

## Niveau d'exposition aux éléments traces métalliques (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni) de l'amarante (*Amaranthus paniculatus* L.) et de la laitue (*Lactuca sativa* L.) cultivées sur des sites maraîchers dans la ville d'Abidjan (Abidjan/Côte d'Ivoire)

### [ Level of exposure to trace metals (cadmium, copper, zinc, lead, nickel) of amaranth (*Amaranthus paniculatus* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated on market gardens in the city of Abidjan (Abidjan/Ivory Coast) ]

Kouassi Joseph KOUAKOU<sup>1</sup>, Ahoua Edmond SIKA<sup>2</sup>, Seu Jonathan GOGBEU<sup>3</sup>, Koffi Bertin YAO<sup>4</sup>, Moussa BOUNAKHLA<sup>5</sup>, Fatiha ZAHRY<sup>5</sup>, Mounia TAHRI<sup>5</sup>, Dénézon Odette DOGBO<sup>1</sup>, Yves-Alain BEKRO<sup>6</sup>, and Denis BAIZE<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Université Nangui Abrogoua, UFR des Sciences de la Nature, Pôle de Recherche Production Végétale, Unité de Recherche Agrophysiologie, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Université Nangui Abrogoua, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Université Jean Lorougnon Guédé, Laboratoire de Physiologie et Pathologie Végétales, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

<sup>4</sup>Université Nangui Abrogoua, UFR des Sciences de la Nature, Pôle de Recherche Production Végétale, Unité de Recherche Phytotechnie et Amélioration Génétique, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

<sup>5</sup>Laboratoire d'Analyses Élémentaires, Centre National de l'Énergie, des Sciences et des Techniques Nucléaires, BP 1382 R.P. 10001 Rabat, Maroc

<sup>6</sup>Université Nangui Abrogoua, UFR des Sciences Fondamentales et Appliquées, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

<sup>7</sup>INRA Science du Sol, BP 20619, 45166 Olivet cedex, France

---

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The main objective of this study is to assess the level of contamination, in trace elements (cadmium, copper, zinc, lead, nickel), of amaranth and lettuce grown on the market gardens of Marcory and Cocody and on the experimental plot of the University Nangui Abrogoua in the city of Abidjan (Ivory Coast). On the 3 sites, each species accumulate metals differently. Concentrations of metals in plants are influenced by the level of their presence in soil and the atmospheric depositions. The leaves of lettuce accumulated more Zn than those of amaranth on the 3 sites. On all the sites, the leaves of both species are unfit for human consumption because having contained lead, zinc and nickel above the recommended norms.

**KEYWORDS:** trace elements, amaranth, lettuce, atmospheric depositions, unfit.

**RESUME:** L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le niveau de contamination, en éléments traces (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni), de l'amarante et de la laitue cultivées sur les sites maraîchers de Marcory et Cocody et sur la parcelle expérimentale de l'Université Nangui Abrogoua dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Sur les 3 sites, chaque espèce accumulerait différemment les métaux. Les concentrations en métaux des plantes seraient influencées par les teneurs dans les sols et les retombées

atmosphériques. Les feuilles de la laitue ont accumulé plus de Zn que celles de l'amarante sur les 3 sites. Sur tous les sites, les feuilles de ces deux espèces sont impropres à la consommation humaine car présentant des teneurs en Pb, Zn et Ni supérieures aux niveaux recommandés.

**MOTS-CLEFS:** éléments traces, amarante, laitue, retombées atmosphériques, impropres.

## 1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire, comme beaucoup d'autres pays africains et d'ailleurs, a connu, ces dernières années, un développement rapide et majeur de l'agriculture urbaine [1] à la suite d'une forte croissance démographique induisant un accroissement des besoins alimentaires. C'est une activité génératrice de revenus et d'emplois, pratiquée par les couches vulnérables de régions urbaines [2]. Dans la ville d'Abidjan, la production maraîchère, et plus précisément celle des légumes-feuilles, a pris une part importante dans cette activité [1].

Les sols à maraîchers sont fertilisés avec de la fiente de volaille et les végétaux sont arrosés avec des eaux usées. Parmi les éléments indésirables, contenus dans la fiente de volaille et les eaux usées, figurent les éléments traces métalliques, communément appelés «métaux lourds» [3]. Des apports d'éléments traces aux sols peuvent être également dûs aux engrais minéraux, aux produits phytosanitaires [4], aux activités domestiques et aux retombées atmosphériques [5] [6]. Ces éléments, non biodégradables, peuvent atteindre, du fait de leur absorption en quantité élevée par les végétaux, des teneurs prohibées pour la santé humaine [7], donc des consommateurs de ces végétaux. C'est pourquoi, la salubrité des aliments prend de plus en plus d'importance en santé publique et dans le monde entier, les gouvernements redoublent d'efforts pour l'améliorer, en réaction à un nombre croissant de problèmes et à des inquiétudes de plus en plus vives de la part des consommateurs [8].

La présente étude a été initiée et vise, de façon générale, à déterminer les teneurs de 5 métaux traces, à savoir le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le zinc (Zn) et le nickel (Ni), dans l'amarante (*Amaranthus paniculatus* L.) et la laitue (*Lactuca sativa* L.) cultivées dans la ville d'Abidjan. Elle s'inscrit dans le cadre d'une contribution à la connaissance de l'état de salubrité de ces légumes-feuilles, donc à la diminution de l'insécurité alimentaire dans les villes ivoiriennes.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 SITES DE PRELEVEMENT DES VEGETAUX

L'agglomération d'Abidjan est située au Sud-Est de la Côte d'Ivoire et est comprise entre les latitudes 5°00' et 5°30' N et les longitudes 3°50' et 4°10' W. Elle s'étend sur une superficie de 57735 hectares et est composée de 10 communes avec une population estimée à 2 877948 habitants [9]. Elle est en perpétuelle croissance et cette croissance est marquée par une forte urbanisation.

Sur le plan géologique, la lithologie de la ville est constituée de haut en bas de sables argileux, de sables moyens et de sables grossiers reposant sur un socle schisteux. Les formations schisteuses du socle sont constituées d'une part, par des roches granitiques (granite, granodiorite) et probablement des diorites quartziques (tonalites) et d'autre part, par des roches volcaniques, certainement calco-alcalines [10].

La ville d'Abidjan possède 6 importants sites de maraîchage (A, B, C, K, M, PB) (**Fig. 1**) tous exposés à des pollutions d'origine urbaine et agricole [1].

Notre étude a été menée sur les sites maraîchers de Marcory (M) et de Cocody (C) et la ferme expérimentale de l'Université Nangui Abrogoua (P) dont les sols n'ont pas été fertilisés avec de la fiente de volaille et les plantes ont été arrosées avec l'eau de robinet.

### 2.2 STRATEGIE DE PRELEVEMENT DES VEGETAUX

Les échantillonnages ont été faits de juillet 2006 à juillet 2007 et ont porté sur des parcelles ayant une superficie de 60 m x 45 m. L'amarante et la laitue (**Fig. 2**) ont été prélevées au stade phénologique habituel de la récolte (stade adulte).

Sur les sites de maraîchage, les planches de semis sont faites sans dispositif particulier; sur chaque planche de semis, 5 pieds de chaque espèce végétale ont été prélevés et ce, sur une superficie de 3 m x 1m (Fig. 3).

Les racines et 3 feuilles ont été prélevées sur chaque pied et un échantillon composite de chaque type d'organes a été constitué à partir des échantillons élémentaires de 3 planches de semis. Pour les analyses, ce sont 9 et 6 échantillons composites de chaque espèce végétale qui ont été retenus, respectivement, pour les 2 sites de maraîchage et la parcelle expérimentale de l'université.

### 2.3 PROTOCOLE D'EXTRACTION ET DE DOSAGE DES METAUX TRACES

Les racines et les feuilles des espèces végétales ont été nettoyées à l'eau de robinet, rincées à l'eau distillée, pesées et séchées à l'étuve à 105 °C pendant 24 h. La matière sèche obtenue a été pesée, broyée à 150 µm à l'aide d'un broyeur de marque Retsch-RM100, pour avoir des granulés homogènes. Deux (2) grammes de poudre fine de chaque échantillon ont été calcinés au four à moufle à 450 °C en creuset de porcelaine, pendant 4 h. Les cendres ont été transférées dans des bombes téflon d'un micro-onde de marque CEM-Mars 5 et dissoutes dans l'eau régale [3 mL de HNO<sub>3</sub> (65 %; volume/volume) + 1 mL de HCl (37 %; volume/volume)].

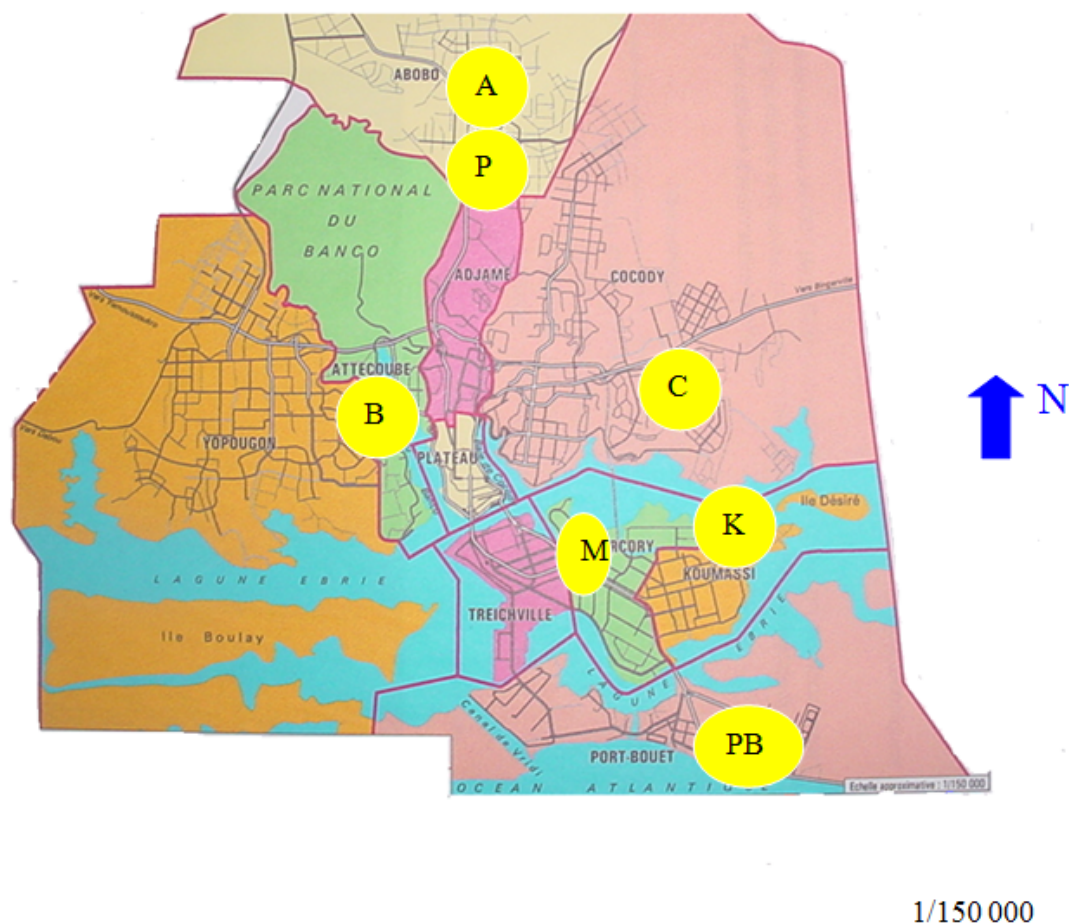


Fig. 1: Répartition des zones maraîchères au sein de l'agglomération abidjanaise [1]

A = Abobo, B = Banco, C = Cocody, K= Koumassi, M = Marcory, PB = Port-Bouët,

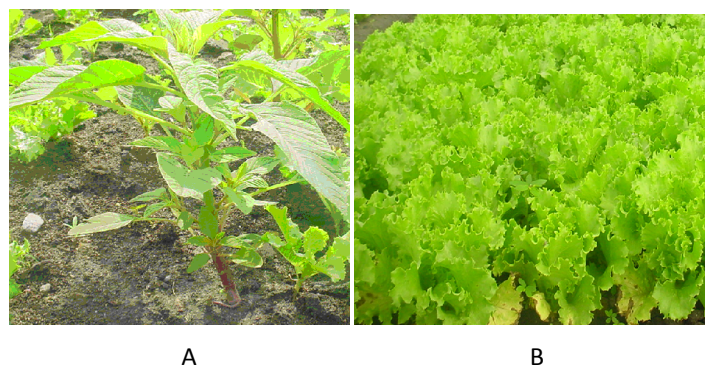


Fig. 2: Pied d'amarante (A) et planches à laitues (B) sur le site maraîcher de Marcory

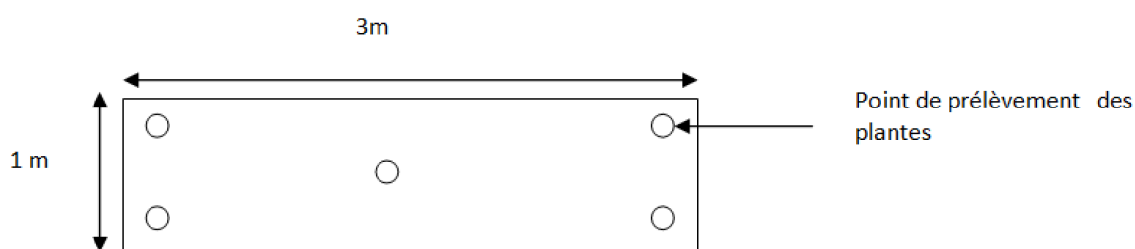


Fig. 3: Stratégie de prélèvement des plantes sur une planche de semis

Après 16 h de contact, l'ensemble des bombes a été placé dans le carrousel du micro-onde pour être chauffé. Le réacteur choisi est de type XP-1500 et le programme de chauffage a été de 10 min à 150 °C, 20 min à 200 °C et 15 min à 220 °C, à 1200 Watts. Après 15 min de refroidissement, les minéralisats ont été récupérés dans des flacons gradués, jaugés à 30 mL avec de l'eau distillée. Le contenu de chaque flacon a été filtré à 0,45 µm, et le filtrat a été acidifié avec 0,5 mL de HNO<sub>3</sub> (65 %; volume/volume) puis conservé au réfrigérateur à 4 °C pour les analyses ultérieures.

Les métaux traces ont été dosés grâce à un spectromètre d'absorption atomique de marque Varian SpectrAA-220 FS équipé d'un système de correction de bruit de fond par lampe au deutérium. Avant l'analyse des échantillons, l'appareil a été étalonné en choisissant la longueur d'onde spécifique de chaque métal.

## 2.4 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données ont été soumises à l'analyse de la variance à deux critères de classification (ANOVA 2) et la séparation des moyennes a été faite selon le test de la plus petite différence significative (*ppds*), avec une probabilité associée (*P*) égale à 0,05. Les calculs ont été réalisés avec le logiciel STATISTICA 7.1.

Avant d'effectuer la comparaison entre les teneurs en Cd et Pb des feuilles des végétaux et les normes préconisées, nous avons exprimé ces teneurs en mg/Kg de matière fraîche.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 DISTRIBUTION DES TENEURS EN MÉTAUX TRACES DES PLANTES

Les résultats portant sur les teneurs en métaux traces des racines et des feuilles de l'amarante cultivée sur les 3 sites sont consignés dans le tableau 1.

**Tableau 1: Teneurs (mg/Kg MS ou MF) des métaux traces dans les racines et les feuilles de l'amarante**

Sites	Organes	Cd (MS)	Cd (MF)	Cu (MS)	Pb (MS)	Pb (MF)	Zn (MS)	Ni (MS)
Marcory n=9	Racines	0,38±0,17c		4,0±5,1a	16,8±3,4ab		344,7±89e	25,9±5,8b
	Feuilles	0,20±0,04a	0,02	3,9±4,4a	14,7±4,6ab	1,51	282,0±40c	32,1±7,7c
Cocody n=9	Racines	0,19±0,05a		3,8±4,7a	16,3±5,5ab		229,1±30a	28,0±8,9bc
	Feuilles	0,31±0,11bc	0,03	0,6±0,1a	12,3±1,7a	1,21	252,6±52b	24,9±6,6b
Parcelle exp. n=6	Racines	0,24±0,01ab		0,5±0,1a	35,6±16c		224,9±55a	13,0±2,7a
	Feuilles	0,24±0,01ab	0,02	13,3±1,8b	20,9±0,1b	1,68	319,9±47d	12,9±1,4a

*n*= nombre d'échantillons analysés par organe, *exp.* = expérimentale, MS= Matière sèche, MF= Matière fraîche. Dans chaque colonne, les moyennes portant des lettres différentes sont significativement différentes sur la base du test de ppds au seuil de 5%.

Les teneurs en Cd dans les racines et dans les feuilles de l'amarante de la parcelle expérimentale sont du même ordre de grandeur tandis que Cd s'accumule préférentiellement dans les racines à Marcory et dans les feuilles à Cocody. La teneur la plus élevée en Cd a été enregistrée dans les racines de l'amarante à Marcory. Les concentrations en Cu, dans les 2 organes à Marcory et à Cocody, dans les racines sur la parcelle expérimentale, sont du même ordre de grandeur. La teneur la plus élevée a été obtenue dans les feuilles sur la parcelle expérimentale. Pb affiche une tendance d'accumulation préférentielle dans les racines; la plus forte teneur a été obtenue dans les racines de la parcelle expérimentale. Zn s'accumule, préférentiellement, dans les feuilles à Cocody et sur la parcelle expérimentale, dans les racines à Marcory. La forte teneur a été obtenue dans les racines à Marcory. Sur les 3 sites, les teneurs en Zn sont plus fortes que celles des autres métaux. Les plus faibles teneurs en Ni, du même ordre de grandeur, sont obtenues dans les organes de l'amarante de la parcelle expérimentale tandis que la plus forte teneur a été enregistrée dans les feuilles à Marcory.

Hormis Pb, il ne se dessine aucun ordre précis dans l'accumulation des éléments traces par les racines et les feuilles de l'amarante.

Sur tous les sites, Cd et Cu présentent des teneurs plus faibles que celles de Pb et Zn.

Les teneurs moyennes en Cd, des feuilles de l'amarante à Marcory, à Cocody et sur la parcelle expérimentale, correspondent, respectivement, à 0,02 mg/Kg MF, 0,03 mg/Kg MF et 0,02 mg/Kg MF. Les teneurs moyennes en Pb, des feuilles de l'amarante à Marcory, à Cocody et sur la parcelle expérimentale, correspondent, respectivement, à 1,51 mg/Kg MF, 1,21mg/Kg et 1,68 mg/Kg MF.

Le tableau 2 présente les concentrations en métaux traces dans les racines et les feuilles de la laitue.

**Tableau 2: Teneurs (mg/Kg MS ou MF) des métaux traces dans les racines et les feuilles de la laitue**

Sites	Organes	Cd (MS)	Cd (MF)	Cu (MS)	Pb (MS)	Pb (MF)	Zn (MS)	Ni (MS)
Marcory n=9	Racines	0,34±0,20a		4,9±6,2a	14,8±1a		358,4±52,2c	25,7±11,6a
	Feuilles	0,19±0,11a	0,01	6,6±9,1a	17,2±7,5a	0,65	327,7±49bc	32,4 ±9,8a
Cocody n=9	Racines	0,82 ±0,9b		7,2±9,8ab	16,0±10,7a		273,7±38,1a	28,3 ±6,1a
	Feuilles	0,35±0,16a	0,01	8,4±5,9ab	18,0±13,7a	0,63	303,6± 55ab	30,8±7,7a
Parcelle exp. n=6	Racines	0,34±0,01a		8,6±7,1ab	13,4 ±0,4a		308,9±42abc	34,9 ±6,4a
	Feuilles	1,10±0,03b	0,04	14,7±0,03b	31,0±12,9b	1,02	450,6±54,7d	28,7±8,5a

*n*= nombre d'échantillons analysés par organe, *exp.* = expérimentale, MS= Matière sèche, MF= Matière fraîche. Dans chaque colonne, les moyennes portant des lettres différentes sont significativement différentes sur la base du test de ppds au seuil de 5%.

Il ressort de l'analyse du tableau que les fortes teneurs en Cu, Pb et Zn ont été obtenues dans les feuilles de la laitue de la parcelle expérimentale. Quant à Cd, les concentrations les plus élevées, qui sont du même ordre de grandeur, ont été enregistrées dans les feuilles sur la parcelle expérimentale et dans les racines à Cocody. Les teneurs en Ni, sur tous les sites, sont du même ordre de grandeur. Sur la parcelle expérimentale, Pb s'accumule préférentiellement dans les feuilles. Sur les 3 sites, nous notons des teneurs en Cd et Cu plus faibles que celles en Pb, Zn et Ni.

**Niveau d'exposition aux éléments traces métalliques (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni) de l'amarante (*Amaranthus paniculatus* L.) et de la laitue (*Lactuca sativa* L.) cultivées sur des sites maraîchers dans la ville d'Abidjan (Abidjan/Côte d'Ivoire)**

Chez la laitue aussi, il ne se dessine aucun ordre précis dans l'accumulation des éléments traces par les racines et les feuilles.

Les teneurs moyennes en Cd, des feuilles de la laitue à Marcory, à Cocody et sur la parcelle expérimentale, correspondent, respectivement, à 0,01 mg/Kg MF, 0,01 mg/Kg MF et 0,04 mg/Kg MF. Les teneurs moyennes en Pb, des feuilles de la laitue à Marcory, à Cocody et sur la parcelle expérimentale, correspondent, respectivement, à 0,65 mg/Kg MF, 0,63 mg/Kg et 1,02 mg/Kg MF.

**3.2 COMPARAISON DE LA CAPACITE D'ACCUMULATION DES ELEMENTS TRACES PAR LES 2 LEGUMES CULTIVES SUR CHAQUE SITE**

Le tableau 3 compare sur chaque site, les teneurs en métaux traces de chaque type d'organes des 2 espèces cultivées.

À Marcory, hormis la teneur en Zn dans les feuilles de la laitue qui est plus élevée que celle des feuilles de l'amarante, les teneurs des autres métaux sont de même ordre de grandeur dans les mêmes organes des deux végétaux. À Cocody, les teneurs en Cd et Zn sont plus élevées dans les racines de la laitue. Au niveau des feuilles, les fortes concentrations en Cu, Pb, Zn et Ni ont été enregistrées chez la laitue. Sur la parcelle expérimentale, les teneurs en Cu, Zn et Ni ont été obtenues dans les racines de la laitue tandis que la concentration la plus élevée en Pb a été enregistrée dans les racines de l'amarante. Au niveau des feuilles, hormis Cu, les autres métaux ont des teneurs plus élevées dans la laitue.

Le résultat le plus intéressant de ce tableau est que sur les 3 sites et au niveau des feuilles des plantes, les teneurs les plus élevées en Zn ont été obtenues dans la laitue.

**Tableau 3: Comparaison des teneurs (mg/Kg MS) moyennes en métaux traces de l'amarante et de la laitue en fonction du type d'organes (racines, feuilles)**

Sites	Métaux	Racines		Feuilles	
		Amarante	Laitue	Amarante	Laitue
M n=9	Cd	0,38±0,17 <sup>a</sup>	0,34± 0,20 <sup>a</sup>	0,20± 0,04 <sup>a</sup>	0,19± 0,11 <sup>a</sup>
	Cu	4± 5,1 <sup>a</sup>	4,9± 6,2 <sup>a</sup>	3,9± 4,4 <sup>a</sup>	6,6± 9,1 <sup>a</sup>
	Pb	16,8± 3,4 <sup>a</sup>	14,8± 1 <sup>a</sup>	14,7± 4,6 <sup>a</sup>	17,2± 7,5 <sup>a</sup>
	Zn	344,7± 88,8 <sup>a</sup>	358,4± 52,2 <sup>a</sup>	282± 40,4 <sup>a</sup>	327,7± 49 <sup>b</sup>
	Ni	25,9± 5,8 <sup>a</sup>	25,7± 11,6 <sup>a</sup>	32,1± 7,7 <sup>a</sup>	32,4± 9,8 <sup>a</sup>
C n=9	Cd	0,19± 0,05 <sup>a</sup>	0,82± 0,91 <sup>b</sup>	0,31± 0,11 <sup>a</sup>	0,35± 0,16 <sup>a</sup>
	Cu	3,8± 4,7 <sup>a</sup>	7,2± 9,8 <sup>a</sup>	0,6± 0,1 <sup>a</sup>	8,4± 5,9 <sup>b</sup>
	Pb	16,3± 5,5 <sup>a</sup>	16± 10,7 <sup>a</sup>	12,3± 1,7 <sup>a</sup>	18± 13,7 <sup>b</sup>
	Zn	229,1± 30 <sup>a</sup>	273,7± 38,1 <sup>b</sup>	252,6± 52,5 <sup>a</sup>	303,6± 55 <sup>b</sup>
	Ni	28± 8,9 <sup>a</sup>	28,3± 6,1 <sup>a</sup>	24,9± 6,6 <sup>a</sup>	30,8± 7,7 <sup>b</sup>
P n=6	Cd	0,24± 0,01 <sup>a</sup>	0,34± 0,01 <sup>a</sup>	0,24± 0,01 <sup>a</sup>	1,10± 0,03 <sup>b</sup>
	Cu	0,5± 0,1 <sup>a</sup>	8,6± 7,1 <sup>b</sup>	13,3± 1,8 <sup>a</sup>	14,7± 0,03 <sup>a</sup>
	Pb	35,6± 16 <sup>b</sup>	13,4± 0,4 <sup>a</sup>	20,9± 0,1 <sup>a</sup>	31± 12,9 <sup>b</sup>
	Zn	224,9± 54,9 <sup>a</sup>	308,9± 42 <sup>b</sup>	319,9± 47,3 <sup>a</sup>	450,6± 54,7 <sup>b</sup>
	Ni	13± 2,7 <sup>a</sup>	34,9± 6,4 <sup>b</sup>	12,9± 1,4 <sup>a</sup>	28,7± 8,5 <sup>b</sup>

M = Marcory, C = Cocody, P = parcelle expérimentale, n = nombre d'échantillons analysés par organe. Au niveau de chaque site et de chaque type d'organes, les moyennes portant des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes sur la base du test de ppds à 5%.

**4 DISCUSSION**

La répartition des éléments traces entre les organes est différente selon l'espèce étudiée et l'élément considéré [11]. En milieu urbain, les retombées atmosphériques, dues aux activités métallurgiques, à l'incinération des déchets, au trafic automobile, sont des sources de contamination des sols et des végétaux en éléments traces. Cela peut entraîner des teneurs plus élevées dans les organes végétatifs (feuilles, tiges) que dans les organes souterrains (racines). Dans notre étude, ces phénomènes environnementaux vont diversement influencer nos zones d'étude et les cultures qui s'y trouvent; ce qui ne

permet pas de connaître la répartition exacte des éléments traces absorbés, par l'amarante et la laitue, via le système racinaire.

Sur les 3 sites, les faibles teneurs en Cd et en Cu dans les organes sont, sans doute, le reflet des faibles teneurs phytodisponibles des métaux traces dans les sols (0,01-0,21 mg/Kg MS en Cd et 0,09-3,60 mg/Kg MS en Cu à Marcory; 0,002-0,18 mg/Kg MS en Cd et 0,02-3,33 mg/Kg MS en Cu à Cocody; 0,04-0,11mg/Kg MS en Cd et 0,06-3,02 mg/Kg MS en Cu sur la parcelle expérimentale), mises en évidence par Kouakou et al. [1], suite à une extraction au nitrate d'ammonium. L'antagonisme exercé par Zn vis-à-vis de Cd peut aussi justifier cette faible disponibilité de Cd. En effet, une compétition entre Cd et Zn est souvent observée et se traduit par une diminution de l'influx en cations  $Cd^{2+}$  en présence de cations  $Zn^{2+}$  [12]; il s'agit de la compétition entre ces cations pour les sites de complexation de surface au niveau de la racine, et vis-à-vis de transporteurs peu spécifiques de cations majeurs ou d'oligo-éléments [13]. La compétition entre Zn et Cu pourrait aussi expliquer les faibles teneurs en Cu enregistrées dans les organes des 2 espèces végétales sur les 3 sites. En effet, selon Kabata-Pendias et Pendias [14], Cu et Zn sont apparemment absorbés par le même mécanisme et leur présence combinée dans le sol peut limiter leur absorption [15] [16]. La plus grande partie de Cu présent dans les racines n'est pas transférée vers les parties aériennes [17] [18] [19]. Selon Bisson et al. [20], la quantité de Pb absorbée par les végétaux est rapidement immobilisée dans les vacuoles des cellules racinaires ou retenue par les parois de l'endoderme, d'où les teneurs en ce métal plus élevées dans les racines que dans les feuilles chez certaines plantes. Sur la parcelle expérimentale, la teneur en Cu dans les feuilles de l'amarante et celle en Pb dans les feuilles de la laitue, plus élevées que celles des racines, sont donc le reflet de la contribution des émissions atmosphériques; selon Tremel-Schaub et Feix [16], le transfert sol-plante de Pb est négligeable par rapport au dépôt direct sur les parties aériennes de poussières contenant Pb, surtout dans les zones urbaines.

Les fortes concentrations en Zn enregistrées dans l'amarante et la laitue sur les 3 sites sont la preuve que Zn est facilement biodisponible dans les sols légers et acides [21] comme ceux des sites d'étude [1]. L'analyse des sols a révélé des concentrations anormalement élevées en métaux sur les 3 sites [1] et ce qui expliquerait des teneurs en certains métaux traces, plus élevées dans les plantes de la parcelle expérimentale que celles des sites maraîchers de Marcory et Cocody.

Il est important de savoir que les teneurs en métaux traces dans les feuilles (organes consommés) des espèces végétales peuvent, ou non, engendrer des dangers pour la santé humaine. Il n'existe pas en Afrique des dispositions réglementaires fixant les concentrations limites de ces éléments traces dans les aliments destinés à l'alimentation humaine. Toutefois, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique en France (CSHPF) [22], l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture et l'Organisation Mondiale de la Santé (FAO et OMS) [23] et la Commission Européenne (CE) [24] ont publié des concentrations maximales recommandées en Cd et Pb dans les denrées alimentaires. La teneur maximale en Cd recommandée par le CSHPF et la CE est de 0,2 mg/kg MF, tandis que la teneur maximale en Cd recommandée par la FAO et l'OMS est de 0,05 mg/kg MF. Les teneurs maximales en Pb recommandées par le CSHPF, la FAO et l'OMS, la CE, sont respectivement 0,5 mg/kg MF, 0,1 mg/kg MF et 0,3 mg/kg MF. Pour Cu, Zn et Ni, nous nous sommes référés aux données compilées et publiées pour différents végétaux dans l'ouvrage de Kabata-Pendias et Pendias [25] consacré aux concentrations des métaux traces dans les sols et les plantes. Les teneurs maximales en Cu, Zn et Ni recommandées par ces auteurs sont, respectivement, 20 mg/kg MS, 100 mg/kg MS, 10 mg/kg MS. Nous notons que les teneurs moyennes en Pb, Zn et Ni des feuilles de l'amarante et de la laitue cultivées sur les sites maraîchers et sur la parcelle expérimentale dépassent les valeurs réglementaires. Il apparaît donc qu'il existe un risque élevé de contamination par Pb, Zn et Ni des consommateurs de feuilles d'amarante et de laitue cultivées sur les sols de ces 3 sites. À *contrario*, Cd et Cu ont des teneurs moyennes plus faibles que les valeurs recommandées.

La comparaison des teneurs en métaux traces des organes des 2 espèces cultivées sur chaque site a révélé que Zn s'accumule préférentiellement dans les feuilles de la laitue. La capacité de la laitue à accumuler les éléments traces plus que d'autres végétaux apparaît aussi nettement dans les tableaux de l'ouvrage de Kabata-Pendias et Pendias [25], présentant les teneurs moyennes en métaux traces de divers végétaux comestibles. Des expériences utilisant plusieurs espèces végétales ont également montré la forte capacité d'accumulation de la laitue pour Cd et Zn [26], et pour Cd [27]. Mench et al. [28] ont aussi noté des contaminations en Cd de la laitue cultivée en sol acide à faible teneur en matière organique. La tolérance développée par la laitue en réponse aux éléments traces permet d'expliquer la forte capacité d'accumulation des métaux traces par cette espèce par rapport à d'autres espèces. En effet, selon Baker et Walker [29], la tolérance et l'absorption des métaux sont fonctionnellement liées.

Pour les 4 autres métaux (Cd, Cu, Pb, Ni), les résultats des 3 sites ne permettent pas d'identifier le végétal le plus accumulateur; soit les 2 plantes ont la même capacité d'absorption, soit les concentrations de métaux absorbés pas les racines ont été influencées par les métaux dus aux apports atmosphériques.

## 5 CONCLUSION

Cette étude a révélé que l'amarante et la laitue cultivées sur les sites maraîchers de Marcory et Cocody et sur la parcelle expérimentale de l'Université Nangui Abrogoua accumulent différemment les métaux traces. Ce qui indiquerait que ces végétaux sont influencés plus ou moins par le site d'étude. Les retombées atmosphériques contribueraient à la contamination des plantes en éléments traces. Les teneurs en Pb, Zn et Ni des feuilles de l'amarante et de la laitue cultivées sur les 3 sites dépassent les valeurs recommandées; ces végétaux sont donc impropres à la consommation humaine.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'UNESCO, le Gouvernement japonais, la Fondation Internationale pour la Science (FIS) et l'Organisation d'Interdiction des Armes Chimiques (OIAC) qui ont financé cette étude.

## REFERENCES

- [1] K.J. Kouakou, Y.A. Bekro., A. E. Sika, D. Baize, D. O. Dogbo., M. Bounakhla, F. Zahry, P. Macaigne, "Diagnostic d'une contamination par les éléments traces métalliques de l'épinard (*Spinacia oleracea*) cultivé sur des sols maraîchers de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) amendés avec de la fiente de volaille", *European Journal of Sciences Research*, Vol. 21, N°3, pp. 471-487, 2008.
- [2] P. Moustier et J. Pagès, "Le périurbain en Afrique: une agriculture en marge?" *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, N°32, pp. 87-96, 1997.
- [3] D. Baize, "Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols français. Premiers résultats du programme ASPITET", *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, N°22, 37-46, 1994.
- [4] A. Rico, "Pollutions et pratiques agricoles. Deux concepts: dose journalière admissible et chimiodéfense", *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie: N°323*, pp.435-440, 2000.
- [5] P. Cambier, "Contamination of soils by heavy metals and other trace elements: a chemical perspective", *Anal. Mag.*, Vol. 22, N°2, pp. 21-24, 1994.
- [6] M. Sanka, M. Strnad, J. Vondra and E. Paterson, "Sources of soil and plant contamination in an urban environment and possible assessment methods", *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, Vol. 59, pp. 327-343, 1995.
- [7] S. Henin, "Les éléments traces dans le sol", *Sci. Sol.*, N°2, pp. 67-71, 1983.
- [8] OMS, *Salubrité des aliments et maladies d'origine alimentaire*, Aide-mémoire, N°237, 2002.
- [9] INS, *Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) 1998. Données socio-démographiques et économiques des localités, résultats définitifs par localités, région des lagunes*, Vol. 3, tome 1, 43 p.
- [10] K.I. Kouamé, D.L. Gone, I. Savane, E.A. Kouassi, K. Koffi, B. T. Goula et M. Diallo, "Mobilité relative des métaux lourds issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du Continental Terminal (Abidjan-Côte d'Ivoire)", *Afrique Sciences*, Vol. 2, N°1, pp.39-56, 2006.
- [11] C. Pinet, J. Lecomte, V. Vimont et G. Auburtin, "Teneurs des plantes à vocation alimentaire en éléments traces suite à l'épandage de déchets organiques, synthèse d'essais agronomiques français et modélisation des transferts sol-plante", 75 p, 2003.
- [12] G. Costa and J. L. Morel, "Efficiency of H<sup>+</sup>-ATPase activity on cadmium uptake by four cultivars of lettuce", *J. Plant Nutr.*, Vol. 14, pp. 627-637, 1994.
- [13] L. Denaix, *Transfert sol-eau-plante d'éléments traces dans les écosystèmes cultivés contaminés*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Pau et des Pays de l'Adour, 117 p, 2007.
- [14] A. Kabata-Pendias A. and H. Pendias, *Trace elements in soils and plants*. Third Edition. CRC Press, 413 p, 2001.
- [15] R. Leblanc et G. Châteauneuf, *Restauration des sols contaminés par phytoremédiation*. Rapport final, 81 p, 2003.
- [16] A. Tremel-Schaub et I. Feix, *Contamination des sols: transferts des sols vers les plantes*. EDP Sciences, ADEME, 416 p, 2005.
- [17] A. Kabata-Pendias and H. Pendias, *Trace elements in soils and plants*. London (UK), CRC Press, 2nd Ed., 365 p, 1992.
- [18] D. E. Baker and J.P. Senft, Copper, In: *Heavy metals in soils*. Blackie Academic and Professional. London (UK). Alloway B. J., pp. 224-243, 1995.
- [19] C. Juste, P. Chassin, A. Gomez, M. Linères, B. Mocquot, I. Feix et J. Wiart, *Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. Valorisation agricole des boues d'épuration*, ADEME, INRA, 209 p, 1995.
- [20] M. Bisson, C. Hulot, G. Lacroix, J.P. Lefèvre, H. Magaud, D. Oberson, R. Geneste, A. Morin et G. Pépin, *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Plomb et ses dérivées*, 90 p, 2003.



- [21] M. Bisson, R. Diderich, C. Hulot, N. Houeix, G. Lacroix, J.P. Lefèvre, S. Leveque, H. Magaud, A. Morin, *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Zinc et ses dérivées*, 69 p, 2005.
- [22] CSHPF, *Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation: évaluation et gestion du risque*. Tec. et Doc. Lavoisier, France, 237 p, 1996.
- [23] FAO and WHO, *Report on the 32nd session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, ALINORM 01/12, Beijing, People's Republic of China, 20-24 March 2000. Joint FAO/WHO Food Standard Programme, Codex Alimentarius Commission, 24th Session, 2-7 July, Geneva, Switzerland*, 95 p, 2001.
- [24] CE, *Règlement N° 466/ 2001 de la commission du 08 mars 2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires*. Journal Officiel des Communautés Européennes du 16 mars 2001, 13 p, 2001.
- [25] A. Kabata-Pendias and H. Pendias, *Trace elements in soils and plants*. London (UK), CRC Press, 2nd Ed., 365 p, 1992.
- [26] R. E. Hamon, J. Wundke, M. McLaughlin and R. Naidu, "Availability of zinc and cadmium to different plant species", *Aust. J. Soil Res.*, Vol. 35, pp.1267-1277, 1997.
- [27] E. Gérard, G. Echevarria, T. Sterckeman and J.L. Morel, "Cadmium availability to three plant species varying in cadmium accumulation pattern", *J. Environ. Qual.*, Vol. 29, pp. 1117-1123, 2000.
- [28] M. Mench, D. Baize, L. Denaix, V. Sappin et T. Sterckeman, *Exposition de végétaux aux éléments traces via la solution du sol: diagnostic de contamination des récoltes, diagnostic de danger, pratique agricole pour prévenir et assainir*, In: Actes des V<sup>èmes</sup> rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Palais des Congrès de Blois, 27-29 novembre 2001, pp. 317-331, 2001.
- [29] A.J.M. Baker and P.L. Walker, *Ecophysiology of metal uptake by tolerant plant*, In: A.J. Shaw (ed). Heavy metal tolerance in plants. CRC Press, Boca Raton, pp. 155-178, 1990.