

EVALUATION DE LA CONTAMINATION DES SOLS PAR LES ELEMENTS TRACES METALLIQUES DANS LES ZONES URBAINES ET PERIURBAINES DE LA VILLE DE NIAMEY (NIGER)

TANKARI DAN-BADJO A.^{1*}, GUERO Y.¹, DAN LAMSO N.¹, TIDJANI A.D.¹, AMBOUTA K.J.M.¹, FEIDT C.², STERCKEMAN T.³ et ECHEVARRIA G.³

1. Département Science du sol, Faculté d'Agronomie de Niamey - Université Abdou Moumouni de Niamey, BP : 10960 Niamey – Niger,

2. UR AFPA, Université de Lorraine, INRA, TSA 40602, 54518 Vandoeuvre-Les- Nancy, France

3. LSE, Université de Lorraine, INRA, TSA 40602, 54518 Vandoeuvre-Les- Nancy, France

Résumé: La présente étude s'inscrit dans un programme de recherche sur les contaminants chimiques en zones urbaines, et porte sur la détermination des éléments traces métalliques (ETM) dans les sols de la ville de Niamey. Pour cela, des échantillons des sols ont été prélevés sur 10 sites urbains dont 1 site témoin isolé de toute source de pollution, et leurs teneurs en ETM (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) ont été déterminées par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS). Les résultats obtenus montrent que les concentrations totales en ETM dans les sols diffèrent en fonction du site et du métal considéré. Elles varient de 1,36 à 13,70 mg/kg pour l'As ; 0,23 à 1,79 mg/kg pour le Cd ; 2,36 à 19,13 mg/kg pour le Co ; 26,26 à 71,11 mg/kg pour le Cr ; 8,24 à 228,30 mg/kg pour le Cu ; 8,67 à 50, 71 mg/kg pour le Ni ; 8,91 à 779,91 mg/kg pour le Pb et de 61,51 à 12220 mg/kg pour le Zn. Dans les sols urbains de Niamey, la détection des métaux comme le Pb, le Cu, et le Zn, qui ont des effets néfastes sur la santé humaine, à des concentrations au dessus des limites autorisées, est une source d'inquiétude concernant leur transfert dans la chaîne alimentaire. Les résultats de la présente étude devraient permettre aux autorités de la ville de Niamey de prendre des mesures visant la prévention des risques, notamment en réglementant les types de cultures en fonction du niveau de contamination des sols ou en interdisant l'usage à des fins agricoles des sols, dont les teneurs en ETM dépassent les seuils réglementaires.

Mots clés : Contamination, ETM, Seuils, Sols, Niamey

ASSESSMENT OF TRACE METALS CONTAMINATION IN URBAN AND SUBURBAN SOILS FROM NIAMEY CITY, NIGER

Abstract: This study is part of a research program on chemical contaminants in urban areas, and focuses on the determination of trace metals in soils of the Niamey. For this purpose, soil samples were collected from 10 urban sites and their metals concentrations (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) after acid digestion. The results show that metals concentrations in soils differ depending on the element analyzed and the site. They range from 1.36 to 13.70 mg/kg for As, 0.23 to 1.79 mg/kg for Cd, from 2.36 to 19.13 mg/kg for Co, 26.26 to 71.11 mg/kg for Cr, 8.24 to 228.30 mg/kg for Cu, 8.67 to 50, 71mg /kg for Ni, 8.91 to 779.91 mg/kg for Pb and 61.51 to 12,220 mg/kg for Zn. Detection, in Niamey urban soils, of the metals as Cd, Cu, Ni, Pb and Zn that have adverse effects on human health at concentrations above the permitted limits is a concern about their transfer into the food chain. The results of this study should enable the Niamey authorities to take measures for the risks prevention, by regulating the crops types depending on the soil contamination level, or prohibiting prior to remediation, the use for agricultural land whose metals concentrations exceed regulatory thresholds.

Keywords: Contamination, Trace metals, Thresholds, Soils, Niamey

Introduction

La forte croissance démographique que connaissent les pays en développement

et leurs conditions économiques difficiles entraînent une urbanisation anarchique et incontrôlée. Niamey, capitale du Niger,

ville sahélienne dont la population a été multipliée par 20 au cours de ces quarante dernières années, n'échappe pas à ce constat. De cette extension de la ville, résulte un développement de secteurs industriel, hospitalier et routier entraînant un rejet de divers polluants dans l'environnement urbain. A ceux-ci, on peut ajouter les polluants issus des décharges publiques à ciel ouvert, des activités agricoles, trafic routier ou des activités informelles (incinération des déchets, brûlage de pneus, cuissons diverses, eaux usées, etc.). La particularité du problème de la pollution métallique au Niger en général et à Niamey en particulier, réside d'une part dans la multiplicité des sources d'émissions polluantes et d'autre part dans l'absence systématique ou le non respect des normes d'émissions polluantes quand elles existent. A titre d'exemple, on peut noter l'utilisation des eaux usées non traitées pour l'irrigation des cultures maraîchères. Parmi ces contaminants chimiques, on peut distinguer les polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques, dioxines, polychlorobiphényles...), des éléments traces métalliques (ETM), dont certains sont potentiellement cancérigènes et mutagènes [1, 2]. Les ETM tels que l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn) sont des composés chimiques qui peuvent être présents à différents niveaux de concentration dans l'environnement. Cette présence est souvent occasionnée par les activités anthropiques notamment l'agriculture, l'élevage, l'industrie et le transport. Les humains peuvent être exposés aux ETM par leur présence dans les sols et dans l'atmosphère ou à travers la consommation de denrées alimentaires ou d'eau contaminées. L'accumulation des

ETM dans l'organisme peut avoir des effets nocifs au fil du temps.

Aux alentours des zones urbaines et périurbaines de la ville de Niamey, se développent des activités agricoles (maraîchage, riziculture, arboriculture) et d'élevage destinées principalement à approvisionner les marchés locaux en légumes, fruits, riz, viandes et laits. Ces productions sont alors susceptibles d'être contaminées par les ETM car effectuées dans des zones potentiellement polluées et irriguées souvent avec des eaux usées brutes. Cela pourrait engendrer un risque de contamination humaine à travers la consommation de ces produits.

Plusieurs études ont été conduites à travers le monde sur la contamination des sols urbains par les métaux [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Cependant au Niger en général, et à Niamey en particulier, les données sur les teneurs en métaux dans les matrices environnementales et en particulier dans les sols sont extrêmement rares voire inexistantes. Cette étude vise donc à remédier à ce manque de connaissance sur la pollution métallique en recherchant l'existence, l'importance relative, et l'origine de cette pollution des sols dans les zones urbaines de Niamey.

1. Matériel et méthodes

1.1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude est Niamey, capitale du Niger, située sur les rives du fleuve Niger qui sépare la ville en deux parties inégales : rive gauche localisée au Nord de la ville est la plus étendue et la plus peuplée et la rive droite. Avec une population estimée à 1,5 millions d'habitants en 2010 [11], la ville couvre une superficie de 115 km² et divisée en 5 arrondissements eux-mêmes subdivisés en

quartiers. La plupart des activités notamment administratives, industrielles, agricoles et commerciales sont localisées en rive gauche. En revanche, la rive droite peu étendue, inondable en partie en période de grandes crues, s'est développée après la construction du pont reliant les deux rives en 1972.

L'urbanisation anarchique de la ville de Niamey, l'accroissement démographique accéléré et le manque ou l'insuffisance d'infrastructures adéquates d'assainissement engendrent des rejets de divers polluants dans l'environnement qui sont susceptibles de contaminer les matrices environnementales notamment les sols.

1.2. Choix des sites de prélèvement

Le choix des sites répond à un souci de représentativité des différentes situations de pollution existant dans la zone d'étude. Une dizaine de sites ont été choisis dans les zones urbaines et périurbaines (Figure 1) de Niamey dont 1 site témoin (T) isolé de toutes sources de

pollution métallique, les 9 autres sites (S1 à S9) ont été retenus non seulement en fonction de leur proximité à des sources de pollution mais aussi de la présence des activités agricoles : le site de l'Hôpital de Niamey qui reçoit les eaux usées brutes hospitalières (S1) ; les sites de l'ENITEX (S2) et la BRDUNI (S3) recevant respectivement les eaux usées de l'industrie textile et de la brasserie du Niger; la tannerie de Gamkallé (S4) ; le centre de préparation (brulage) des têtes et pattes de bovins et des ovins, localisé à proximité d'une décharge (S5) ; les sites de Gounti Yena (S6 et S7), zone de culture maraîchère de la ville de Niamey, cernée par de multiples sources de pollution : routes, décharges sauvages, eaux usées brutes ; les sites de la mare (S8) et de la décharge (S9) de la ceinture verte recevant des déchets et des eaux usées de la commune 3 de Niamey ; et enfin le site témoin (T) isolé de toute source de pollution métallique , localisé également dans la ceinture verte.

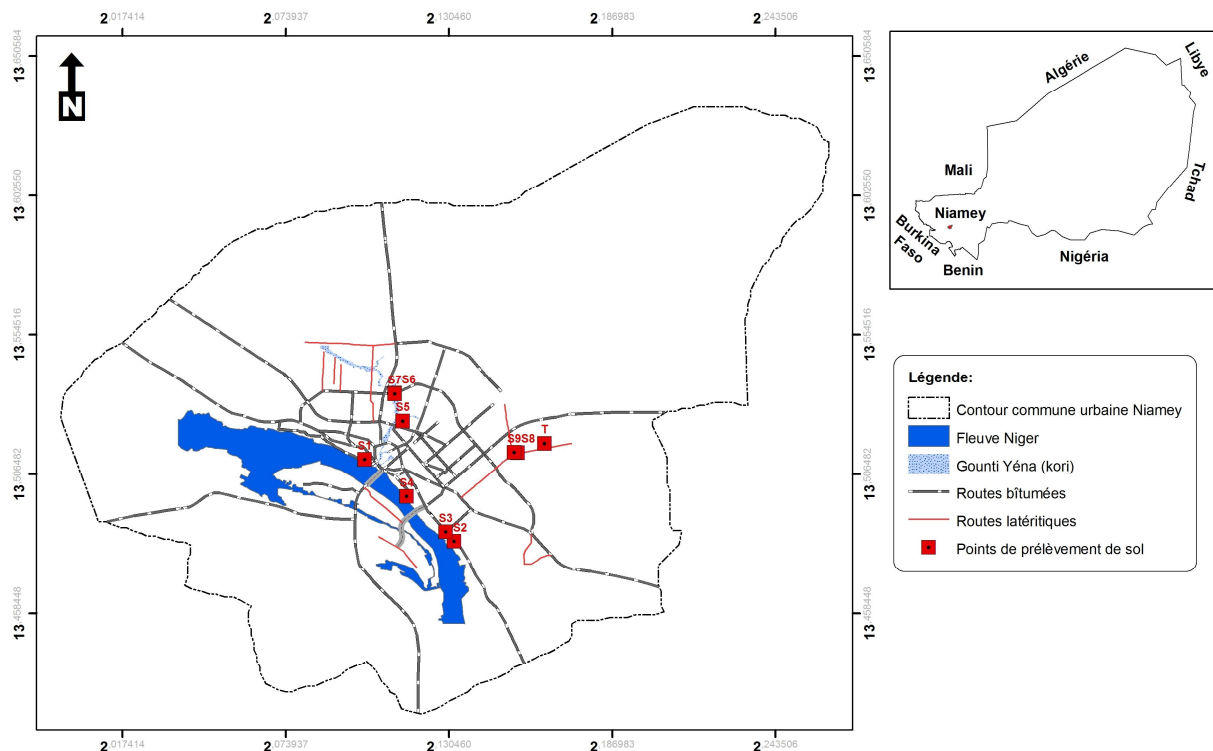


Figure 1: Situation géographique de la ville de Niamey et localisation des sites de prélèvements des sols

1.3. Prélèvement des échantillons de sols

Le prélèvement des échantillons de sols a concerné l'ensemble de nos 10 sites. Les échantillons de sol sont prélevés le plus près possible de la source polluante sur une surface de 50 cm de largeur et 100 cm de longueur et à une profondeur comprise entre 0 et 10 cm. Le prélèvement est fait dans un tube de 10 cm de hauteur et

10 cm de diamètre. Au niveau de chaque site, un échantillon composite (0,5 à 1 kg de sol) est réalisé à partir de 5 prélèvements élémentaires. Cet échantillon est conditionné en sachet plastique propre et bien identifié. Au total 10 échantillons composites de sol ont été constitués et leurs caractéristiques sont données dans le tableau 1.

Tableau 1: Description des échantillons de terre prélevés dans la ville de Niamey

Site	Code	Coordonnées GPS	Nature de l'échantillon
Témoin	T	Lat. : N 13°31'01.6" Long. : E 002°09'49.0" Alt. : 220 m	Sol végétalisé
Station d'épuration des eaux usées de l'hôpital national de Niamey	S1	Lat.: N 13°30'41.9" Long.: E 002°06'04.8" Alt.: 192 m	Boues d'épuration
ENITEX	S2	Lat.: N 13°28'59.9" Long.: E 002°07'56.1" Alt.: 184 m	Sol végétalisé
BRADUNI	S3	Lat.: N 13°29'11.8" Long.:E 002°07'45.9" Alt.: 190 m	Sol végétalisé
Tannerie de Gamkallé	S4	Lat.: N 13°29'55.7" Long.: E 002°06'57.2" Alt.: 195 m	Sol - résidus de tannerie
Centre de cuisson de Katako	S5	Lat.: N 13°31'29.0" Long.: E 002°06'52.1" Alt.: 209 m	Sol - résidus de cuisson
Route Gounti Yena Est	S6	Lat.: N 13°32'03.2" Long.: E 002°06'42.1" Alt.: 212 m	Sol routier
Route Gounti Yena Ouest	S7	Lat.: N 13°32'02.6" Long.: E 002°06'42.0" Alt.: 205 m	Sol routier
Mare de ceinture verte	S8	Lat. : N 13°30'50.4" Long.: E 002°09'15.6" Alt.: 221 m	Boues
Décharge de Ceinture verte	S9	Lat.: N 13°30'50.6" Long.: E 002°09'10.9" Alt.: 223 m	Sol de décharge

1.4. Extraction et dosage des métaux des échantillons de sols

Les échantillons de sols ont été séchés à une température ambiante (< 40°C), broyés et tamisés à 2 mm au laboratoire du Département Science du Sol de la Faculté d'Agronomie de Niamey. L'extraction et le dosage des ETM totaux dans les sols ont été réalisés au Centre de Recherches Pétrochimiques et Géochimiques de Nancy (France) par le Service d'Analyse des Roches et des Minéraux (SARM). La mise en solution de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn a été effectuée

à l'aide d'un mélange d'acide fluorhydrique et perchlorique (HClO₄) selon la norme NF X 31-151. L'analyse est effectuée par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP/MS) [10].

1.5. Calcul de l'index de pollution par les ETM dans les sols

L'Index de pollution (IP) est un critère permettant d'évaluer la toxicité d'un sol par assemblage de plusieurs métaux. Il est calculé par le rapport des concentrations des métaux dans le sol sur

la base des valeurs ajustées correspondant aux niveaux tolérables des concentrations des métaux dans le sol. Il est déterminé par la formule suivante:

$IP = [(Cd/3 + Cu/100 + Pb/100 + Zn/300)/4]$ [7, 12] ; IP > 1 correspond à un sol pollué par plusieurs métaux.

2. Résultats et discussion

2.1. Concentrations en ETM dans les sols de la zone d'étude

Les résultats des analyses statistiques des concentrations des ETM dans les sols urbains et périurbains de Niamey sont donnés dans le tableau 2. Ces résultats montrent que les valeurs de concentration des ETM sont très disparates et varient de 1,36 à 13,70 mg/kg pour l'As ; 0,23 à 1,79 mg/kg pour le Cd ; 2,39 à 19,13 pour le Co ; 26,26 à 71,11 mg/kg pour le Cr ; 8,24 à 228,30 pour le Cu, 0,57

à 4,03 mg/kg pour le Mo ; 8,67 à 50,71 mg/kg pour le Ni ; et 8,91 à 779,91 mg/kg et 61,51 et 12220,00 mg/kg respectivement pour le Pb et le Zn. La concentration moyenne la plus élevée est obtenue pour le Zn, suivie par ordre décroissant de celles de Pb, Cu, Cr, Ni, Co, As, Mo et Cd. Les gammes de concentrations en As, Cd, Cr, et Cu enregistrées dans les sols de la ville de Niamey sont comprises dans celles trouvées dans les sols de la ville de Changchun en Chine qui varient respectivement de 6,1 à 67,7 ; 0,028 à 11,03 ; 48,8 à 276 et 15,9 à 437,3 mg/kg [8]. Par contre les teneurs en Pb et Zn de la présente étude sont plus élevées que celles obtenues dans cette même ville. Dans une étude sur la distribution spatiale des métaux dans les sols d'Islamabad en Pakistan, des teneurs moyennes en Pb (202 mg/kg) et en Zn (1634 mg/kg) relativement proches de celles obtenues dans la présente étude ont été rapportées [9].

Tableau 2: Niveaux des concentrations des éléments traces métalliques (mg/kg) dans les sols de Niamey. Les données représentent les valeurs obtenues dans les échantillons de sols (n=10) collectés dans les horizons de surface (0-10 cm).

ETM	Min	Max	Moyenne
As	1,36	13,70	5,06
Cd	0,23	1,79	0,72
Co	2,36	19,13	7,38
Cr	26,26	71,11	41,16
Cu	8,24	228,30	54,21
Mo	0,57	4,03	1,34
Ni	8,67	50,71	22,13
Pb	8,91	779,91	165,90
Zn	61,51	12220,00	1506,24

2.2. Concentrations des ETM dans les différents sols de Niamey comparées avec les valeurs réglementaires

Les concentrations des ETM dans les échantillons de sols prélevés dans la ville de Niamey sont données dans le tableau 3 en fonction du site. Les sept éléments traces métalliques recherchés As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn ont été détectés sur tous les sites. Les valeurs de concentrations obtenues varient en fonction du site de prélèvement et de l'élément métallique considérés. La prédominance de la concentration d'un

métal est fonction du site mais d'une manière générale sur nos différents sites d'étude, la séquence des teneurs en ETM dans les sols est $Zn > Pb > Cu > Cr > Ni > As > Cd$. Ce résultat suggère que la contamination du sol dépend du site et en particulier de la présence de sources de pollution dans ou à proximité du site. En absence des normes nationales ou provenant des pays à situation comparable, pour l'analyse de nos résultats, nous avons utilisé par défaut des normes occidentales ou mondiales des ETM dans les sols utilisés à des fins agricoles.

Tableau 3: Teneurs en éléments traces métalliques (ETM : As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) dans les sols de Niamey en fonction des différents sites (mg/kg)

Sites	Code	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Témoin	T	1,36	0,23	26,26	8,24	8,67	8,91	61,51
Station d'épuration des eaux usées de l'hôpital national de Niamey	S1	7,64	1,67	71,11	228,30	50,71	85,09	1703,00
ENITEX	S2	3,98	0,30	43,19	19,32	16,94	14,95	70,59
BRADUNI	S3	4,91	0,44	39,13	12,70	19,38	29,57	57,43
Tannerie de Gamkallé	S4	13,70	1,72	51,10	161,00	35,07	22,53	407,10
Centre de cuisson de Katako	S5	3,18	1,79	22,78	40,96	18,13	94,70	12220
Route Gountou Yena Est	S6	5,87	0,17	46,52	14,86	19,38	779,91	80,07
Route Gountou Yena Ouest	S7	4,55	0,3	49,21	13,75	18,13	20,23	91,45
Mare de ceinture verte	S8	2,02	0,30	35,69	28,70	22,91	526,82	191,30
Décharge de Ceinture verte	S9	3,39	0,32	26,62	14,27	14,74	76,29	179,90
Valeurs normales	VN	6 ⁽¹⁾	1 ⁽²⁾	150 ⁽³⁾	100 ⁽⁴⁾	50 ⁽⁵⁾	100 ⁽⁶⁾	300 ⁽⁷⁾

■ Concentration ne respectant pas la valeur normale ou la norme réglementaire

¹ Moyenne mondiale des sols non contaminés en As [13]

² Valeur de référence pour le Cd de l'Agence britannique pour les sols des zones urbaines

³ Valeur limite en Cr [18]

⁴ Niveau tolérable de concentration de Cu dans les sols (NFU 4405)

⁵ Valeur limite en Ni [18]

⁶ Valeur critique en Pb indiquée par l'OMS [25]

⁷ Valeur critique en Zn indiquée par l'OMS [28]

As dans les sols

Les concentrations de As dans les échantillons des sols analysés varient de 1,36 à 13,70 mg/kg. La teneur en As la plus élevée est obtenue au niveau du site de la tannerie (S4). 2 sites sur 10 présentent des teneurs supérieures à la moyenne mondiale des sols non contaminés en As (6 mg/kg) [13]. Les valeurs guides pour les sols contaminés en As sont fixées à 20 mg/kg et 29 mg/kg respectivement par la législation italienne et par l'agence hollandaise pour la protection de l'environnement. Aucun de nos 10 sites ne présente une concentration au dessus de cette norme. Les teneurs en As détectées dans les sols de la ville sont donc normales et proviennent de sources naturelles en grande partie. La littérature indique des teneurs en As dans les sols de l'ordre de 8 à 25 mg/kg à Moscou [14] en Russie. Des valeurs de concentrations similaires ont été également trouvées à Pforzheim [15] en Allemagne. Et à Oslo (Norvège) des concentrations variant de 3 à 69,6 mg/kg ont été observées dans les sols [16].

Cd dans les sols

Les concentrations de Cd dans les sols étudiés s'échelonnent de 0,17 à 1,79 mg/kg. Les teneurs en Cd sont 1,1 à 7,8 fois supérieures à celle du témoin excepté le sol du site S6 (Gounti Yena Est : 0,17 mg/kg) qui présente une teneur inférieure à celle du témoin (0,23 mg/kg). Les sols prélevés au centre de cuisson de Katako (S5), à la tannerie de Gamkalley (S4) et à la station d'épuration de l'hôpital national (S1) présentent des concentrations de Cd les plus élevées, suivies de celles relevées des sites de Gounti Yena Ouest (S7) et de la mare de la ceinture verte (S8). Les sites S1, S4 et S5 ont une teneur en Cd supérieure au seuil de 1 mg/kg fixé par

l'agence britannique de l'environnement comme valeur de référence pour les sols de zones urbaines. Ces teneurs en Cd élevées au niveau de ces sites proviendraient essentiellement de la combustion des carburants fossiles et de l'incinération des déchets urbains. Les concentrations de Cd dans nos échantillons de sols (0,17 à 1,72 mg/kg) sont plus élevées que celles obtenues dans la ville de Lagos [17]. Elles sont proches de celles observées dans les sols de Seine-Marne en France (0,09 à 1,80 mg/kg) [18]. Par contre, elles sont faibles comparativement à celles obtenues à Ngaoundéré (0,48 à 7,74 mg/kg), [19] à Berlin (54 mg/kg) [20], à Gibraltar (318mg/kg) [21] et à la valeur extrême de 833 mg/kg enregistrée à Calcutta [22] du fait de la présence de fortes activités de fonderie éparpillées dans cette ville. Le Cd a été détecté sur l'ensemble de nos sites d'investigation à des concentrations relativement élevées, indiquant ainsi l'ubiquité de ce métal toxique dans notre environnement d'où la nécessité d'une surveillance soutenue de ces sites.

Cr dans les sols

Les concentrations de Cr dans les sols de la ville de Niamey vont de 26,26 à 71,11 mg/kg. Les concentrations les plus élevées sont détectées au niveau du site S1, suivies par ordre décroissance de S4, S7 et S6. Les valeurs de concentrations de Cr de la présente étude sont inférieures au seuil de référence (150 mg/kg) marquant la différence entre sols non contaminés et sols contaminés selon la norme française NF U44-041 [18]. Cependant elles sont comparables aux teneurs de 55 mg/kg et 31 mg/kg observées respectivement dans les zones industrielles et dans les zones urbaines de Detroit [23]. Des concentrations plus élevées ont été observées dans les sols d'Addis Abéba (50 – 269 mg/kg) [6].

Cu dans les sols

La concentration du Cu dans nos échantillons de sols varie de 8,24 à 228,30 mg/kg. Les teneurs en Cu les plus élevées sont enregistrées au niveau des sites S4 et S1 avec respectivement 161 et 228,3 mg/kg. Aussi la teneur la plus faible (8,24 mg/kg) est observée au niveau du site témoin. Sur les 10 sites investigués, 3 sites présentent des teneurs en Cu supérieures à la moyenne mondiale des sols non contaminés en Cu (30 mg/kg) et seulement 2 sites (S1 et S4) dépassent aussi bien les niveaux tolérables de concentration de Cu dans les sols (100 mg/kg) que la valeur de concentration critique du sol en Cu (125 mg/kg). Cette dernière est définie comme étant la valeur au-dessus de laquelle la toxicité est possible [24]. Les villes du Nigeria, Ibadan et Abuja ont une teneur faible en Cu, et Lagos présente une teneur en Cu comprise entre 0,10 à 2,90 mg/kg dans les sols [17], inférieure à celle de nos échantillons. Par contre des concentrations de Cu, supérieures aux nôtres et particulièrement élevées ont été observées dans les sols de Berlin (1840 mg/kg) et de Gibraltar (18500 mg/kg).

Ni dans les sols

Les teneurs en Ni dans les sols étudiés varient de 8,67 à 51,71 mg/kg. Ces valeurs sont supérieures à 5 mg/kg, qui est une valeur limite séparant un sol contaminé en Ni et un sol non contaminé selon les valeurs guides [13] relatives aux teneurs moyennes mondiales des métaux dans les sols non contaminés. En effet les concentrations de Ni dans nos échantillons de sols sont 1,7 à 10,3 fois plus élevées que la valeur limite de Bowen pour le Ni. Les concentrations les plus fortes ont été obtenues au niveau de S1 et S4. Cependant en comparant les teneurs en Ni de la présente étude avec la norme française NF U44-041 [18] fixée à 50 mg/kg, seul le site S1 présente une concentration supérieure à

cette norme. Les niveaux de Ni dans les sols observés dans cette étude sont assez proches de ceux révélés (44,06 – 58,03 mg/kg) au Cameroun dans les sols urbains de Ngaoundéré [19] et de 6,2 à 47,4 mg/kg détectés dans les sols agricoles de Seine et Marne en France [18]. Aussi des teneurs en Ni très élevées dans les sols ont été obtenues à Gibraltar (648 mg/kg) [21] et dans le centre de Berlin (769 mg/kg) [20].

Pb dans les sols

Les concentrations de Pb dans nos échantillons de sols varient de 8,91 à 779,91 mg/kg. Les concentrations de Pb dans les sols urbains de Niamey sont jusqu'à 84 fois supérieures à celle du sol témoin. La concentration de Pb la moins forte est détectée au niveau du site S2. 5 sites sur 10 présentent des concentrations de Pb inférieures à la moyenne mondiale des teneurs en Pb des sols non contaminés, établie à 35 mg/kg [13]. Les teneurs les plus élevées sont détectées sur les sites S7 et S8, avec respectivement 779 et 526 mg/kg. Ces valeurs de concentration de Pb sont très nettement supérieures au seuil de référence de 500 mg/kg établi pour les sols fortement contaminés en Pb. 2 autres sites S1 et S5 présentent des valeurs de Pb assez proches de la valeur de 100 mg/kg fixée par l'OMS dans les sols [25]. La littérature indique des concentrations moyennes de Pb de 0,02 à 0,23 mg/kg dans les sols urbains de Lagos au Nigeria [17], de 117 à 528 mg/kg dans les sols périurbains de Ngaoundéré [19] et de 9,8 à 107 mg/kg dans les sols agricoles de Seine et Marne [18]. Les concentrations de Pb obtenues dans notre étude sont supérieures à celles retrouvées dans des sols urbains des autres villes. A Ibadan [3], par exemple, une concentration moyenne de 5 mg/kg est rapportée dans les sols en milieu urbain. A Addis-Abéba [6] et à Danan au Vietnam [26], des teneurs maximales de 20 mg Pb/kg ont été trouvées dans les sols.

Zn dans les sols

Les teneurs en Zn dans les sols étudiés varient de 57,80 à 12220 mg/kg. Comparées au site témoin, les concentrations de Zn dans les sols de nos 9 autres sites sont 1,14 à 198 fois plus élevées. Le site S5 présente des concentrations de Zn extrêmement élevées jusqu'à 12,20 g/kg de sol, suivi de S1 et S4. Les teneurs les plus faibles en Zn sont obtenues au niveau de S2 et S3. 6 sites sur 10 ont révélé des concentrations de Zn dépassant la moyenne mondiale des teneurs en Zn dans les sols non contaminés (90 mg/kg). Comparées à la norme réglementaire hollandaise de 140 mg/kg pour les sols contaminés, 4 sites (S1, S4, S5 et S9) présentent des teneurs en Zn dans les sols supérieures à cette norme. Le site S5, par exemple, a une concentration de Zn qui est 87 fois supérieure à cette norme. En outre, les sols des sites S1 et S5 ont des teneurs en Zn supérieures à 720 mg/kg, un niveau qui selon les normes hollandaises nécessiterait un traitement immédiat avant toute installation de cultures. La teneur anormalement élevée obtenue au niveau du site S5 (12200 mg/kg) semble provenir de l'incinération des déchets, en particulier des pneus. La plus faible concentration de Zn obtenue au niveau du sol de notre site témoin (57,34 mg/kg) est plus élevée que la gamme de concentrations 4,75 à 16,16 mg/kg obtenue dans la région de Jos [27]. La ville de Lagos a également une gamme de concentration de Zn très faible (0,5 à 3,4 mg/kg de sol). Des concentrations anormalement élevées ont été obtenues dans plusieurs villes. Par exemple, une concentration maximale de 2550 mg/kg à Naples [5], 25210 mg/kg à Berlin [20] et jusqu'à 44900 mg/kg obtenue à Gibraltar [21].

2.3. Index de pollution par les ETM dans les sols de la ville de Niamey

L'Index de pollution est un critère permettant d'évaluer la toxicité d'un sol par assemblage de plusieurs métaux. Dans la présente étude, l'index de pollution a été calculé pour les différents sites de prélèvement et les résultats sont donnés dans le tableau 4. L'analyse de ce tableau nous révèle des valeurs d'IP variant de 0,11 à 10,67 en fonction du site considéré. L'index le plus bas (0,11) est obtenu au niveau du site témoin, ce qui confirme son isolement de toutes sources de pollution métallique. Aussi sur les 10 sites étudiés, 4 ont des valeurs d'IP supérieures à 1. En effet, les sites S1, S5, S6 et S8 présentent respectivement des IP de 2,37, 10,67, 2,07 et 1,57, révélant ainsi la contamination multiple de leurs sols par les ETM. En outre le site S5 avec un IP de 10,67 – du fait principalement de sa teneur anormalement élevée en Zn – est qualifié de très fortement pollué. Le site S4 a une valeur d'IP proche (0,94) de 1, suggérant une tendance à l'accumulation de plusieurs métaux dans son sol. Des valeurs d'index de pollution assez proches ou supérieures (0,08 à 47,69) aux nôtres ont été observées dans les sols de plusieurs sites miniers au Maroc [7]. L'observation des valeurs d'IP supérieures à 1 dans plusieurs sites de la ville de Niamey montre qu'un cocktail de contaminants métalliques à des teneurs relativement élevées est présent dans les sols.

Tableau 4: Index de pollution (IP) par les ETM des différents échantillons de sols de la ville de Niamey

Site	Code	Index de pollution
Témoin	T	0,11
Station d'épuration des eaux usées de l'hôpital national de Niamey	S1	2,34
ENITEX	S2	0,17
BRADUNI	S3	0,19
Tannerie de Gamkallé	S4	0,94
Centre de cuisson de Katako	S5	10,67
Route Gountou Yena Est	S6	2,07
Route Gountou Yena Ouest	S7	0,19
Mare de ceinture verte	S8	1,57
Décharge de Ceinture verte	S9	0,40

■ Valeur d'index de pollution supérieure à 1

2.4. Origine de niveaux de contamination en ETM observés dans les sols de Niamey

Les concentrations des ETM enregistrées dans les sols de la ville de Niamey semblent provenir, dans la plus part des cas, des activités anthropiques. En effet les résultats de cette étude montrent que les fortes teneurs en ETM dans les sols sont obtenues au niveau des sites situés à proximité des sources de pollution. Cependant une autre partie de teneurs en ETM observées, correspondant généralement à des concentrations de fond géochimique (bruit de fond), aurait une origine naturelle. Plusieurs sources d'émission ou de rejets des ETM dont le trafic routier, les décharges sauvages à ciel ouvert et les eaux usées ont été identifiées dans la ville de Niamey [28]. En effet, une

étude sur la caractérisation des rejets des eaux usées dans la communauté urbaine de Niamey révèle que ces eaux sont fortement polluées [29]. Or les cultures notamment maraîchères sont souvent irriguées avec ces eaux usées brutes non traitées, ce qui engendre une contamination, à la fois, des sols et des récoltes. Les teneurs en Cd élevées dans les sols de la ville de Niamey proviendraient essentiellement de la combustion des carburants fossiles, de l'incinération des déchets urbains et des activités de fonderie. Les niveaux faibles de Cu détectés dans 7 des 10 sites d'investigations proviendraient des sources naturelles et contribueront donc de manière insignifiante à la pollution des sols. Par contre les teneurs relativement élevées, détectées au niveau des 3 sites (S1, S4 et

S7) semblent liées aux sources anthropiques notamment les médicaments et les engrais cuivrés et l'incinération des déchets. La détection de Pb dans les sols urbains de Niamey à des teneurs fortes est indicatrice des activités anthropiques émettrices de Pb dans la ville notamment le trafic routier et l'incinération des déchets de toute sorte. La teneur en Zn extrêmement élevée obtenue au niveau du site S5 (12200 mg/kg) n'est nullement surprenante dans la mesure où au niveau de ce site, des déchets sont incinérés en particulier des pneus qui sont responsables des émissions de Zn. En dehors de l'industrie métallurgique et de la galvanoplastie et des sources habituelles de contamination par les métaux telles que le traitement des déchets et la combustion de combustibles, le zinc est présent dans les batteries, les appareils électroniques, les engrais et de nombreux objets en alliage de zinc. Les teneurs en ETM observées dans les sites témoin, S2 et S3 sont en dessous des seuils réglementaires quelque soit l'élément métallique considéré. Elles correspondent donc à des valeurs de fond géochimique (naturelles). Cette observation est valable pour le Cr sur les 9 sites sauf au niveau du site S4 où une concentration élevée est détectée.

Conclusion

Ce travail avait pour but d'évaluer les teneurs en ETM dans les sols urbains et périurbains de Niamey. Les résultats obtenus ont montré que les 7 ETM (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) recherchés ont été détectés sur tous les sites. La séquence générale des teneurs en ETM dans les sols investigués est la suivante : Zn > Cu > Pb > Cr > Ni > As > Cd. Les concentrations en ETM dans les sols sont généralement plus élevées au niveau des sites S1, S5, S6

et S8. Les valeurs d'index de pollution calculées pour les différents sites de prélèvement confirment bien ce classement et ont révélé des IP atteignant 10,67 pour le site S5. Au niveau de 5 sites (S1, S4, S6, S8, et S9) sur 10, les concentrations en ETM dépassent pour au moins un élément les normes autorisées dans les sols. Les fortes teneurs en métaux toxiques comme Cd, Cu, Ni, Pb ou Zn déterminées au niveau de ces sites posent le problème de contamination des végétaux cultivés dans ces zones et pourraient engendrer un risque de transfert dans la chaîne alimentaire car ces végétaux sont utilisés pour l'alimentation de la population de la ville de Niamey. Les résultats de la présente étude devraient permettre aux autorités de la ville de Niamey de prendre des mesures visant la prévention des risques, notamment en réglementant les types de cultures en fonction du niveau de contamination des sols ou en interdisant l'usage à des fins agricoles des sols dont les teneurs en ETM dépassent les seuils réglementaires.

Remerciements

Les auteurs remercient la Conférence des Présidents d'Université et l'Agence Inter-établissements de Recherche pour le Développement (Convention 007-2011 CPU-AIRD) et l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour l'appui financier qu'ils nous ont apporté pour la réalisation de cette étude.

Références bibliographiques

- [1].- Ek. H.K., Morrison M., Gregory-Rauch S. 2004 - Environmental routes for platinum group elements to biological materials – a review. *Science of the Total Environment* ; 334-335 : 21-38.
- [2].- Tankari Dan-Badjo A., Yadjji G., Nomaou D.L., Moussa Tawayé O. 2012 - Risque d'exposition de la population de

- Niamey (Niger) aux métaux lourds à travers la consommation des produits maraîchers. *Revue des Bioressources*; 2 (2): 88 – 99.
- [3].- Gbadegesin A., Olabode, M.A. 2000 - Soil properties in the metropolitan region of Ibadan, Nigeria: Implications for the management of the urban environment of developing countries. *The Environmentalist*; 20: 205–214.
- [4].- Kamavidar A., Khanwalkar S.R., Patel R. 2005 - Analytical studies on lead pollution in roadside soil samples of Raipur and Bhillai, Chhattisgarh State, India. *Soil Science and Plant Analysis*; 36: 2209–2218.
- [5].- Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. 2003 - Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution*; 124: 247-256.
- [6].- Alemayehu T. 2006 - Heavy metal concentration in the urban environment of Addis Ababa, Ethiopia. *Soil and Sediment Contamination* ; 15 : 591–602.
- [7].- Smouni A., Ater M., Auguy F., Laplaze L., Mzibri M.E., Berhada F., Filali-Maltouf A., Doumas P. 2010 - Evaluation de la contamination par les éléments traces métalliques dans une zone minière du Maroc oriental. *Cah Agric*; 19 (4) : 273-279.
- [8].- Yang Z., Lu W., Yuqiao L., Bao X., Yang Q. 2011 - Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun city, China. *Journal of Geochemical Exploration*; 108: 27-38.
- [9].- Ali S.M., Malil R.N. 2011 - Spatial distribution of metals in top soils of Islamabad city, Pakistan. *Environ Monit Assess* ; 172 : 1-16.
- [10].- Tankari Dan-Badjo A., Yadji G., Dan Lamso N., Ducoulombier C., Feidt C., Sterckeman T., Echevarria G., Rychen G. 2011 - Pollution des fourrages et des sols par les éléments du groupe platine issus de la circulation routière. *Algerian Journal of Arid Environment* ; 1 : 28-36.
- [11].- Institut National de la Statistique (I.N.S.). 2010 -, *Estimation de la population du Niger*. 30p.
- [12].- Chon H.T., Ahm J.S., Jung M.C. 1998 - Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soil and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea. *Environmental Geochemistry and Health*; 20: 77-86.
- [13].- Bowen H.J.M. 1979 - Environmental chemistry of elements. *Academic Press*, London 333p.
- [14].- Alexandrovskaya E.I., Alexandrovskiy A.L. 2000 - History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it. *Catena*; 41: 249–259.
- [15].- Norra S., Lanka-Panditha M. Kramar U., Stüben D. 2006 - Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany. *Applied Geochemistry*; 21: 2064-2081.
- [16].- Tjihuis L., Brattli B., Sæther O.M. 2002 - A geochemical survey of topsoil in the city of Oslo, Norway. *Environmental Geochemistry and Health*; 24: 67-94.
- [17].- Awofolu O.R. 2005 - A survey of trace metals in vegetation, soil and lower animal along some selected major roads in metropolitan city of Lagos. *Environmental Monitoring and Assessment*; 105: 431-447.
- [18].- Baize D., Paquereau H. 1997 - Teneurs totales en éléments traces dans les sols agricoles de Seine-et-Marne. *Etude et gestion des sols*; 4 (2): 77-94.
- [19].- Adjia R., Fezue W.M., Tchatchueng J.B., Sorho S., Echevarria G., Ngassoum M.B. 2008 - Long term effect of municipal solid waste amendment on soil heavy metal content of sites used for periurban agriculture in Ngaoundere, Cameroon. *African Journal of Environmental Science and Technology*; 2 (12): 412-421.
- [20].- Birke M., Rauch U. 2000 - Urban geochemistry: Investigations in the Berlin metropolitan area. *Environmental Geochemistry and Health*; 22: 223-248.
- [21].- Mesilio L., Farago, M.E., Thornton I. 2003 - Reconnaissance soil geochemical

survey of Gibraltar. *Environmental Geochemistry and Health*; 25: 1–8.

[22].- Chatterjee A., Banerjee, R.N. 1999 - Determination of lead and other metals in the residential area of greater Calcutta. *Science of the Total Environment*; 227, 175–185.

[23].- Murray K.S., Rogers D.T., Kaufman M.M. 2004 - Heavy metals in an urban watershed in South eastern Michigan. *Journal of Environmental Quality*; 33: 163–172.

[24]. - Kabata-Pendias A., Pendias H. 1992 - *Trace Elements in Soils and Plants*, 2^{ème} édition. C.R.C. Press, 413p.

[25].- Godin P. 1982 - Source de contamination et enjeu. Séminaire “Eléments traces et pollution des sols” ; 4-5 Mai (Paris) : 3-12.

[26]. - Thuy H.T.T., Tobschall H.J., An P.V. 2000 - Distribution of heavy metals in

urban soils: A case study of Danang-Hoian Area (Vietnam). *Environmental Geology*; 39: 603-610.

[27]. - Alexandre M.J., Pasquini M.W. 2004 - Chemical properties of urban waste ash produced by open burning on the Jos Plateau: Implications for agriculture. *Science of the Total Environment*; 319 (1-3) : 225-240.

[28].- Tomgouani K., Khalid E.M., Bouzid K. 2007 - Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc). *Sciences de la Vie* ; 29 : 89-92.

[29].- Adamou M.M., Alpha A.S., Laouali M.S., Balla A. 2008 - Caractérisation des rejets des eaux usées dans la Communauté Urbaine de Niamey. *Annales de l'Université Abdou Moumouni* ; IX-A : 13-21.