentration de cet élément dans l'échantillon. Ces photons sont détectés par un compteur qui va identifier les atomes en fonction de leur énergie. Du flux de photons reçus, l'analyseur déduit en temps réel la concentration correspondante. En mesurant les énergies et les intensités des rayons X émis, on détermine la composition élémentaire de l'échantillon. Les spectres sont obtenus par mesure de l'énergie de chaque photon capté (Shackley, 2012; Willis *et al.*, 2014).

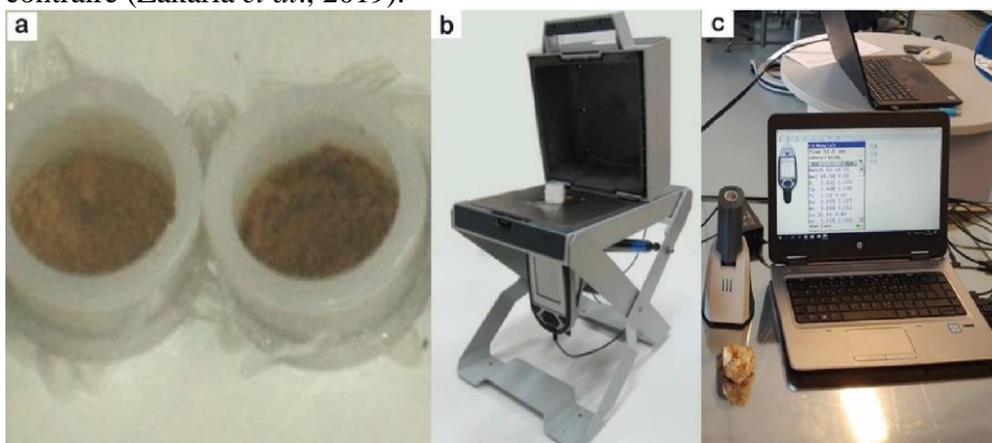
## Modes de mesure des concentrations au XRFp

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse chimique non destructive utilisant la fluorescence des rayons X de la matière. La fluorescence est la propriété de certains corps d'émettre de la lumière sous l'influence d'un rayonnement. Quatre modes de mesure (lecture des concentrations) peuvent être utilisés, à savoir les modes « *Soil* » et « *AllGeo* » permettant de lire les concentrations des éléments traces en partie par million (ppm) pour une durée de lecture de 90 secondes (Mode Soil) sur trois filtres (à raison de 30 secondes par filtre) et 120 secondes sur quatre filtres pour le Mode AllGeo ; le mode « *Mining Cu* » et « *Mining Ta* » qui permettent de lire les concentrations des éléments majeurs en pourcentage

(%) pour une durée de lecture de 120 secondes sur quatre filtres (Brouw, 2010).

### Procédure d'analyse multiélément au XRFp

Une fois allumé, le contrôle du spectromètre se fait par l'ordinateur auquel il est connecté à partir du logiciel NDT<sup>r</sup> 5.2x dont l'interface est celui du spectromètre allumé. On procède ainsi au calibrage des paramètres de l'appareil en fonction du type de mesure à effectuer en utilisant des étalons de référence certifiés. On choisit ainsi le mode de lecture des échantillons et on passe à l'étalonnage à l'aide des standards. Le nom de chaque échantillon est enregistré dans la case correspondante de l'interface du XRF avant la lecture. L'analyse de l'échantillon se fait par l'intermédiaire d'une coupelle. La coupelle est remplie à moitié de l'échantillon préparé, recouverte d'un film de "Prolene" de 4 µm d'épaisseur (Figure 2a), est placée devant le capteur de l'appareil (Figure 2b). Le couvercle du support est ensuite fermé sur la coupelle et on lance l'analyse du contenu de la coupelle (Figure 2c). Après avoir fini la lecture des échantillons, un fichier NDT (Niton Data Transfer) ".ndt" contenant toutes les données est enregistré (Abass, 2024). Ce fichier est ouvert dans le logiciel NDT puis réenregistré sous format Excel. La base de données Excel est ensuite prétraitée (correction des limites de détection, suppression des informations non nécessaires) (Oyedotun, 2018). Les concentrations en % des éléments peuvent être converties en partie par million (ppm), sachant que 1 % = 10 000 ppm. Les ETM ayant un comportement physicochimiques identiques sont corrélés positivement entre eux (Rodríguez-Deza *et al.*, 2022). Quant aux éléments Cu et Mn et Mn et As, ils ont un comportement globalement contraire (Zakaria *et al.*, 2019).



**Figure 2** : Etapes de l'analyse au XRFp en mode laboratoire. a) Coupelles remplies à moitié de poudre fine d'échantillons et recouvertes de film de "Prolene" ; b) Support en dessous duquel est accroché l'appareil XRFp ; c) Lecture des concentrations des éléments chimiques sur l'interface XRFp de l'ordinateur portable.

### Calcul de l'index de pollution par les ETM dans les sols

La contamination à la surface du sol en métaux, plus précisément celle des industries, est associée à un cocktail de contaminants plutôt qu'à un seul métal. Ainsi, dans de nombreuses études l'index de pollution (IP) des sols est calculé afin d'identifier la contamination en multiéléments qui se traduit par une augmentation de la toxicité métallique. Il permet d'évaluer la toxicité globale d'un sol contaminé. Cet index est déterminé à partir de la moyenne des rapports des concentrations en métaux dans les échantillons des sols par rapport aux valeurs directives limites (Chon *et al.*, 1998). Ces valeurs limites correspondent aux niveaux tolérables des concentrations en métaux (ETM) dans le sol selon la norme AFNOR. Ainsi, l'index de pollution est calculé selon la formule :

$$IP = \frac{\frac{As}{6} + \frac{Pb}{100} + \frac{Zn}{300} + \frac{Co}{30} + \frac{Cu}{100} + \frac{Cr}{150} + \frac{Ni}{50}}{7} \quad (1)$$

IP : Index de pollution sans unité.

IP > 1 correspond à un sol pollué par plusieurs métaux.

### Analyses statistiques

Le tableur Microsoft Excel est utilisé pour la saisie et le traitement des données. Le logiciel Jamovi version 2.3.28.0 est ensuite utilisé pour les analyses statistiques. Ces analyses ont été essentiellement celles de la statistique descriptive, le diagramme de Pareto afin d'avoir la zone la plus polluée et la corrélation renseigne le comportement des polluants entre eux. Les valeurs moyennes sont ensuite comparées entre elles à l'aide du test de la plus petite différence significative au seuil de 5 %.

## RÉSULTATS

### *Statistiques descriptives des métaux lourds contenus sur le site du CRGM*

Dans le tableau 1, il a été présenté les résultats des analyses statistiques descriptives des concentrations en ETM mesurées dans la zone d'étude.

**Tableau 1** : Analyse descriptive des ETM au sein du CRGM, Niamey

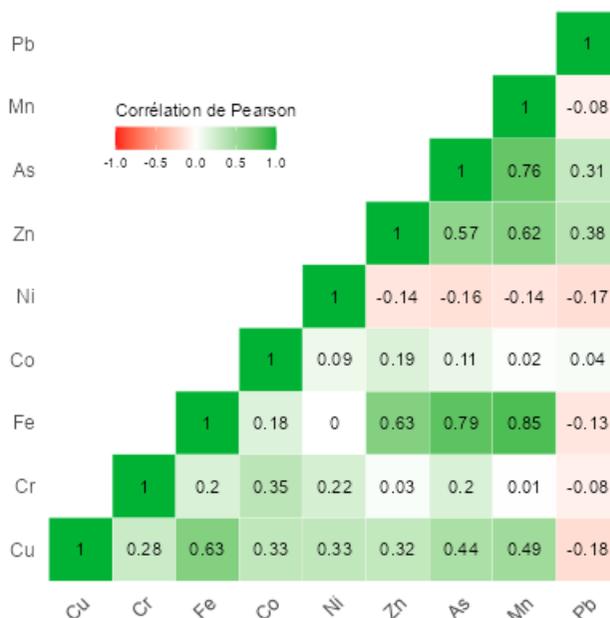
ETM	N	Moyenne	Intervalle de confiance à 95%		Ecart-type	Minimum	Maximum
			Borne inf	Supérieur			
Cu	36	14.01	9.00	19.0	14.8	0.00	47.8
Cr	36	6.24	6.43	18.9	37.5	0.00	224.7
Fe	36	62079.99	40250.66	83909.3	64516.8	205.57	355985.2
Co	36	80.52	29.10	131.9	152.0	0.00	479.9
Ni	36	30.58	20.85	40.3	28.8	0.00	71.3
Zn	36	40.80	29.87	51.7	32.3	7.80	151.3
As	36	11.17	5.82	16.5	15.8	0.00	80.2
Mn	36	308.34	74.33	542.3	691.6	0.00	4264.1
Pb	36	32.98	8.47	57.5	72.4	0.00	378.9

ETM : élément trace métallique ; Cu : Cuivre, Zn : Zinc, Ni : Nickel, As : Arsenic, Fe : fer, Pb : plomb, Co : Cobalt, Mn : Manganèse, Cr : Chrome

Ce tableau montre les statistiques des concentrations en Cu, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Mn, Pb au sein du CRGM avec des moyennes variées. Les métaux les moins représentés sont le Cu, Cr, As, Pb, Zn et le Ni avec des valeurs moyennes respectivement de 14.01 $\pm\pm$  14,8ppm ; 6.24 $\pm\pm$  37.5 ; 11.17 $\pm\pm$  15,8ppm ; 32.98 $\pm\pm$ 72.4ppm ; 40.80 $\pm\pm$ 32.3ppm et 30.58  $\pm\pm$ 28.8 ppm. Les polluants dominants sont le Mn, Co et le Fe de concentrations moyennes respectivement de 308.34 $\pm\pm$ 691.6 ; 80.52 $\pm\pm$ 152.0ppm et 62079.99 $\pm\pm$ 64516.8ppm.

### ***Matrix de corrélation***

L'analyse des corrélations permet de déterminer la typologie des relations entre les caractéristiques des différents métaux lourds. Le tableau 2, représente la matrice de corrélation des différents métaux contaminant le site.

**Tableau 2** : corrélation entre les différents polluants sur le site du CRGM

Il ressort de l'analyse de ce tableau, une forte corrélation positive entre le Fe-Cu ; Fe-Zn ; Fe-As ; Fe-Mn ; Mn-Zn et Mn-As avec une corrélation faiblement positive entre As-Zn. En suite une faible corrélation négative a été observée entre Cu-Mn et Cu-As. En somme cela pourrait s'expliquer en admettant que les métaux tels que Fe, Mn, As et Cu proviennent d'une même source et ils ont un comportement géochimique fortement similaire.

### *Caractérisation des différentes matrices en métaux*

Les valeurs des caractéristiques physico-chimiques et des teneurs en ETM des matrices énoncées au tableau 2 sont exprimées en ppm.

**Tableau 3** : Concentrations des métaux (en ppm) dans le sol, *Moringa oleifera* et *Ocimum basilicum* du CRGM de Niamey

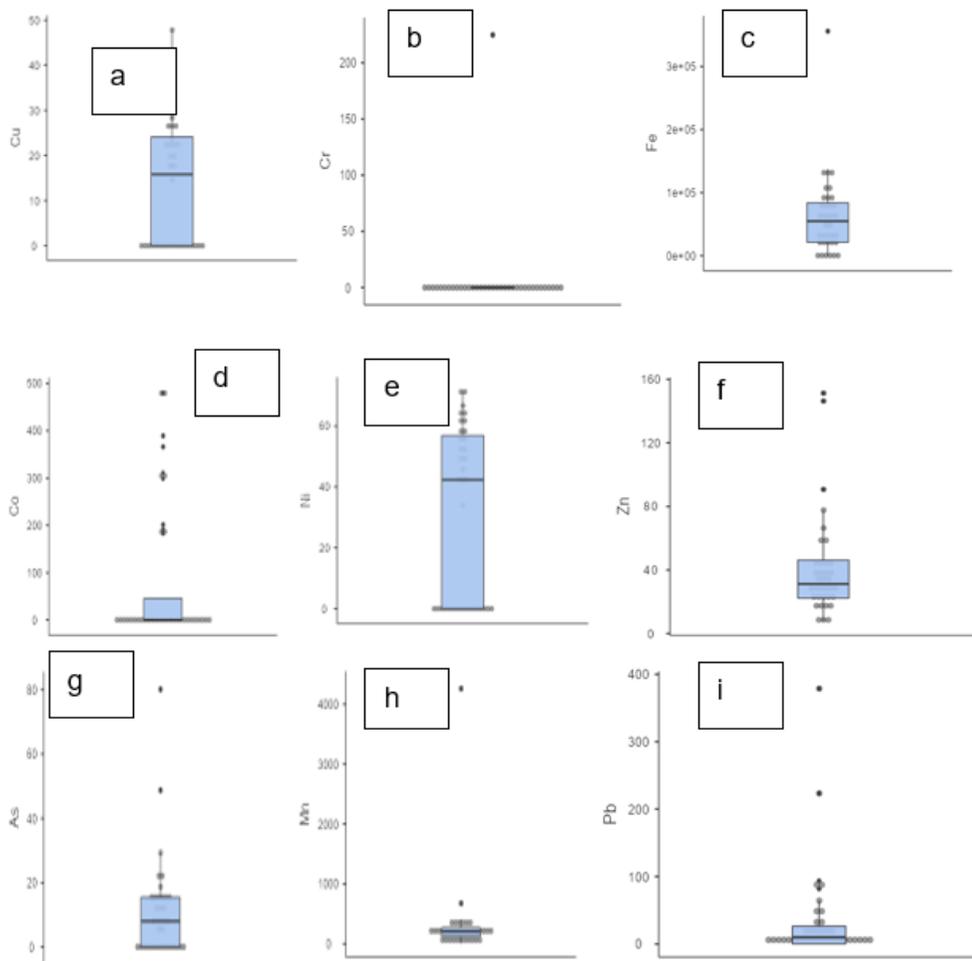
Zone	ETM (n=3)	Sol					Plantes		
		Couche 0-10 cm	T10	Couche 10-20 cm	T20	Couche 20-30 cm	T30	Mor	Bas
1	Cu	7,68	0	12,36	0	0	41	0	0
	Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe	57634	16173	48634	21290	47129	26166	229,24	544,03
	Co	164,52	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	23,77	52,74	48,37	58,37	38,04	52,19	0	0
	Zn	82,95	8,76	35,85	27,57	35,1	27,14	16,84	46,15
	As	4,77	0	3,00	0	4,47	0	0	48,75
	Mn	293,36	127	208,17	117	185,72	114,5	0	0
	Pb	101,66	0	52,69	13,97	25,75	8,97	0	378,8

	<b>Cu</b>	36,58	0	19,21	0	13,21	41	0	0
	<b>Cr</b>	0	0	<b>74,91</b>	0	0	0	0	0
<b>2</b>	Fe	173415	16172	73474	21290	37513	26166	291,8	271,0
	Co	282,01	0	193,52	0	0	0	0	0
	Ni	14,15	52,74	22,23	58,4	44,84	52,19	0	0
	Zn	84,24	8,76	33,70	28	26,4	27,14	19,73	21,93
	As	<b>36,20</b>	0	<b>12,45</b>	0	<b>4,97</b>	0	<b>7,89</b>	0
	Mn	1764,39	127,07	235,93	116,62	205,2	114,5	0	0
	<b>Pb</b>	<b>17,77</b>	0	<b>15,30</b>	14	16,96	8,97	0	0
	<b>Cu</b>	6,16	0	27,71	0	16,706	41	0	0
	<b>Cr</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3</b>	Fe	58280	16172	102631	21290	94086	26166	206	535,4
	Co	67,04	0	99,35	0	159,77	0	0	0
	Ni	16,55	52,74	39,10	58,37	42,06	52,19	0	0
	Zn	22,14	8,76	34,55	27,57	30,32	27,14	15,13	66,42
	As	<b>9,84</b>	0	<b>16,15</b>	0	<b>16,47</b>	0	0	0
	Mn	140,49	127	260,68	116,62	222,71	114,5	0	0
	<b>Pb</b>	<b>2,69</b>	0	<b>9,14</b>	<b>13,97</b>	<b>6,56</b>	<b>8,97</b>	0	<b>6,75</b>

Lorsque l'on reprend les valeurs du tableau 3, les concentrations retrouvées en ETM pseudo-totaux et disponibles sont largement plus importantes dans le sol et dans les plantes du CRGM que dans milieux témoin (hors du centre) comme attendu. Néanmoins, on remarque que dans *Ocimum basilicum* les métaux comme Arsenic, et Plomb de concentrations respectives de 48,75 ppm et 387,89 ppm sont largement supérieures à celles dans le sol et chez *Moringa oleifera*. En plus la concentration en Cr est quasiment nulle dans toutes les matrices sauf au niveau de la couche 10 à 20 cm avec une valeur assez faible de 74,91 ppm. Le Plomb est partout dans le sol comme dans les deux plantes, mais on constate sa diminution dans le sol avec la profondeur.

### ***Répartition des métaux contaminant le sol sur le site du CRGM***

La figure 3 présente les données recueillies CRGM de Niamey. Les différents polluants obtenus sont repartis en Mn, Zn, As, Fe, Ni, Pd, Cr, Cu, Pb de concentrations variables dans le sol.

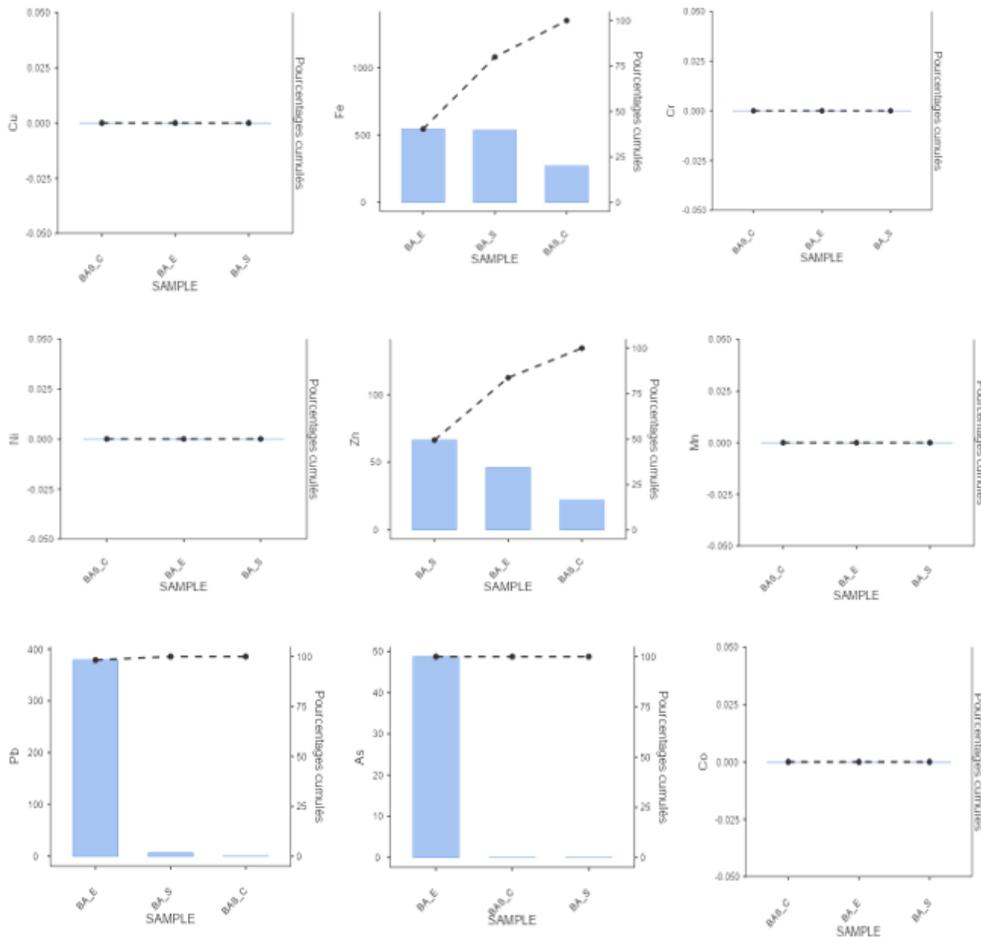


**Figure 3** : Répartition globale des polluants en ppm dans le sol au CRGM : a) Cu ; b) Cr ; c) Fe ; d) Co ; e) Ni ; f) Zn ; g) As ; h) Mn ; i) Pb.

Selon la répartition des échantillons des sols prélevés au CRGM (figure 3), il ressort qu'environ 75% des échantillons sont de concentrations inférieures à 50 ppm en Cu (fig. 3.a), en Ni (fig. 3.e), en As (fig. 3.g), en Co (fig. 3.d) et en Cr (fig. 3.b) ; plus de 75% des échantillons présentent des concentrations inférieures à 100 ppm en Pb (fig. 2.i), en Co (fig.3.d), en Mn (fig.3.h) et seulement le Fer (fig. 3.c) est représenté dans des échantillons où toutes les concentrations sont extrêmement élevées. De ces différentes valeurs de concentrations en métaux lourds, polluant le site, la pollution au CRGM est dangereuse pour la santé humaine et pour l'environnement. Les risques des maladies cancérigènes dues à la consommation des organes des plants pollués, des effets osseux, rénaux, cardiovasculaires et neurotoxiques est inévitable avec la pollution du sol et ses plants.

### Répartition des métaux contaminant les plantes de *Ocimum basilicum* sur site CRGM

La figure 4 présente les données recueillies au CRGM de Niamey. Ainsi les éléments traces métalliques sont le Mn, Zn, As, Ni, Co, Fe, Cu, Pb de concentrations variables réparties dans la plante de *Ocimum basilicum*.

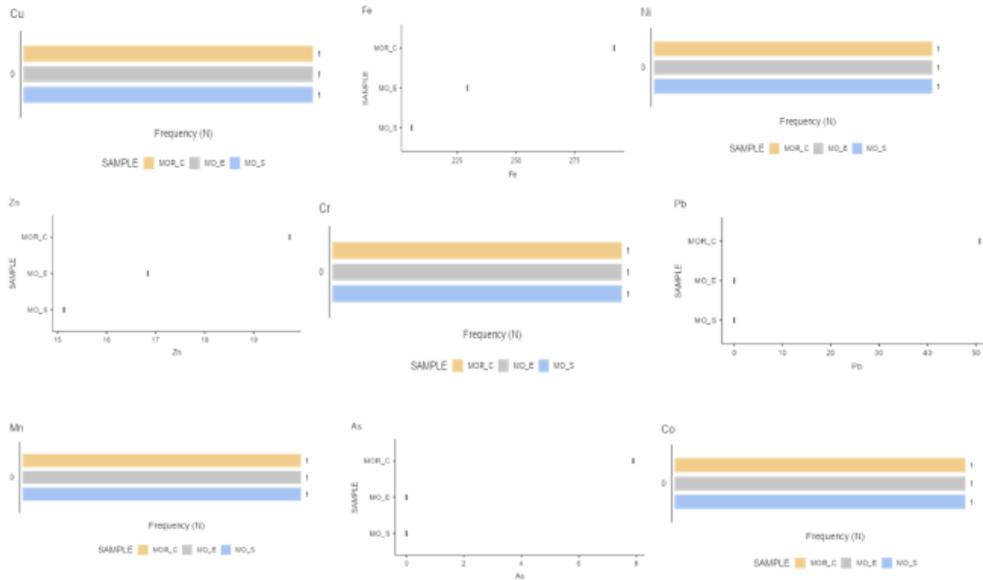


**Figure 4 :** Répartition globale des polluants dans le Basilic au CRGM

La figure 4 représente la distribution des métaux contaminant les plantes de *Ocimum basilicum* recueillies dans trois zones du CRGM (au centre, à l'entrée et à la sortie). D'après les résultats obtenus, il ressort une large (plus de 80%) contamination en Pb et en As dans la zone 2 (à l'entrée du CRGM). Le Fe et le Zn constituent la classe des métaux contaminant les plantes de Basilic essentiellement dans la zone 2 et dans la zone 3 (à l'entrée et à la sortie). Tandis que les métaux tels que le Cr, Ni, Mn, Cu et Co sont quasiment absents sur l'ensemble du site.

### Répartition des métaux, contaminant les plantes de *Moringa oleifera* sur site CRGM

Dans cette partie (figure 5), sont représentés les résultats des données recueillies au CRGM de Niamey. Les éléments traces métalliques tels que Mn, Zn, As, Ni, Co, Fe, Cu, Pb de concentrations variables repartis dans la plante du *Moringa oleifera*.



**Figure 5 :** Répartition globale des polluants dans le moringa au CRGM

D'après les résultats d'analyse des échantillons des plantes de *Moringa oleifera* (Figure 5), les métaux comme le Cr, Co, Mn, Cu et le Fe contaminent tout le site (présents dans les trois zones) avec de degré de contamination moyenne variable (tableau 3). Les éléments traces métalliques tels que le Zn et le Fe contaminent seulement les zones 1 et 3 (entrée et sortie) du CRGM. Les classes des métaux les plus dangereux, As et Pb sont repartis dans tout le site mais faiblement dans les zones 1 et 3 et très fortement contaminant dans la zone 2 (centre du CRGM). Cela démontre une répartition dans l'espace du site de CRGM en contaminants dans *Moringa oleifera* utilisée par certains cas dans la décontamination d'un site par son caractère d'accumulation des métaux.

### Index de pollution par les ETM dans les sols

L'Index de pollution est un critère permettant d'évaluer la toxicité d'un sol par assemblage de plusieurs métaux (Zakaria Ibrahim *et al.*, 2019). Dans la présente étude, l'index de pollution a été calculé pour les différentes zones de prélèvement et les résultats sont présentés dans le tableau 4.

**Tableau 4 :** Valeur de l'Index de pollution du sol en fonction de zone et de l'horizon

Zones	IP (horizon de 0-10cm)	IP (horizon de 10-20 cm)	IP (horizon de 20 -30 cm)
Zone 1	0,52	1,92	1,12
Zone 2	1,42	2,24	1,06
Zone 3	0,59	2,15	1,06

L'observation d'une valeur d'IP supérieure à 1 au centre du CRGM (tableau 4) montre qu'un cocktail de contaminants métalliques à des concentrations moyennes élevées est présent dans les sols. En effet, au niveau des horizons de 10-20 cm et de 20-30 cm, on constate que toutes les trois zones (entrée, centre, et sortie) ont une valeur d'IP supérieure à 1. Ces zones sont toutes polluées. A l'horizon de 0 – 10 cm, on a la valeur de IP supérieure à 1 uniquement dans la zone 3 (à la sortie), qui représente la zone polluée. L'index le plus petit (0,52) est obtenu au niveau de la zone 2 située au niveau de l'entrée, ce qui confirme le niveau le moins pollué du site.

Le tableau 5 représente une synthèse des risques sanitaires et environnementaux auxquels les populations ainsi que les composantes environnementales (sol, plante eau et air) sont exposées en présence anormale de de ces contaminants dans au moins une des matrices (sol ou végétal).

**Tableau 5 :** Impacts sanitaires et environnementaux des polluants métalliques

ETM	Impacts environnementaux	Impacts sanitaires	Reference
<b>Pb</b>	Perturbation des fonctions phytoplancton et du sol sont perturbées ;	L'ingestion ou l'inhalation du Pb peut avoir divers effets toxiques (anémie) et chroniques (atteintes du système nerveux)	(Meng M. & Zhou J., 2020, p. 14)
<b>Co</b>	Risque d'incendie, toxique pour la plante et le sol	Atteinte rénale, fragilité osseuse, troubles de la reproduction ;	(Zaakour F. & Chems K., 2014, p. 129)
<b>As</b>	Détruit la forêt et la biodiversité ; stérilisation totale des sols	Cancers de poumon, problèmes respiratoires	(Villanneau E. et al., 2008, p. 190)
<b>Cu</b>	Risque pour les plantes et microorganismes du sol	Cancérogénicité, effets osseux, rénaux, cardiovasculaires,	(Chen F. et al., 2024, p. 11)
<b>Mn</b>	Acidification des sols, destruction de la végétation ; contamination des eaux	Mort, problèmes respiratoires ; Dommage au foie et aux reins ; Altération du matériel génétique ; Cancer	(Zhang et al., 2024)
<b>Zn</b>	Risque pour les plantes et microorganismes du sol	Irritations de la peau, l'anémie, endommagement le pancréas ; désordres respiratoires.	(Zheng Z. et al., 2023, p. 2)
<b>Mn</b>	Perturbations dans les mécanismes de la plante	Problèmes aux nerfs. Provoque la maladie de Parkinson, des embolies pulmonaires et bronchites	(Villanneau E. et al., 2008, p. 190)
<b>Ni</b>	Détruit la biodiversité ; stérilisation totale des sols	Cancérogène,	(Zaakour F. & Chems K., 2014, p. 129)
<b>Cr</b>	Toxique pour la plante et le sol	Cancérogène ; troubles digestifs (gastro-entérite hémorragique) insuffisance hépatocellulaire ; insuffisance rénale	(France, 2000)

## Discussion

Les contaminants étudiés correspondent à tous les éléments métalliques dont la densité est supérieure à  $5\text{g/cm}^3$ . Les concentrations les plus élevées obtenues au niveau de toutes les zones échantillonnées témoignent la pollution du sol par les activités du CRGM. Les métaux en question sont le Cuivre (14.01 ppm), l'arsenic (11.17 ppm), le Cobalt (80.52 ppm) et le Plomb (32.98 ppm) qui sont présents partout sauf dans le sol témoin (T). Le métal de Ni est constamment plus important dans les témoins que dans le sol et les deux plantes. Aussi, entre les deux espèces, *Ocimum basilicum* est beaucoup plus contaminée (As, Pb et Cu) que *Moringa oleifera* (en As) (Chassin et Baize, 1996).

Ces contaminants montrent la contribution polluante des rejets provenant des activités au CRGM. Le métal de Chrome est quasiment absent dans les zones mais présents dans le sol témoin (6.24 ppm), ce qui montre une probable influence des roches-mères dans lesquelles les sols en sont issus. Les métaux de Manganèse, du Zinc, du Fer et Nickel sont présents à la fois dans les zones polluées et dans le témoin. Cela pourrait s'expliquer en admettant la contribution des roches encaissantes (processus naturel) conjuguée aux rejets du CRGM (pollution anthropologique) comme en témoignent plusieurs auteurs (Mod, 2020; Rousseau, 2001; Smouni *et al.*, 2015; Villanneau *et al.*, 2008). Ces polluants trouvés dans les sols au sein du CRGM semblent liés au-delà des activités humaines au sein du centre et aux alentours avec la société ORIBA, qui entoure le centre. En effet, la présence d'une centrale électrique à côté de ce centre pourrait expliquer l'excès en Nickel au niveau de la zone témoin, vu que la pente de ruissellement est dans le même sens que la zone témoin, donc l'eau de ruissellement peut emporter avec elle quelques métaux. Aussi, la consommation de *Moringa oleifera* au sein du CRGM est synonyme d'exposition aux maladies cancérogènes (Naert, 2017), ce qui pourrait dangereusement handicaper la santé des communautés riveraines. Par contre, la non contamination de *Ocimum basilicum* en Pb et en Cr témoigne la faible gravité des risques sanitaires et environnementaux mais est probable du danger sanitaire à long terme (Kemassi, 2008; Mod, 2020).

Ces résultats sont similaires à ceux de Dan-Badjo *et al.* (2013) qui avaient trouvé ces mêmes polluants dans le sol de Gountou yena à Niamey. En plus la zone 3 est la zone la plus polluée avec la plus grande valeur d'IP de 2,15 suivie de celle de la zone 4 avec une valeur d'IP de 2,15 et enfin celui de la zone 5 qui a une valeur IP de 1,92 (tableau 4). Cela peut s'expliquer du fait que la zone est située au centre de toutes les activités menées par le CRGM, on peut noter aussi que les rejets au niveau des unités de préparation mécanique, fusion plombeuse, et mise en solution-petite chimie à travers la Sorbonne qui aspirent l'air et le refoulent. En somme les

éléments traces métalliques sont inhérents dans l'environnement, se trouvant naturellement dans le sol, l'eau et l'air. Cependant, l'activité humaine a considérablement augmenté leur présence et est responsable de leur accumulation dans les composantes environnementales (Desaules, 2012). Des éléments géochimiques tels que le plomb, le cadmium, l'arsenic et le nickel sont reconnus pour leur toxicité et qu'ils sont mortels (Mod, 2020). Au Centre de recherches Géologique et Minière, le laboratoire de géoscience est spécialisé dans des analyses chimiques des roches, sol et eaux de toutes sortes minières, industrielles et domestiques. La présence dans le sol du CRGM de ces micropolluants en grande quantité comme le Zinc, le Fer et le Manganèse dans les premiers horizons témoigne l'émission des polluants qui finissent par tomber sur le sol. A partir de ce dernier les polluants s'acheminent dans les plantes. C'est pourquoi on enregistre une concentration de l'ordre de 57634 ppm en fer dans sol (zone 1) contre respectivement 229,24 ppm et 544.0 ppm dans *Moringa oleifera* et dans *Ocimum basilicum* et 173415 ppm en fer dans le sol (zone2) contre 271.8 et 291.0 ppm respectivement dans *Moringa oleifera* et dans *Ocimum basilicum*. Ce transfert s'est avéré vrai dans la zone 3 avec une concentration moyenne en fer dans le sol qui s'étend à 58280 ppm contre respectivement 206.0 ppm et 535.4 ppm dans les plants de *Moringa oleifera* et *Ocimum basilicum*. De même le zinc suit cette loi de transfert qui se trouve dans le sol comme dans les deux espèces végétales. Ces résultats corroborent à ceux de Kemassi (2008) ; de Chassin et Baize (1996). La différence obtenue des types des métaux ayant pollués les deux espèces végétales pourrait s'expliquer en admettant que le transport des éléments-traces a varié considérablement et dépend non seulement des éléments-traces mais aussi des espèces végétales. Autrement dit, tous les métaux ne présentent pas la même mobilité à l'intérieur d'une plante. C'est ainsi qu'on obtient une pollution en Plomb, Arsenic, Fer et Zinc dans chez *Ocimum basilicum* et les Manganèse, Cuivre, Cobalt, Chrome et Nickel comme polluants dans *Moringa oleifera* (Nsandji *et al.*, 2023).

Toutefois la pollution en métaux du site de CRGM ne doit pas être négligée puisque les polluants comme l'arsenic et le plomb sont retrouvés dans certains horizons, dans toutes les matrices et dans toutes les trois zones et absents dans l'échantillon du sol témoin. Ce qui explique que les métaux du plomb et du d'arsenic sont beaucoup plus retenus à la partie superficielle du sol (Horizon 0-10 cm) et sont facilement absorbés par les plantes du site. Le plomb (Pb), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le magnésium (Mn), le fer (Fe), le zinc (Zn) et l'arsenic (As) font notamment partie des ETM le plus souvent évoqués à cause de leur caractère physicochimique, ils sont toxiques, cancérigènes et mortels même à faible dose comme il a été mentionné par plusieurs auteurs (Balambula *et al.*, 2018;

Kim *et al.*, 1998). En terme de la sécurité alimentaire et locale, la pollution du sol affecte sa fertilité et la propagation de ses polluants dans les autres composantes telles que l'air, les eaux souterraines et toutes les espèces végétales (Kemassi, 2008; Nsandji *et al.*, 2023).

Les émissions de tous ces polluants obtenus dans le cadre de cette étude peuvent conduire à des risques pour les populations proches, qui devraient être évalués au cas par cas. Pour les polluants comme le chrome, l'arsenic et le plomb, un suivi régulier de leur présence dans le site doit y être du fait de leur toxicité aigüe et qu'ils sont mortels même à faible dose. L'air intérieur peut aussi engendrer des risques préoccupants, particulièrement en présence de fumeurs (Kemassi, 2008). Pour compléter l'évaluation des risques, il est donc souhaitable d'évaluer les risques par inhalation pour les travailleurs et les populations voisines d'industries qui sont la catégorie des personnes les plus exposées ; de recueillir des informations sur la spéciation de certains polluants comme le chrome, le cobalt, l'arsenic et le plomb dans l'air, les aliments et l'eau, selon une méthodologie analytique de routine pour évaluer les risques pour les voies respiratoires. La réduction à la source et traitements des mesures peuvent être mises en place pour réduire les émissions des polluants métalliques, soit par réduction à la source soit par traitement des effluents. Ces techniques de réduction sont bien possibles et moins coûteuses grâce à des filtres, des cyclones, des électrofiltres ou des cyclones.

## Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la concentration en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols et dans les plantes au CRGM afin de mettre en lumière la contribution industrielle à la pollution de l'environnement en milieu urbain. Les résultats obtenus montrent les valeurs des concentrations en éléments traces métalliques des sols d'une part et d'autre part de deux espèces végétales sont très variées. Cette variation s'observe en fonction de la profondeur (horizon), de l'élément métallique, du site de prélèvement et d'une plante à l'autre. Les résultats montrent également que les valeurs maximales des concentrations des différents éléments métalliques dans les sols sont supérieures aux valeurs des métaux dans le sol au niveau du site de prélèvement. En termes de l'index de pollution, le niveau de chaque site est supérieur à 1, sauf la zone 1 à l'horizon de sol (0-10 cm) considéré. Cela veut donc que le site du CRGM fait l'objet d'une pollution multiple du sol et de ses plantes par les métaux. Ce sol et ses plantes doivent être traités puis qu'ils constituent une source toxicologique, des maladies cancérigènes de la population vivant dans le milieu.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

### References:

1. Balambula, G., Baghdad, B., Hadi, H. El, & Laghlimi, M. (2018). Pollution des sols à Proximité des Routes: Impact des Eléments Traces Métalliques (ETM) sur les Sols à Proximité de la Voie de Contournement des Villes de Rabat et Salé (Maroc). *European Journal of Scientific Research*, 150(1), 60–72. <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>
2. Barthwal, J., Nair, S., & Kakkar, P. (2008). Heavy metal accumulation in medicinal plants collected from environmentally different sites. *Biomedical and Environmental Sciences*, 21(4), 319–324. [https://doi.org/10.1016/S0895-3988\(08\)60049-5](https://doi.org/10.1016/S0895-3988(08)60049-5)
3. Brouw, P. (2010). Theory of XRF. In *Almelo: PANalytical BV*.
4. Chen F., F., Zhang, W., Mfarrej, M. F. B., Saleem, M. H., Khan, K. A., Ma, J., Raposo, A., & Han, H. (2024). Breathing in danger: Understanding the multifaceted impact of air pollution on health impacts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 280, 17. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116532>
5. Dan-Badjo, A., Guero, Y., Lamso, N., Barage, M., Balla, A., Sterckeman, T., Evarria, G., & Feidt, C. (2013). Évaluation des niveaux de contamination en éléments traces métalliques de laitue et de chou cultivés dans la vallée de Gounti Yena à Niamey, Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 67(0), 5326. <https://doi.org/10.4314/jab.v67i0.95056>
6. De, D., & Toulouse, D. E. (2012). 2012Tou30090.
7. Desauls, A. (2012). Critical evaluation of soil contamination assessment methods for trace metals. *Science of the Total Environment*, 426, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.035>
8. France, E. (2000). *Teneurs\_totales\_en\_métaux\_lourds\_dans\_les\_sols\_fra*.
9. Kemassi, A. (2008). *Toxicité comparée des extraits de quelques plantes acridifuges du Sahara septentrional Est algérien sur les larves du cinquième stade et les adultes de Schistocerca gregaria ( Forskål , 1775 ). 17(3), 165.*

10. Kim, K. W., Myung, J. H., Ahn, J. S., & Chon, H. T. (1998). Heavy metal contamination in dusts and stream sediments in the Taejon area, Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, 64(1-3-3 pt 1), 409–419. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(98\)00045-4](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(98)00045-4)
11. Lee, J. S., Chon, H. T., Kim, J. S., Kim, K. W., & Moon, H. S. (1998). Enrichment of potentially toxic elements in areas underlain by black shales and slates in Korea. *Environmental Geochemistry and Health*, 20(3), 135–147. <https://doi.org/10.1023/A:1006571223295>
12. Lv, J., & Liu, Y. (2019). An integrated approach to identify quantitative sources and hazardous areas of heavy metals in soils. *Science of the Total Environment*, 646, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.257>
13. Meng M., M., & Zhou J., J. (2020). Has air pollution emission level in the Beijing–Tianjin–Hebei region peaked? A panel data analysis. *Ecological Indicators*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106875>
14. Mod, I. D. (2020). *EXPOSITIONS AU Synthèse des données disponibles : sources , émissions , exposition et toxicité pour l ' homme.*
15. Naert, N. (2017). *Étude De La Contamination Des Sols Par Les Éléments Traces Métalliques : Influence De La Profondeur De La Contamination Sur La Croissance De Plantes Indigènes Et Évaluation De La Mobilité Du Zinc.*
16. Nsandji, R. N., Mwamba, A. K., Kyela, C. M., Zabo, I. A., Ekwakwa, A. B., & Mukendi, C. M. (2023). *Ruffin Ngadi NSANDJI et al.* 22(2), 142–157. <http://www.afriquescience.net>
17. Oyedotun, T. D. T. (2018). X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(2), 148–154. <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452459>
18. P.Chassin D.Baize, P. C. T. S. (1996). Les éléments traces métalliques et la qualité des sols: impact à moyen et à long terme. *Forum "Le Sol, Un Patrimoine Menacé?"*, December, 297–306. [http://www.afes.fr/afes/egs/EGS\\_3\\_4\\_CHASSIN.pdf](http://www.afes.fr/afes/egs/EGS_3_4_CHASSIN.pdf)
19. Rodríguez-Deza J., J., Castrejon-Valdez, M., García-Ticllacuri, R., Arias-Huanuco, J., Guzman-Ibañez, C., & Yaulilahua-Huacho, R. (2022). Residuos sólidos y su incidencia en la contaminación ambiental. In *Residuos sólidos y su incidencia en la contaminación ambiental*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.067>
20. Rousseau, R. M. (2001). *Detection Limit and Estimate of Uncertainty of Analytical Xrf Resul.* 18(2), 33–47.
21. Shackley, M. S. (2012). Portable X-ray fluorescence spectrometry

- (pXRF): the good, the bad, and the ugly. *Archaeology Southwest Magazine*, 26(2), [http://www.archaeologysouthwest.org/pdf/pXRF\\_essay](http://www.archaeologysouthwest.org/pdf/pXRF_essay).
22. Smouni, A., Ater, M., Auguy, F., Laplaze, L., Mzibri, M. El, Berhada, F., Filali-maltouf, A., Smouni, A., Ater, M., Auguy, F., Laplaze, L., Mzibri, M. El, Ater, M., Auguy, F., & Laplaze, L. (2015). métalliques dans une zone minière du Maroc oriental To cite this version : *Cahiers Agricultures, EDP Sciences*, 19(4), 273–279.
  23. To, D., & Id, H. A. L. (2014). La Connaissance Des Elements Traces Metalliques : Un Defi Pour La Gestion De L Environnement. 2014.
  24. Villanneau E., E., Saby, N., Jolivet, C., Marot, F., & Maton, D. (2008). Détection de valeurs anomaliques d ' éléments traces métalliques dans les sols à l ' aide du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols. *Etude et Gestion Des Sols*, 15(March 2015), 183–202.
  25. Willis, J. P., Feather, C. E., & Turner, K. (2014). Guidelines for XRF analysis. *Book*.
  26. Zaakour F., M. F., & Chemsu K., K. M. Z. (2014). Concentrations En Elements Traces Metalliques Dans Les Sols Irrigues Par Les Eaux Usees Dans L'Ouest Merzeg (Casablanca- Mroc). *European Scientific Journal*, 10(29), 121–138.
  27. Zakaria Ibrahim, O., Tankari Dan-Badjo, A., Guero, Y., Maissoro Malam Idi, F., Feidt, C., Sterckeman, T., & Echevarria, G. (2019). Spatial distribution of metallic trace elements in soils of Komabangou gold zone in Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(1), 557–573. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.43>
  28. Zhang, J., Yang, T., Wang, N., Luo, X., Li, H., & Liao, Y. (2024). Health risk assessment of heavy metals in wild fish and seasonal variation and source identification of heavy metals in sediments: a case study of typical urban river in Xi'an, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(6). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31693-0>
  29. Zheng Z., Z., Clech, P. Le, Khan, S., Shi, B., Deletic, A., Fletcher, T., Hancock, M., & Zhang, K. (2023). *Removal of heavy metals and organic chemicals in nature- based systems : a comprehensive review Élimination des métaux lourds et des produits chimiques organiques dans les systèmes basés sur la nature : un examen complet Data collection*. 1–4.