

ÉVALUATION DES MÉTAUX LOURDS DANS LES PLANTES MARAÎCHÈRES DE BRAZZAVILLE ET POINTE-NOIRE EN RÉPUBLIQUE DU CONGO

C. J. NGAMONA*, J. YOKA*, J. J. LOUMETO* & J. G. DJEGO**

* Université Marien Ngouabi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Botanique et Ecologie, BP 69 Brazzaville, Congo ; Email : joseph_yoka@yahoo.fr

** Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences agronomiques, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Cotonou, Bénin.

RÉSUMÉ

Le maraîchage en ville est parfois mis en difficulté à travers l'utilisation de fertilisants nocifs. L'objectif de cette étude est de rechercher la présence des métaux lourds dans les plantes maraîchères de Brazzaville et de Pointe-Noire, en rapport avec les sols. Les sites retenus pour l'étude sont Kombé et Mayanga (Brazzaville) et Tchimbambouka (Pointe-Noire). Le dispositif expérimental adopté est subdivisé en parcelles (split-plot). Le semis et le repiquage des plants ont été réalisés sur des planches fertilisées avec des déchets organiques et des engrais minéraux. Des échantillons de plantes et de sols ont été prélevés au moment de la récolte des légumes pour le dosage des métaux lourds (cadmium, zinc, cuivre, plomb, nickel et arsenic). Les résultats obtenus montrent que les sols maraichers échantillonnés n'ont pas été dans l'ensemble contaminés par les métaux lourds, malgré quelques traces de contamination par le cadmium. Les teneurs élevées en Cd (0,17 - 0,92 mg/kg > 0,5 mg/kg), en zinc (9,00 - 54,39 mg/kg > 5 mg/kg) et nickel (0,19 - 1,02 mg/kg > 0,05 mg/kg) de toutes les plantes maraîchères échantillonnées, quel que soit le type de fertilisant, ont montré que les légumes de ces deux grandes villes ont été plus pollués par ces trois métaux. Les légumes feuilles (*Amaranthus sp.* et *Solanum americanum* Mill.) sont plus pollués que les légumes fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill. et *Solanum melongena* L.) et le légume racine (*Daucus carota L. ssp. sativus* (Hoffm.)). Les différents fertilisants utilisés semblent polluer les légumes en métaux lourds et devraient donc être utilisés avec beaucoup de précautions. Il faudra donc utiliser des techniques appropriées pour éliminer les métaux lourds des fertilisants avant leur utilisation.

Mots clés : métaux lourds, fertilisants, plantes maraîchères, sols maraichers, Brazzaville, Pointe-Noire.

EVALUATION OF HEAVY METALS IN THE MARKET GARDEN PLANTS OF BRAZZAVILLE AND POINTE-NOIRE IN THE REPUBLIC OF THE CONGO

ABSTRACT

Urban and peri-urban agriculture is sometimes put in difficulty through the use of harmful fertilizers. The objective of this study is to find the presence of heavy metals in the market garden plants of Brazzaville and Pointe-Noire, in relation to soils. The sites selected for the study are Kombé and Mayanga (Brazzaville) and Tchimbambouka (Pointe-Noire). The adopted experimental device is subdivided into parcels (split-plot). Seeding and transplanting of the plants was done on planks fertilized with organic waste mineral fertilizers. Plant and soil samples were collected at harvest time for heavy metals (Cadmium, Zinc, Copper, Lead, Nickel, and Arsenic). The results obtained show that the market garden soils sampled are not generally contaminated by heavy metals, despite some traces of contamination with cadmium. High levels of Cd (0,17 - 0,92 mg/kg > 0,5 mg/kg), of zinc (9.00 - 54.39 mg / kg > 5 mg / kg) and nickel (0.19-1, 02 mg / kg > 0.05 mg / kg) of all garden vegetables sampled, regardless of the type of fertilizer, show that the vegetables of these two big cities are more polluted by these three metals. Leafy vegetables (*Amaranthus sp* and *Solanum americanum Milld. L.*) are more polluted than fruit vegetables (*Lycopersicon esculentum Milld.* and *Solanum melongena L.*) and root vegetables (*Daucus carotta L.*). The different fertilizers used seem to pollute vegetables in heavy metals and should therefore be used with great care. Appropriate techniques should therefore be used to remove heavy metals from fertilizers before their use.

Keywords : heavy metals, fertilizers, market gardening plants, market gardens, Brazzaville, Pointe-Noire.

INTRODUCTION

Le problème des sols contaminés est aujourd'hui préoccupant pour les pays émergents et ceux en développement. Les métaux lourds comme le plomb, le cuivre, le cadmium, le zinc, le nickel et l'arsenic ne peuvent être biodégradés, donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus, ils sont rajoutés dans le sol par diverses activités humaines : en agriculture, par l'application de boues d'épuration ou dans l'industrie métallurgique. Malgré l'apport des éléments fertilisants tels que l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium, les déchets urbains ne peuvent être épandus s'ils contiennent des métaux lourds en quantité supérieure aux normes autorisées en agriculture (arrêté du 8 janvier 1998/France) qui pourraient entraîner la contamination de ces sols et par là de la chaîne alimentaire humaine et animale. Malheureusement l'agriculture urbaine, si elle n'est pas gérée et pratiquée correctement, comporte des risques pour la santé et l'environnement tels que le transfert des maladies par les agents pathogènes, la contamination des cultures et des sols par les métaux lourds et les pesticides (Moustier *et al.*, 2000 ; Blaise *et al.*, 2003 ; Sakai *et al.*, 2006). L'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut aussi se répercuter sur la santé des êtres humains et des animaux (Wang *et al.*, 2003), la pollution des légumes par les métaux lourds est élevée et les risques sur la santé des consommateurs qui les ingèrent à travers la chaîne alimentaire sont grands (Miquel, 2001). A l'échelle microscopique, les métaux lourds ont aussi des effets néfastes sur les populations bactériennes, ce qui n'est pas sans conséquence sur le fonctionnement de l'écosystème.

Ces dernières années, le développement des techniques efficaces pour décontaminer les sites est devenu indispensable. L'une d'elles, la phytoremédiation, exploite les propriétés de certaines plantes à accumuler de grandes quantités de métaux lourds (Rufus *et al.*, 1997 ; Salt *et al.*, 1998 ; Prabha *et al.*, 2007).

Au Congo, précisément à Brazzaville et à Pointe-Noire, le maraîchage est une activité très importante pour le bien-être des populations. Dans le but de fertiliser les sols, les maraîchers utilisent les ordures ménagères, les déchets de brasseries (la drèche) et les fientes de volaille, de porc et de mouton, les engrais minéraux (Urée et NPK). Ces déchets pourraient contenir des métaux lourds qui contamineraient les sols et les plantes cultivées. Le rôle des pratiques agricoles dans la contamination des sols doit être pris en compte. Leur accumulation et leur transfert constituent un risque sur la santé humaine et animale, mais aussi le milieu naturel dans son ensemble. La contamination des plantes par des métaux lourds exposerait les populations des deux villes aux différentes maladies. La pollution des plantes cultivées par des métaux lourds a fait l'objet de nombreux rapports et études à travers le monde (Moustier *et al.*, 2000 ; Verloo, 2003 ; Saad *et al.*, 2006) et constitue un problème majeur en écotoxicologie. De nos jours, des études sur l'accumulation des métaux lourds dans les plantes cultivées ne sont pas assez entreprises au Congo. Il est utile

d'entreprendre de telles études afin de préserver la santé des populations. C'est dans ce cadre que la présente étude est réalisée.

L'objectif général de cette étude est de rechercher la présence des métaux lourds (plomb, nickel, cadmium, zinc, cuivre, arsenic) dans les plantes cultivées, en rapport avec les sols, en vue de proposer des pistes de solutions sur l'utilisation des différents déchets en maraîchage. Spécifiquement il s'agit de : (i) Identifier la présence des métaux lourds dans les sols fertilisés à partir des différents déchets (diverses matières organiques) et des engrais minéraux ; (ii) Identifier la présence des métaux lourds dans les plantes cultivées sur des sols fertilisés à partir des différents déchets afin d'apprécier la qualité alimentaire des légumes.

Deux hypothèses sont retenues : (i) Les sols fertilisés à partir des différents déchets (diverses matières organiques) et des engrais minéraux à Brazzaville et à Pointe-Noire sont contaminés par des métaux lourds ; (ii) Les plantes cultivées sur des sols fertilisés à partir des différents déchets et des engrais minéraux à Brazzaville et à Pointe-Noire accumulent des métaux lourds.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Caractéristiques des zones d'étude

L'étude s'est réalisée dans deux villes du Congo, Brazzaville et Pointe-Noire, en Afrique centrale (Figure 1).

Brazzaville

Brazzaville est la capitale politique de la République du Congo, située sur la rive droite du fleuve Congo. Deux sites ont été retenus pour l'étude : Kombé et Mayanga, situés au sud de Brazzaville.

Le climat de Brazzaville est de type bas-congolais ou Soudano-guinéen, caractérisé par deux saisons : une saison de pluies d'octobre à mai avec un ralentissement en janvier et février, et une saison sèche de juin à septembre (Samba-Kimbata, 1978).

Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1273,9 mm et les températures moyennes sont de 25,3°C selon l'ordre des amplitudes thermiques qui ne dépassent pas 5°C. L'humidité relative moyenne de la ville de Brazzaville est toujours supérieure à 70 %.

Les sols sont variés. Selon la roche -mère, on distingue des sols formés sur sables polymorphes Batéké à teneur en argile et en réserves minérales très faibles, des sols formés sur grès de l'Inkisi, à texture sablo-argileuse et des sols formés sur alluvions hétérogènes du fleuve Congo et ses affluents. Ces sols sont en général sablo-argileux, pauvres en matières organiques (Dénis, 1974 ; Schwartz, 1987). Les sols de Brazzaville sont répartis en trois classes distinctes

(Nzila, 2001) : les podzols ou sols podzolisés, les sols hydromorphes et les sols ferrallitiques.

Les savanes de Brazzaville et ses environs sont typiques des sols plus sableux (Makany, 1976). La végétation forestière est formée de trois îlots issus de la dégradation de forêt de la patte d'Oie et des plantations d'*Eucalyptus* sp., de *Pinus* sp. et d'essences locales.



Figure 1. Carte du Congo indiquant Brazzaville et Pointe-Noire, deux villes d'étude (carte topographique du Congo/1/1000000 réactualisée par le CERGEC en 1993).

Pointe-Noire

Pointe-Noire est la capitale économique de la République du Congo, située à l'extrême sud du pays, sur la façade atlantique. Elle constitue le débouché naturel d'un axe de communication prépondérant entre l'Afrique centrale et les eaux internationales. A ce titre, la ville représente pour la République du Congo un poumon économique alimenté par l'activité du terminal pétrolier de Djeno et de son port en eau profonde.

Pointe-Noire bénéficie d'un climat tropical de savane assez doux le jour (21,4°C de température moyenne en juillet et 26,8°C en mars) et d'une température encore plus douce le soir (environ 22°C à 26°C). L'année climatique est marquée par deux saisons sèches, l'une courte de janvier à mars et l'autre longue de juin à octobre, entrecoupées par deux saisons des pluies de deux mois chacune environ. Les pluies commencent en octobre et se terminent en mai. Le mois de novembre est le plus arrosé de l'année avec une valeur de précipitations atteignant 246,1 mm. Les mois de juin, juillet et août sont les moins arrosés de l'année et constituent la saison sèche.

Les écosystèmes naturels sont des savanes qui sont des formations dominantes de la région. Ces savanes sont constituées de peuplements herbacés de taille réduite (0,5 à 1,5) et couvrant mal le sol (Sitou, 1994 ; Laclau, 2001). Dans la région de Pointe-Noire, les graminées dominantes forment fréquemment de grandes taches. La région de Pointe Noire est également occupée par des plantations de plusieurs espèces d'eucalyptus. Ces plantations d'eucalyptus sont réalisées sur des terrains anciennement occupés par la savane herbeuse (Loumeto & Huttel, 1997 ; Bouetou-Kadilamio, 2009).

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de plantes maraîchères couramment cultivées et consommées à Brazzaville et à Pointe-Noire. Il s'agit des plantes produisant :

- des légumes feuilles : amarante (*Amaranthus* sp) et morelle noire (*Solanum americanum* Milld.) ;
- des légumes fruits : aubergine (*Solanum melongena* L.) et tomate (*Lycopersicon esculentum* Milld.) ;
- des légumes racines : carotte (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* (Hoffm.).

Méthodes

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Figure 2) qui a été mis en place dans chaque site (centre de maraîchage) est subdivisé en parcelles (split-plot). Chaque parcelle est subdivisée en cinq planches de 30 m² (soit 20 m x 1,5 m). L'espacement entre deux planches est de 0,5m. L'épaisseur de la planche est de 15 cm.

Semis et repiquage des plants

Pour la culture des plantes produisant des légumes feuilles et des légumes fruits le semis se fait à la pépinière, avec épandage du fumier. Au bout d'une certaine durée qui varie selon les espèces, intervient le repiquage des plants sur des planches. Le repiquage se fait en ligne, avec apport des fertilisants.

La culture de la carotte, plante produisant le légume racine, se fait par semis direct (sans pépinière) avec apport des fertilisants.

Les différents fertilisants utilisés sont : la drêche, les fientes de volaille, les fientes de mouton, les fientes de bovins et les ordures ménagères. Les quantités utilisées étaient prises au pif, sans mesure à la balance.

Prélèvement des échantillons végétaux et de sols

A la fin du cycle de la plante, c'est-à-dire à la récolte dont la durée varie selon les cultures, des échantillons végétaux et de sols sont prélevés. Les échantillons de feuilles et tiges (pour l'amarante et la morelle noire), de fruits (pour l'aubergine et la tomate) et de racines (pour la carotte) sont prélevés dans les quatre segments de 1 m² chacun de la planche échantillonnée. Les échantillons végétaux récoltés sont pesés et séchés à l'étuve à 70°C jusqu'à poids constant. Après le séchage, ces échantillons sont pesés à nouveau. Une biomasse moyenne est calculée pour chaque type de légume, en rapport avec le type de fertilisant.

Les échantillons de sols ont été prélevés à la tarière dans des carrés de prélèvement des échantillons végétaux. Un échantillon composite (pris dans différents endroits sur la planche) a été constitué pour chaque planche, en rapport avec le type de fertilisant. Des échantillons témoins de sol ont été également prélevés à des endroits qui sont supposés non fertilisés (aux abords des sites maraîchers). Les échantillons prélevés sont séchés à l'air libre.

Analyses chimiques

Les échantillons végétaux et de sols prélevés ont fait l'objet d'analyses chimiques.

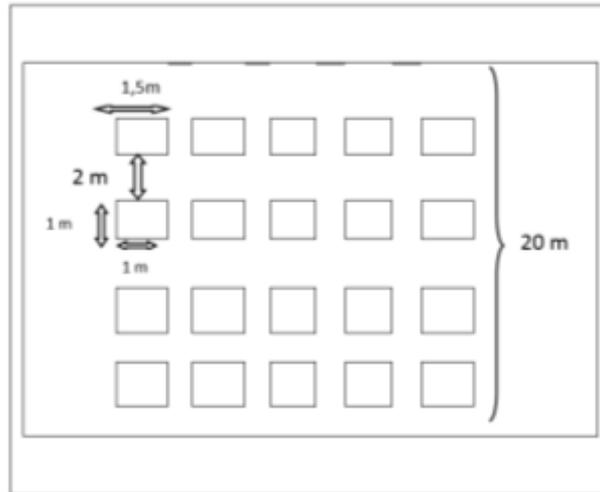


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental

Concernant les végétaux, les échantillons ont été séchés à l'étuve à la température de 70°C, pendant une semaine pour les légumes feuilles et deux semaines pour les légumes fruits et racines, au Laboratoire des sciences Biologiques de la Faculté des Sciences et Technique de l'Université Marien Nguabi (pour les échantillons de Brazzaville) et Laboratoire de chimie analytique de l'Institut de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles (IRSEN), pour les échantillons de Pointe-Noire.

Des analyses chimiques des échantillons végétaux et de sols ont été réalisées au Laboratoire Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD) de la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé, au Togo, par la Spectrométrie d'Absorption Atomique : technique de flamme (SAA-F). Elles ont porté sur la détermination des teneurs en métaux lourds notamment le Cd, le Cu, le Zn, le Ni, le Pb et l'As du sol et des plantes maraîchères cultivées.

Traitement des données

Les données d'analyses chimiques des végétaux et de sols ont été comparées aux valeurs limites, en vue d'avoir des informations sur leur contamination ou non par les métaux lourds. Pour les sols, les normes d'AFNOR U44-041, les normes Européennes de l'ECDGE (Siti *et al.*, 2014) et les normes européennes utilisées par Godin *et al.* (1983) sont prises en compte. Pour les végétaux, les normes de l'OMS (Gnandi *et al.*, 2008) sont utilisées.

RÉSULTATS

Biomasse végétale

Le tableau 1 montre les résultats de la biomasse végétale à la récolte. De façon générale, la biomasse croît en rapport avec les types de fertilisants utilisés et varie d'une espèce de légume à l'autre dans différents sites d'étude. Les légumes racines (244,41– 414,7g MS/m²) ont une biomasse élevée par rapport aux légumes feuilles (39,10 – 235,62 g MS/m²) et aux légumes fruits (19,73 – 220,42 g MS/m²). Les plus importantes biomasses sont obtenues par l'amarante (*Amaranthus sp.*) cultivée sur le sol fertilisé avec les fientes de mouton (235,62 g MS/m²) à Tchimbabouka (Pointe-Noire), la morelle noire (*Solanum americanum Milld. L.*) sur le sol fertilisé avec les fientes de volaille (132,87 g MS/m²), la tomate (*Lycopersicon esculentum Milld. L.*) sur le sol fertilisé avec les fientes de volaille (132,87 g MS/m²) à Kombé, l'aubergine (*Solanum melongena L.*) sur le sol fertilisé avec la drêche à Kombé (80,90 g MS/m²), la carotte (*Daucus carotta L.*) sur le sol fertilisé avec les fientes de volailles (244,41 g MS/m²) à Tchimbambouka.

Dans l'ensemble, les fertilisants utilisés ont un effet bénéfique sur la production des légumes. Leur efficacité varie d'une espèce à l'autre et d'un site à l'autre.

Teneurs en métaux lourds des plantes maraîchères

Le Tableau 2 présente les teneurs en métaux lourds des légumes feuilles comparées à celles des légumes fruits et des légumes racines.

Ces résultats indiquent que de façon générale, les éléments traces métalliques sont davantage accumulés dans les légumes feuilles que dans les légumes fruits et les légumes racines.

Les teneurs en Cd (0,17 - 0,92 mg/kg > 0,5 mg/kg), Zn (9,00 - 54,39 mg/kg > 5 mg/kg) et Ni (0,19 - 1,02 mg/kg > 0,05 mg/kg) de toutes les plantes maraîchères échantillonnées au niveau des ceintures maraîchères de Brazzaville et Pointe-Noire sont supérieures au seuil de toxicité, quel que soit le type de fertilisant. En somme, les légumes de ces deux grandes villes sont pollués par ces trois métaux lourds.

Les teneurs en Cd sont plus élevées dans la tomate (0,92 mg/kg) cultivée sur le sol fertilisé avec les fientes de volaille à Kombé. Les fientes de volaille semblent occasionner la pollution des légumes par le Cd. Les teneurs en cet élément sont plus élevées dans les légumes fruits que dans les légumes racines et les légumes-feuilles.

Les teneurs en Zn sont plus élevées dans l'amarante (54,39 mg/kg) cultivé sur sol fertilisé avec les ordures ménagères à Mayanga. Les ordures ménagères semblent occasionner plus de pollution des légumes par le Zn. On constate que la pollution est plus élevée dans les légumes feuilles que dans les légumes fruits et les légumes racines.

Tableau 1. Poids sec (g MS/m²) des plantes maraîchères en fonction des fertilisants utilisés dans les différents sites étudiés

Type de culture	Fertilisants	Kombé (Brazzaville)	Mayanga (Brazzaville)	Tchimbamouka (Pointe- Noire)
<i>Amaranthus sp.</i>	Drêche	161,8	-	-
	Fientes de volaille	142,9	-	-
	Ordures ménagères	-	138,14	-
	Fientes de mouton	-	-	235,62
<i>Solanum americanum</i> Milld.	Fientes de volaille	132,87	-	-
	Ordures ménagères	-	96,870	-
<i>Lycopersicon esculentum</i> Milld.	Fientes de volaille	-	-	39,10
	Fientes de volaille	220,42	-	-
	Fientes de bovin	-	-	19,733
<i>Solanum melongena</i> L.	Drêche	80,9	-	-
	Fientes de volaille	-	-	21,559
<i>Daucus carota</i> L. ssp. <i>sativus</i> (Hoffm.)	Fientes de volaille	414,7	-	-
	Fientes de volaille	-	-	244,41

Tableau 2. Teneurs en métaux lourds des plantes maraîchères

Types des végétaux	Sites	Fertilisants	Teneur en métaux lourds (mg/kg)					
			Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	As
<i>Amaranthus sp.</i>	Kombé	fientes de volaille	0.17	2.58	38.71	0.09	0.52	0.00
		Drèche	0.29	3.57	13.34	0.13	0.66	0.00
	Mayanga	Ordures ménagères	0.32	2.86	54.39	0.66	0.92	0.02
	Tchimbambouka	Fientes de mouton	0.44	2.43	44.72	0.35	0.78	0.01
<i>Solanum americanum</i> Milld.	Kombé	Fientes de volaille	0.46	2.48	13.27	0.088	1.02	0.00
	Mayanga	Ordures ménagères	0.37	2.58	52.07	0.85	0.66	0.01
	Tchimbambouka	Drèche	0.29	3.09	28.65	0.45	0.69	0.02
<i>Lycopersicon esculentum</i> Milld..	Kombé	Fientes de volaille	0.92	5.90	22.94	0.00	0.19	0.00
	Tchimbambouka	Fientes de volaille	0.28	4.77	19.31	0.00	0.22	0.00
<i>Solanum melongena</i> L.	Kombé	Fientes de bovins	0.21	1.98	9.00	0.01	0.58	0.00
	Tchimbambouka	Fientes de volaille	0.64	4.14	15.59	0.00	0.20	0.00
<i>Daucus carota</i> L. ssp. <i>sativus</i> (Hoffm.)	Kombé	Fientes de volaille	0.71	5.05	20.85	0.23	0.27	0.00
	Tchimbambouka	fientes de volaille	0.76	3.52	21.19	0.37	0.41	0.00
Seuil de toxicité (mg/kg) (Gnandi et al., 2008).			0,05	3	5	0,1	0,05	0,01

Le Ni pollue plus la morelle noire (1,02 mg/kg) cultivée sur le sol fertilisé avec les fientes de volaille à Kombé. Les fientes de volaille et les ordures ménagères semblent contaminer plus les légumes en Ni. Les légumes les plus exposés à cette contamination sont les légumes feuilles.

Les fientes de volaille semblent polluer les légumes par le Cu. On constate la pollution par le Cu avec un taux élevé dans la tomate (5,90 mg/kg) cultivée sur les fientes de volaille à Kombé.

La pollution par le Pb est plus élevée dans la morelle noire (0,85 mg/kg) cultivée sur sol fertilisé avec les ordures ménagères à Mayanga, suivie de l'amarante (0,66 mg/kg) sur sol fertilisé avec les ordures ménagères à Mayanga, la morelle noire (0,45 mg/kg) cultivée sur sol fertilisé avec les fientes de volaille à Tchimbambouka, la carotte (0,37 mg/kg) cultivée sur sol fertilisés avec les fientes de volaille à Tchimbambouka.

Nous pouvons dire que les ordures ménagères et les fientes de volaille semblent polluer les plantes maraîchères par le Pb. Les légumes feuilles sont les plus pollués par le Pb tandis que les légumes fruits ne sont pas contaminés par ce métal.

Les plantes maraîchères ne sont presque pas polluées par l'As, à l'exception de l'amarante (0,02 mg/kg > 0,01 mg/kg) cultivée sur le sol fertilisé avec les ordures ménagères à Mayanga.

Dans l'ensemble, les légumes feuilles semblent plus pollués par les métaux lourds, suivis des légumes fruits et des légumes racines.

Teneurs en métaux lourds dans les sols maraîchers des sites de Brazzaville et de Pointe-Noire.

Le tableau 3 présente les teneurs en Cd, Cu, Zn, Ni et Pb dans les sols échantillonnés qui sont dans l'ensemble inférieures aux seuils de toxicité.

Nous pouvons donc dire que les sols maraîchers de Brazzaville et Pointe-Noire ne sont pas pollués par ces métaux lourds, malgré l'apport des différents fertilisants.

D'après les normes européennes utilisées par Godin *et al.* (1983) et les normes européennes de l'ECDGÉ, il existe quelques traces de pollution des sols par le Cd.

Tableau 3. Teneurs en métaux lourds dans les sols maraîchers

Types de Sols	Fertilisants	Sites	Teneurs en métaux lourds (mg/kg)					
			Cd	Cu	Zn	Ni	Pb	As
Sol sous <i>Amaranthus sp</i>	Fientes de volaille	Kombé	0.07	1.45	20.81	0.02	4.24	0.05
	Drèche		0.20	2.24	24.35	0.07	4.36	0.06
	Ordures ménagères	Mayanga	0.20	2.8	15.22	0.14	7.73	0.00
Sol sous <i>Solanum americanum Milld.</i>	fientes de mouton	Tchimbambouka	0.15	2.1	11.22	0.18	1.02	0.01
	Fientes de volaille	Kombé	0.18	1.59	13.54	0.02	3.43	0.07
	Ordures ménagère	Mayanga	0.24	3.32	22.89	0.47	7.66	0.08
Sol sous <i>Solanum melongena.L</i>	Drèche	Tchimbambouka	0.11	1.69	5.01	0.19	1.36	0.01
	Fientes bovins	de Kombé	0.22	1.1	14.95	0.00	4.02	0.07
	Fientes volaille	de Tchimbambouka	2.07	5.84	12.70	0.41	1.42	0.04
Sol sous <i>Lypersycon escentum Milld.</i>	Fientes volaille	de Kombé	1.96	3.36	17.15	0.00	4.00	0.13
	Fientes volaille	de Tchimbambouka	2.09	3.98	13.65	0.47	1.07	0.01
Sol sous <i>Daucus carota L. ssp. sativus (Hoffm.)</i>	Fientes volaille	de Kombé	1.99	3.26	21.77	0.11	3.61	0.16
	Fientes volaille	de Tchimbambouka	2.09	3.45	14.69	0.52	2.47	0.00
Sol Témoin	-	Kombé	2.01	3.27	22.44	0.19	4.33	0.12
	-	Mayanga	2.10	1.20	7.61	0.05	1.04	0.66
	-	Tchimbambouka	0.13	1.39	8.8855	0.30	1.83	0.00
Normes AFNOR U44-041(2005) (mg/kg)			2	100	-	50	100	-
Normes européennes de l'ECDGE (2014) (mg/kg)			0.5	40	-	30	40	-
Normes européennes de Godin (1983) (mg/kg)			0.7	100	300	50	100	-

DISCUSSION

L'analyse chimique des cinq espèces végétales montre de fortes teneurs pour les éléments étudiés : le Pb, le Cd, le Zn, l'As, le Ni et le Cu. Les résultats de la présente étude montrent que malgré les différents types de fertilisants apportés en maraîchage à Brazzaville et à Pointe-Noire, les teneurs en Cd, Cu, Zn, Ni et Pb des sols échantillonnés sont dans l'ensemble inférieures aux seuils de toxicité. Nous pouvons donc dire que les sols maraîchers de ces deux grandes villes du pays (Brazzaville et Pointe-Noire) ne sont pas pollués par ces métaux lourds. Cependant, quelques traces de pollution par le Cd sont enregistrées dans les sols fertilisés avec les fientes de volaille et de mouton. Ces deux fertilisants pourraient entraîner une élévation des teneurs en Cd dans le sol.

Les travaux de Gnandi *et al.* (2008) ont montré que les sols maraîchers urbains de l'autoroute Lomé-Aného, au sud du Togo, sont fortement contaminés par les métaux lourds. Ce qui n'est pas le cas des sols maraîchers de Brazzaville et de

Pointe-Noire. Ceci pourrait s'expliquer par l'intensité des activités anthropiques sur le périmètre de maraîchage le long de cette autoroute et par l'intense pollution atmosphérique dans ce périmètre. Des particules provenant de gaz de combustion d'hydrocarbures sont susceptibles de retomber sur le sol plus ou moins loin selon leur densité (Lantzy & Mackenzie, 1979). Les sols maraîchers de Brazzaville et de Pointe-Noire étant sableux et acides, contrairement aux sols basiques de Lomé, les métaux lourds pourraient se retrouver en profondeur qu'en surface (0-20 cm).

Les plantes cultivées au niveau des ceintures maraîchères de Brazzaville et de Pointe-Noire sont polluées par les métaux lourds. Le degré de contamination par les métaux lourds est variable d'une plante à l'autre et d'un type de fertilisant à l'autre. Les légumes feuilles sont les plus pollués que les légumes fruits et les légumes racines. Ces résultats sont conformes à ceux de Gnandi *et al.* (2008) au Togo.

Les sols maraîchers échantillonnés n'étant pas pollués par les métaux lourds, la pollution des plantes par ces métaux pourrait provenir des retombées atmosphériques. L'urbanisation peut aussi accentuer les apports atmosphériques. Ceci pourrait être prouvé par le fait que les légumes feuilles sont plus pollués que les légumes fruits et les légumes racines. Les végétaux à croissance rapide comme des légumes sont connus pour leur aptitude à l'accumulation des métaux (Kuo *et al.*, 1983). Cependant, lorsque les taux d'accumulation deviennent élevés, ces éléments deviennent polluants. Au Togo, les fortes teneurs en métaux lourds des sols du périmètre de maraîchage devraient expliquer leur accumulation dans les végétaux (Kabata-Pendias & Pendias, 1992 ; Saad *et al.*, 2006). La seule connaissance des concentrations totales en éléments traces métalliques ne permet pas de déterminer leur mobilité et leur phytodisponibilité (Ondo, 2007). Les conditions du milieu, notamment les caractères morphologiques et physico-chimiques des sols, peuvent influencer la mobilité des éléments traces métalliques (Yallo, 2016).

Les différents fertilisants utilisés par les maraîchers apporteraient des métaux lourds au sol et qui seraient transférés aux plantes. D'où la contamination des plantes par des métaux lourds. Le fait que les légumes feuilles concentrent plus d'éléments traces métalliques que les légumes fruits et légumes racines, la pollution des cultures par les métaux lourds pourrait provenir des retombées atmosphériques.

L'origine probable de la pollution des plantes maraîchères par les métaux lourds serait la voie atmosphérique à travers les feuilles qui sont des organes assimilateurs. Elle pourrait expliquer les fortes teneurs en métaux lourds des légumes feuilles par rapport aux légumes fruits et légumes racines. L'utilisation des produits phytosanitaires pourrait être aussi à l'origine de la pollution des légumes par les métaux lourds. Ceci s'expliquerait par la mobilité des métaux lourds qui s'enfoncent rapidement dans le sol ; ils peuvent pénétrer directement dans les feuilles à partir de l'atmosphère (Caille, 2000 ; Bonard,

2005), des pesticides et des eaux de pluies et celles qui servent d'arrosage. La forte concentration des métaux lourds dans les feuilles plus que dans les fruits et les racines pourrait indiquer une absorption des éléments essentiels par voie foliaire à partir de l'atmosphère. En outre, les feuilles pourraient aussi accumuler directement certains métaux lourds associés aux pesticides pulvérisés sur des plantes (Moulton *et al.*, 2000).

La consommation de ces légumes pollués pourrait constituer une menace pour la santé des consommateurs, car les métaux sont responsables de plusieurs anomalies. Dans le domaine de la santé publique, les éléments traces métalliques absorbés par les végétaux entrent dans la chaîne alimentaire et entraînent un phénomène de bioconcentration à chaque passage dans le maillon trophique supérieur (Gonzales *et al.*, 2008 ; McLean *et al.*, 2009).

L'effet cumulé dû à l'arrosage ne peut pas être utilisé pour justifier cette pollution. Les légumes prennent les métaux lourds en les absorbant des sols ou par exposition de différentes parties de la plante à l'air en provenance des sites pollués (Zurera *et al.*, 1989).

CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer les teneurs en métaux lourds (Cd, Zn, Cu, Pb, Ni) dans les sols et les produits maraîchers de Brazzaville et de Pointe-Noire, en rapport avec les types de fertilisants. Dans l'ensemble, les résultats obtenus montrent que malgré les différents types de fertilisants apportés en maraîchage, les teneurs en Cd, Cu, Zn, Ni et Pb des sols échantillonnés sont dans l'ensemble inférieures aux seuils de toxicité. Les sols maraîchers de Brazzaville et de Pointe-Noire ne sont donc pas pollués par les métaux lourds. Cependant ces sols présentent quelques traces de pollution par le Cd qui seraient dues à l'apport des fientes de volaille. Les résultats sur la biomasse à la récolte des produits maraîchers montrent que les fertilisants utilisés ont un effet bénéfique sur la production des légumes.

Les métaux lourds ont des teneurs variables d'une plante à l'autre en rapport avec les types de fertilisants et les sites de culture. Les plantes maraîchères échantillonnées ont des teneurs élevées en Cd (0,17-0,92 mg/kg > 0,05 mg/kg), en Zn (9,00-54,39 mg/kg > 5 mg/kg) et en Ni (0,19-1,02 mg/kg > 0,05 mg/kg) par rapport au seuil de toxicité, quel que soit le type de fertilisant. Les légumes de ces deux villes sont donc contaminés par ces trois métaux lourds.

Malgré l'utilisation du compost qui ne contamine pas les sols dans les deux villes d'étude, il se peut que les retombés atmosphériques contiennent des métaux lourds qui s'accumulent dans les plantes cultivées. Ce qui est un danger pour l'environnement et pour les consommateurs des produits des récoltes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLAISE J. M., K. L., FROESE L. E., KIMPE D. C. G., MUIR S., BACKUS M., COMBA & SCHINDLER D. W., 2003. Assessment and characterization of polychlorinated biphenyls nears a hazardous waste incinerator: Analysis of vegetation, snow, and sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22 :126-13.
- BONARD R., 2005. Impact des incertitudes liées aux coefficients de transfert dans les évaluations de risque sanitaire. Rapport d'étude n°67645/204 INERIS (ministère français de l'environnement), 26 p.
- BOUETOU-KADILAMIO L.N., 2009. Variations des macro-invertébrés du sol dans les plantations d'eucalyptus de la région de Pointe-Noire et de la forêt à Okoumé (*Aucoumea klaineana*) de Youbi (Littoral congolais). Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, Faculté des Sciences, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo, 96p.
- BOUTHERIN D. & BRON G., 1989. Multiplicação de plantas. Publicações Europa-America, Portugal, 241 p.
- CAILLE N., 2002. Mobilité et phytodisponibilité du mercure dans les sédiments du curage. Thèse de doctorat, ENSAIA, Vandœuvre-lès-Nancy, 167p.
- DENIS B., 1974. Note explicative de la carte pédologique Brazzaville-Kinkala. République Populaire du Congo. ORSTOM, Paris, 101p.
- GIRAD M C., WALTER C., REMY J. C., BERTHELIN J. & MOREL J. L., 2005. Sols et environnement. Dunod, Paris, France, 684 p.
- GNANDI K., TOZO K., EDORTH A. P., ABI H., AGBEKO K., AMOUZOUVI K., BABA G., TCHANGBEDJI G., KILLI K., BOUCHET P. & AKPAGANA K., 2008. Bioaccumulation de certains éléments métalliques dans les produits maraîchers cultivés sur les sols urbains le long de l'autoroute Lomé-Aného, Sud Togo. *Acta Bot. Gallica*, 155 (3) :415-426.
- GODIN P. M., FEINBERG M. H., & DUCAUZE C. J., 1983. Modeling of soil contamination by airborne lead and cadmium around several emission sources. *Environ. Pollut*, 10 :97-114.
- GONZALES X. I., ABOAL, J. R., FERNANDEZ, J.A. & CARBALLEIRA, A., 2008. Heavy metal transfers between trophic compartments in different ecosystems in Galicia (northwest Spain): Essential elements. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 55 : 691-700.
- KABATA-PENDIAS A. & PENDIAS H., 1992. Trace elements in soils and plants. 2nd edition, Boca Raton (Florida), CRC Press, 365 p.
- KUO S., HEIMAN P. E., & BAKER A. S., 1983. Distribution and forms of Cu, Zn, Cd, Fe and Mn in soils near a copper smelter. *Soil. Sci.*, 135 : 101-109.
- LACLAU J. P., 2001. Dynamique du fonctionnement minéral d'une plantation d'Eucalyptus. Effets du reboisement sur un sol de savane du Littoral congolais; conséquences pour la gestion des plantations industrielles. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique, Paris-grignon, 146 p.
- LANTZY R. J. & MACKENZIE F. T., 1979. Atmospheric trace metals: global cycles and assessment of man's impact. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 511-552.
- LOUMETO J. J. & HUTTEL C., 1997. Understory vegetation in fast-growing tree plantations on savanna soils in Congo. *Forest Ecology and Management*, 99 : 65-81.
- MAKANY L., 1976. Végétation des Plateaux Téké (Congo). Thèse Doctorat d'Etat, Paris, Orsay, 301 p.
- MCLEAN C.M., KOLLER C. E., RODGER J. C. & MACFARLANE G. R., 2009. Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. *Science of the Total Environment* 407 (11): 3588-3596.
- MIQUEL G., 2001. Effet des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 162 p.
- MOULTON K. L., WEST J. & BERNERR. A. 2000. Solute flux and mineral mass balance approaches to the quantification of plant effect on silicate weathering. *Amer. J. Sci.*, 300: 539-570.
- MOUSTIER P. E., BRIDIER & LOC N. T. T., 2000. La qualité sanitaire des produits maraîchers à Hanoi : les apports d'une enquête auprès des consommateurs. *In* : Gestion de la sécurité des aliments dans

- les pays en développement. Actes de l'atelier international, CIRAD-FAO, 11-13 décembre 2000, Montpellier, France, 3 p.
- NZILA J. D., 2001. Les sols du Congo et les problèmes d'aménagement des sols. ENS, Brazzaville Congo, 68 p.
- ONDO J. A., 2007. Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon (Région de Libreville) : acidification et mobilité des éléments métalliques, Thèse de doctorat, Université de Provence, UMR/CNRS 6264, 304 p.
- PRABA K., PADMAVATHIAMMA & LORETTA Y. L., 2007. Phytoremediation Technology : Hyperaccumulation metals in plants. *Water Air Soil Pollut.*, 184 :105-126.
- SAAD Z., KAZPARD V., SLIM K. & NABHAN P., 2006. Relation entre métaux traces dans le tabac et la nature du sol au Liban. *Cah. Agric.*, 15 (2) : 203-211.
- SAKAI S., YAMAMOTO T., NOMA Y. & GIRAUD R., 2006. Formation and control of toxic polychlorinated compounds During incineration of wastes containing polychlorinated naphthalenes. *Environ. Sci.Tecnol.*, 40 : 2247-2253.
- SAMBA G. & MOUANDZA P., 2007. Brazzaville, croissance urbaine et problèmes environnementaux. Actes du séminaire du CICRED, PERN et CIESIN, du 11-13 juin 2007, Nairobi, 15 p.
- SAMBA-KIMBATA J. M., 1978. Le climat bas Congolais. Thèse de doctorat du 3^e cycle, Université de Dijon 2, France, 280 p.
- SCHWARTZ D., 1987. Les sols des environs de Brazzaville et leur utilisation. Doc. ORSTOM, Pointe-Noire, République Populaire du Congo, 21 p.
- SITI N. M. R., SHARIZA L. H., MOHD L. K. & NOR S. M. H., 2014. Analysis and pollution assessment of heavy metal in soil, Perlis. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18 (1): 155-161.
- SITOU L., 1994. Les cirques d'érosion dans la région de Pointe-Noire (Congo) : Etude géomorphologique. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 221 p.
- VERLOO M., 2003. Métaux lourds dans les denrées alimentaires : origine et évolution des teneurs. Symposium. *In* : Les oligo-éléments dans l'alimentation en Belgique, 3 p.
- WANG Q. R. Y. S., LUIX. M., DONG Y. T. & CHRISTIE P., 2003. Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in china. *Environ. Sci. Health Part A-toxic/ Hazard, Subst, Environ. Eng.*, 38: 823-838.
- YALLO M. S, 2016, Caractérisation morphologique et teneurs en éléments traces métalliques des sols de la ceinture maraîchère de Brazzaville (Congo) : secteur de Mayanga et de Kombé. Mémoire de master, Université Marien N'gouabi, Brazzaville, 44 p.
- ZURERA C. G., MORENO-ROJAS R., SALMERON-EGEA J. & POZO L. R., 1989. Heavy metal uptake from greenhouse borger soils for edible vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 49 (3) : 307-314.