

**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. Centre de Recherche Géologique et Minière, Ministère des Mines (CRGM), Niger

***Hama Oumarou***

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

***Mahaman Sanoussi Sani Issa***

International Fertilizer Development Center (IFDC), Niger

***Abdourahamane Tankari Dan Badjo***

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

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n9p111](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n9p111)

Submitted: 10 January 2025

Accepted: 18 March 2025

Published: 31 March 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Souley Barhadje M.M., Oumarou H., Sani Issa M.S. & 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*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (9), 111.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n9p111>

## **Résumé**

A Niamey, les industries sont des véritables sources d'émission des polluants nuisibles à l'homme et à son environnement. Force est de constater nombreuses sont les industries urbaines accordant peu d'attention sur les polluants émis dans l'environnement ce qui compromet en silence la santé de l'homme et de son environnement. 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), ainsi qu'un échantillon 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 présents dans le sol et les végétaux. Selon 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. Les concentrations moyennes dans les deux espèces végétales (*Moringa oleifera* L., *Ocimum basilicum* L.) du fer, du zinc, de l'arsenic, du cobalt et du plomb varient de 229,24 à 291,8 ppm. Pour les feuilles de Moringa les concentrations sont de 15,13 à 19,73 ppm ; 0 à 7,89 ppm ; 3,48 à 4,54 ppm et 0 à 50,80 ppm respectivement en fer ; en zinc ; en arsenic, en cobalt et en plomb. Pour *Ocimum* elles varient 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. 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 Geological and Mining Research Centre 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. Centre de Recherche Géologique et Minière, Ministère des Mines (CRGM), Niger

***Hama Oumarou***

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

***Mahaman Sanoussi Sani Issa***

International Fertilizer Development Center (IFDC), Niger

***Abdourahamane Tankari Dan Badjo***

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

---

### **Abstract**

In Niamey, industry is a major source of pollutants that are harmful to people and their environment. Many urban industries pay little attention to the pollutants they emit into the environment, which silently compromises human health and the environment. The main objective of this study, carried out over the period from 1 June to 30 August 2024, is to assess the pollution 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, middle and exit of the centre at three depths (0-10cm, 10-20cm and 20-30cm), as well as a control sample. Next, moringa (*Moringa oleifera* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves were collected. Analysis was carried out using the Niton XL3t portable x-ray fluorescence spectrometer to characterise the various contaminants present in the soil and plants. 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 de ses travaux d'analyses, le laboratoire produit des polluants gazeux qui à partir de l'atmosphère retombent dans le sol. Ensuite, à partir d'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 A. 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 centre 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 pourraient compromettre la santé de l'Homme et la fertilité du sol, engendrer 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; To et Id, 2014, Lv et Liu, 2019).

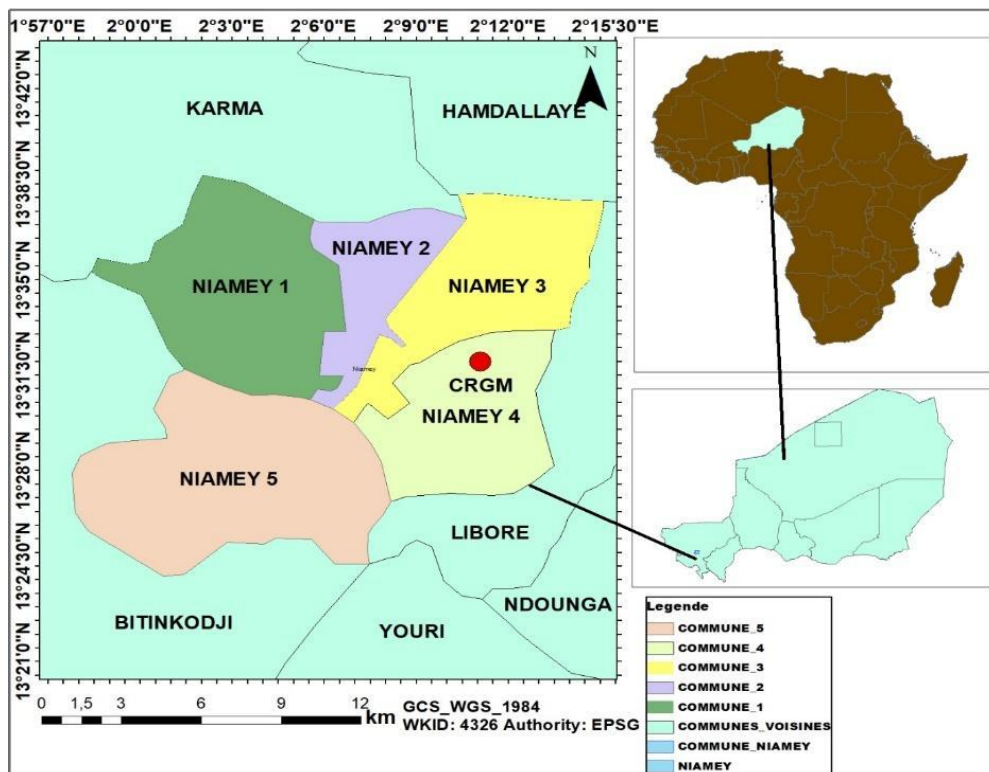
C'est dans cette perspective que la présente étude porte sur l'évaluation de la pollution du sol et des végétaux a été conduite au Centre de Recherche Géologique et Minière (CRGM) de Niamey.

## **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. Dans l'arrondissement communal IV, 3 types de sols sont rencontrés. 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). Les sols à texture sableuse et les sols ferrugineux tropicaux des vallées ensablées. 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 distinctes dont l'une se trouve à l'extérieure du CRGM (zone témoin) tandis que les trois autres sont situées à l'intérieure du CRGM. La zone 1, à l'extérieur du CRGM, est localisée aux coordonnées longitude et Latitude (WGS 1984) 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'autres part un spectromètre à fluorescence X portatif (de type Niton XL3t®).

## **Collecte de données**

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

Pour l'échantillonnage, trois profondeurs du sol (0-10 cm, 0-20 cm et 20-30 cm) ont été retenues en un seul point en plus d'un échantillon témoin. Pour ce faire, trois répliques ont été prélevés 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.

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 pour éviter toute éventuelle contamination.

Par la suite, l'ensemble des échantillons a été transporté au laboratoire pour des analyses chimiques. La quantification des éléments métalliques a été réalisée par spectrométrie à fluorescence X à l'aide du "*Thermo Scientific Niton XL3t*", il capable de détecter une large gamme d'éléments allant du magnésium à l'uranium (Willis *et al.*, 2014). Le principe consiste à irradier l'échantillon par des photons émis depuis une source de rayons X, pour que les atomes de l'échantillon ainsi ionisés émettent un rayonnement de fluorescence dans le domaine des rayons X. 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. Il s'agit de la phase d'émission. 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. 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 mesures 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. Quatre modes de mesure peuvent être utilisés, à savoir les modes « *Soil* » pour une durée de lecture de 90 secondes et « *AllGeo* » pour une durée de 120. Le



mode « *Mining Cu* » et « *Mining Ta* » pour une durée de lecture de 120 secondes chacun (Brouw, 2010).

### Procédure d'analyse multiélément au XRFp

Une fois allumé, le contrôle du spectromètre se fait à partir du logiciel NDTr 5.2x. On procède ainsi au calibrage des paramètres de l'appareil en utilisant des étalons de référence certifiés. Le mode de lecture est choisi, ainsi on passe à l'étalonnage à l'aide des standards. 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). Après avoir fini la lecture des échantillons, un fichier 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 (Oyedotun, 2018). Les concentrations en % des éléments peuvent être converties en partie par million (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).

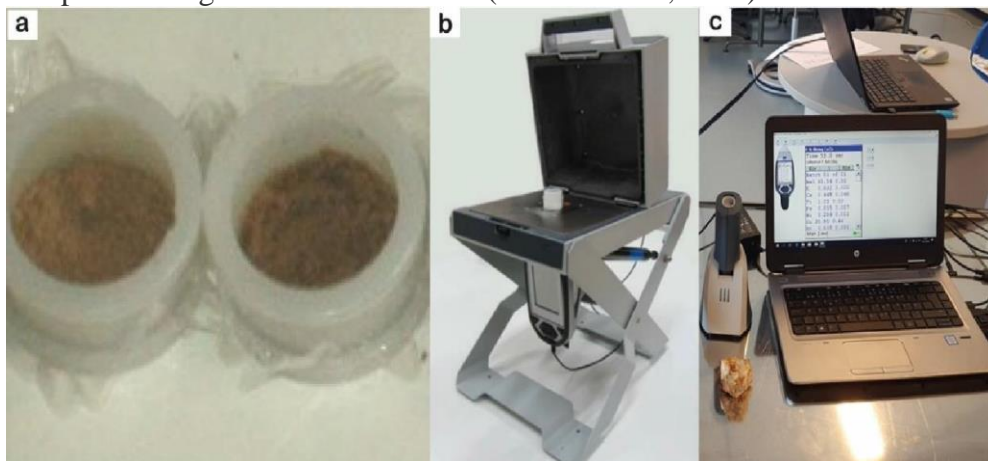


Figure 2 : Etapes de l'analyse au XRF en mode laboratoire

### Calcul de l'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). 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 est 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

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

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

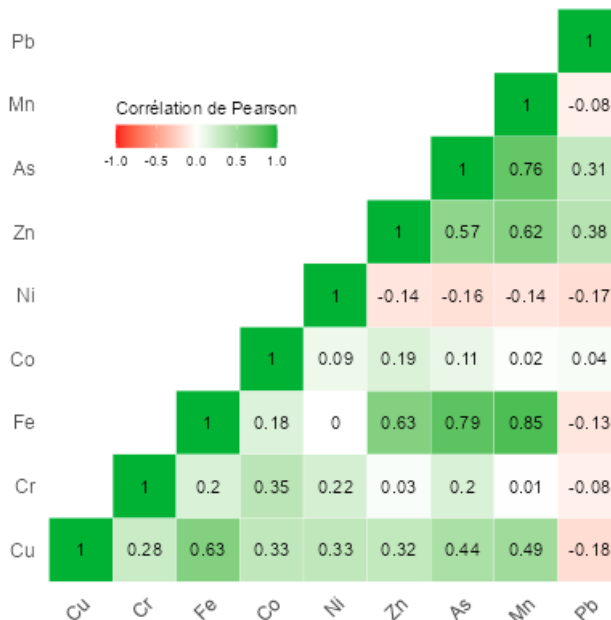
Ce tableau montre que les métaux les moins représentés sont le Cu, Cr, As, Pb, Zn et le Ni avec des valeurs moyennes respectivement de 14.01 ± 14,8ppm ; 6.24 ± 37.5 ; 11.17 ± 15,8ppm ; 32.98 ± 72.4ppm ; 40.80 ± 32.3ppm

et  $30.58 \pm 28.8$  ppm. Les polluants dominants sont le Mn, Co et le Fe de concentrations moyennes respectivement de  $308.34 \pm 691.6$  ;  $80.52 \pm 152.0$  ppm et  $62079.99 \pm 64516.8$  ppm.

**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. De plus une corrélation faiblement positive a été observée entre As-Zn. En revanche, une faible corrélation négative a été observée entre Cu-Mn et Cu-As. Cela pourrait suggérer que les métaux tels que Fe, Mn, As et Cu proviennent d’une source commune et présentent 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 aux tableau 3, 4, 5 et 6 sont exprimées en ppm.

**Concentrations des métaux (en ppm) dans sols :  
 Horizon (0-10cm)**

**Tableau 3:** Comparaison des teneurs en ETM dans les sols l'horizon (0-10cm)

Zones	Symboles	Cu	Ni	Zn	As	Pb	Co	Fe	Mn
<b>Témoin</b>	T10	–	<b>52,74</b>	8,76	–	–	–	16173	127
<b>Zone 1</b>	Entrée	7,68	23,77	82,95	4,77	<b>101,66</b>	146,52	57634	<b>293,36</b>
<b>Zone 2</b>	Centre	<b>36,58</b>	14,15	<b>84,24</b>	<b>36,2</b>	17,77	<b>282,01</b>	<b>173415</b>	1764,39
<b>Zone 3</b>	Sortie	11,82	32,97	32,16	12,28	2,69	67,04	58280	140,49

Légende : – : Non détecté :

Le tableau 3 montre les concentrations en ppm des différents métaux obtenus dans les sols des trois zones au niveau de l'horizon 0-10cm. Globalement la zone 2 est présente des valeurs beaucoup élevées qu'en ETM suivi de la zone 1 : ce qui pourrait être dû à la source atmosphérique des polluants et une faible activité biologique du milieu. En plus les ETM tels que l'arsenic, le plomb et le cobalt sont quasiment absents en zone témoin alors qu'ils sont présents dans toutes les trois zones. Cela confirme les rejets des polluants toxiques par le CRGM.

**Horizon (10-20cm)**

**Tableau 4:** Comparaison des teneurs en ETM dans les sols l'horizon (10-20cm)

Zones	Symboles	Cu	Ni	Zn	As	Pb	Co	Fe	Mn
<b>Témoin</b>	T20	–	<b>58,37</b>	27,57	-	13,97	–	21290	117
<b>Zone 1</b>	Entrée	12,36	<b>48,37</b>	<b>35,85</b>	3,00	<b>52,69</b>	-	48634	208,17
<b>Zone 2</b>	Centre	19,21	22,23	33,70	<b>12,45</b>	<b>15,30</b>	<b>195,52</b>	<b>73478</b>	235,93
<b>Zone 3</b>	Sortie	<b>27,71</b>	39,10	34,55	16,15	9,14	99,35	102631	<b>260,68</b>

Légende : – : Non détecté

Le tableau 4 montre les concentrations en ppm des différents métaux obtenus dans les sols des trois zones au niveau de l'horizon 10-20cm. La zone 2 qui est proximité de l'unité de la mise en solution présente des valeurs beaucoup élevées qu'en ETM suivi de la zone 3 : ce qui pourrait s'expliquer en admettant que l'Unité Mise en solution rejette plus des polluants que les autres unités du laboratoire.

### Horizon (20-30cm)

**Tableau 5:** Comparaison des teneurs en ETM dans les sols l'horizon (20-30cm)

Zones	Symboles	Cu	Ni	Zn	As	Pb	Co	Fe	Mn
<b>Témoin</b>	T30	<b>4</b>	-	16,84	-	<b>8,87</b>	-	229,24	-
<b>Zone 1</b>	Entrée	-	52,19	<b>27,14</b>	4,47	25,75	-	26166	185,72
<b>Zone 2</b>	Centre	13,21	<b>52,19</b>	<b>27,14</b>	4,97	<b>16,96</b>	-	<b>37513</b>	<b>205,2</b>
<b>Zone 3</b>	Sortie	<b>16,70</b>	52,19	27,14	<b>16,47</b>	6,65	<b>159,77</b>	26166	114,5

Légende : - : Non détecté

Le tableau 5 montre les concentrations en ppm des différents métaux obtenus dans les sols des trois zones au niveau de l'horizon 20-30cm ainsi que dans la zone témoin (hors du centre). La zone 3 présente des valeurs beaucoup élevées en ETM suivi de la zone 2. Ce qui implique un éventuel transfert par lessivage qui concentre les ETM en profondeur du sol (dernier horizon).

### Concentrations des métaux (en ppm) dans les plantes, *Moringa oleifera* et *Ocimum*

**Tableau 6:** Comparaison des teneurs en ETM dans les plantes

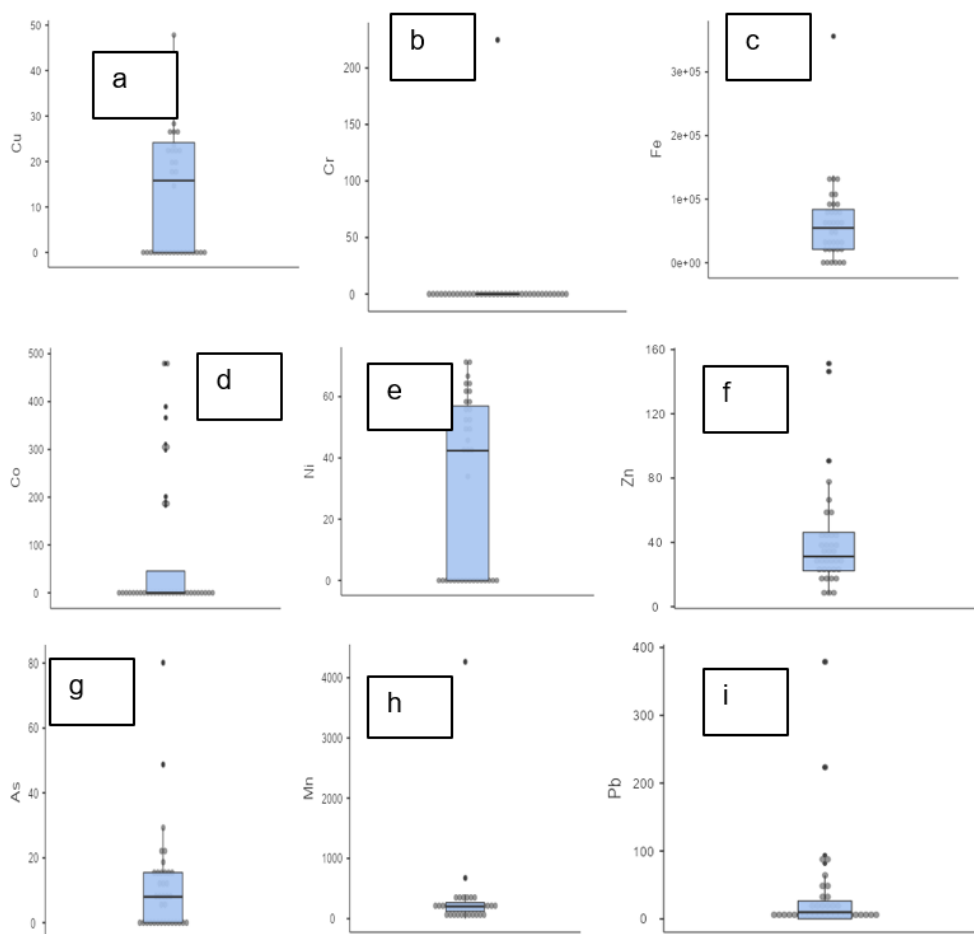
Zones	Plantes	Cu	Cr	Fe	Co	Ni	Zn	As	Mn	Pb
<b>Zone 1</b>	Moringa	0	0	229,24	0	0	16,84	0	0	0
	Basilic	0	0	544,03	0	0	<b>46,15</b>	<b>48,75</b>	0	<b>378,8</b>
<b>Zone 2</b>	Moringa	0	0	291,8	0	0	19,73	<b>7,89</b>	0	0
	Basilic	0	0	271	0	0	21,93	0	0	0
<b>Zone 2</b>	Moringa	0	0	206	0	0	15,13	0	0	0
	Basilic	0	0	535,4	0	0	66,42	0	0	<b>6,75</b>

Le tableau 6 montre les concentrations en ppm des différents métaux obtenus dans les plantes (*Moringa oleifera* et *Ocimum*). Les métaux tels que le plomb, l'arsenic et le cobalt sont pratiquement faibles (zone 1 et 2) et nuls comme les autres métaux dans le reste des zones d'études. Ce qui réduit de risque mortel des contaminations des plantes au CRGM.

En examinant les valeurs du tableau 3, 4, 5 et 6, il apparaît que les concentrations retrouvées en ETM pseudo-totaux et disponibles sont significativement plus élevées dans le sol et dans les plantes du CRGM que dans le milieu témoin (situé en hors du centre) comme prévu. Néanmoins, il est important de noter que dans *Ocimum basilicum*, les concentrations d'Arsenic, et de Plomb respectivement de 48,75 ppm et 387,89 ppm sont nettement supérieures à celles observées dans le sol et chez *Moringa oleifera*. De 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.

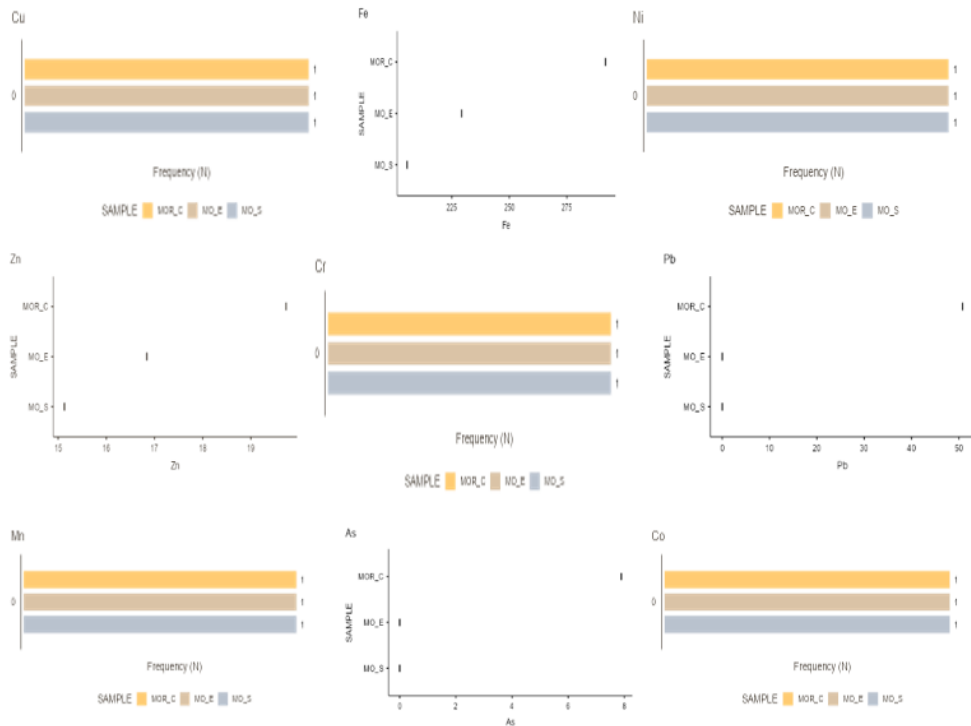


**Figure 3 :** Répartition globale des polluants en ppm dans le sol au CRGM : a) Cu ; b) Cr ; c) Fe ; d) Co ; e) Ni ; f) Zn ; g) As ; h) Mn ; i) Pb.

Selon la répartition des échantillons des sols prélevés au CRGM (figure 3), environ 75% des échantillons présentent des concentrations inférieures à 50 ppm en Cu en Ni, en As, en Co et en Cr. Et, plus de 75% des échantillons affichent des concentrations inférieures à 100 ppm en Pb, en Co, en Mn et seulement le Fer est représenté dans des échantillons où toutes les concentrations sont extrêmement élevées.

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

La figure présente les résultats des données recueillies au CRGM de Niamey. Elle met en évidence, les éléments traces métalliques tels que Mn, Zn, As, Ni, Co, Fe, Cu, Pb de concentrations variables 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 l’ensemble du 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.



## Valeur de l'Index de pollution par les ETM dans les sols en fonction de zones

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. Dans l'horizon de 0 – 10 cm, l'IP est supérieure à 1 uniquement dans la zone 3 (à la sortie), confirmant sa pollution. L'index le plus bas (0,52) est observé au niveau de la zone 2 située au niveau de l'entrée, ce qui confirme le niveau le moins pollué du site.

## 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 au 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 Nickel montre des concentrations systématiquement plus élevées dans les témoins que dans le sol du CRGM et dans les deux plantes étudiées. 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 illustrent la contribution polluante des rejets provenant des activités du CRGM. Le métal de Chrome est quasiment absent dans les zones mais présents dans le sol témoin (6.24 ppm), ce qui suggère une probable influence des roches-mères d'où proviennent les sols. 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 par la contribution des roches encaissantes (processus naturel) conjuguée aux rejets du CRGM (pollution anthropologique) comme le soulignent plusieurs auteurs (Villanneau *et al.*, 2008; Smouni *et al.*, 2015; Mod, 2020). Ces polluants trouvés dans les sols au sein du CRGM semblent liés non seulement aux

activités humaines au sein du centre mais aussi à 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, l'absence de contamination de *Ocimum basilicum* en Pb et en Cr témoigne la faible gravité des risques sanitaires et environnementaux, bien qu'un danger sanitaire à long terme ne puisse être exclu (Mod, 2020). Ces résultats sont similaires à ceux de (Dan-Badjo et al., 2013) qui ont également identifié ces 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 1 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, De rejets au niveau des unités de préparation mécanique, de fusion plombeuse, et de mise en solution-petite chimie à travers la Sorbonne qui aspire l'air et le refoule contribuent à cette pollution. En somme les éléments traces métalliques sont inhérents dans l'environnement, se trouvant naturellement dans le sol, l'eau et l'air. Toutefois, 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).

En effet, l'ingestion ou l'inhalation du Pb peut avoir divers effets toxiques (anémie) et chroniques (atteintes du système nerveux) et perturbation des fonctions phytoplancton et du sol (Meng M. & Zhou J., 2020). L'arsenic détruit la forêt et la biodiversité ; stérilisation totale des sols et est reconnu comme cause des Cancers de poumon, problèmes respiratoires (Villanneau E. et al., 2008). Le nickel détruit la biodiversité, il contribue à la stérilisation totale des sols et est cancérogène (Zaakour F. & Chemsî K., 2014). 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). 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 au sein 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 en raison de leurs propriétés physico-chimiques. Ils sont toxiques, cancérigènes et mortels même à faible dose comme il a été mentionné par certains auteurs (Balambula *et al.*, 2018; 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). En effet, le chrome est Cancérogène, provoque des troubles digestifs (gastro- entérite hémorragique), insuffisance hépatocellulaire et insuffisance rénale (Zaakour F. & Chems K., 2014). En plus, le manganèse et le Zinc sont respectivement reconnus comme responsables des irritations de la peau, l'anémie, endommage le pancréas ; désordres respiratoires et provoquent des problèmes respiratoires ; dommage au foie et aux reins ; altération du matériel génétique (Zhang *et al.*, 2024).

Les émissions de tous ces polluants identifiés 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 en raison de leur toxicité aigüe et de leur potentiel létal 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 d'inhalation pour les travailleurs et les populations vivant à proximité des industries, car ceux sont les personnes les plus exposées. Il serait aussi pertinent 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. Des mesures de 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 réalisables et économiquement viables grâce à des filtres, des cyclones, des électrofiltres ou des cyclones.

### **Conclusion**

Cette étude visait à 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 relèvent des variations significatives 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 indique 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 cancérogènes pour la population vivant dans cette zone.

**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. CHASSIN, P., BAIZE, D., CAMBIER, Ph, et Sterckeman, T. Les éléments traces métalliques et la qualité des sols. *Impact à moyen et à long terme. Etud. Gestion Sols*, 1996, vol. 3, p. 297-306.
  5. 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>
  6. 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>
  7. De, D., & Toulouse, D. E. (2012). 2012Tou30090.
  8. Desaulles, 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>
  9. France, E. (2000). *Teneurs totales en métaux lourds dans les sols fra.*
  10. 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.
  11. 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)
  12. 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>

13. 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>
14. 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>
15. Mod, I. D. (2020). *EXPOSITIONS AU Synthèse des données disponibles : sources, émissions, exposition et toxicité pour l ' homme.*
16. 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.*
17. 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>
18. 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>
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 anormales 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., & Chemsî K., K. M. Z. (2014). Concentrations En Elements Traces Metalliques Dans Les Sols Irrigues Par Les Eaux Usees Dans L'Ouest Merzég (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.