

PROJECTION DE TROIS ESPECES DE PLANTES LOCALES POUR LA PHYTOEXTRACTION DE METAUX LOURDS A PARTIR DE DEUX TYPES DE SOLS AU BURKINA FASO

I. SENOU¹, Z. GNANKAMBARY², A. N. SOME¹, P. M. SEDOGO²

¹Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. BP 1091 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).
E-mail : issakasenou@gmail.com

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA). 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

RESUME

La capacité de *Barleria repens* (Allamanda buisson), *Cymbopogon citratus* (citronnelle) et de *Lantana camara* (thé de Gambie) à accumuler les métaux lourds tels que le cuivre (Cu), plomb (Pb), zinc (Zn) et cadmium (Cd) des lixisols et vertisols a été évaluée en station. Les sols ont été contaminés aux métaux lourds par application de déchets urbains solides aux doses de 0, 10, 15 et 20 tonnes/ha. Le taux de survie, la croissance des plantes et l'accumulation des métaux lourds ont été déterminés. Les résultats ont montré un potentiel de ces espèces à accumuler les métaux lourds. La tige de *Barleria repens* et *Lantana camara* est l'organe végétal qui a le moins accumulé les métaux lourds. Les quantités les plus élevées sont de 0,25 ; 0,14 ; 1,28 mg, respectivement, pour le Cd, le Cu et le Zn. Les racines de *Cymbopogon citratus* ont accumulé 10 fois plus de Cd et Cu, 3 fois plus de Zn que les feuilles dans les sols à caractères vertiques. Le Pb est le métal le moins prélevé par les trois espèces tandis que le Zn (jusqu'à 8,14 mg) est le plus exporté. Quelle que soit l'espèce végétale, les plantes cultivées sur les lixisols ont accumulé des quantités de métaux lourds plus élevées, que celles cultivées sur les vertisols. Les biomasses sèches ont augmenté avec les quantités de déchet apporté. Elles sont significativement plus élevées ($p < 0,001$) sur les lixisols que sur les vertisols. L'apport de déchets urbains solides a amélioré la performance des plantes, aussi bien au niveau de la croissance en hauteur (57,45 %) qu'à celui de l'augmentation de la circonférence du tronc (58,25 %).

Mots-clés : *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus*, *Lantana camara*, déchets urbains solides, lixisols, vertisols, métaux lourds.

ABSTRACT

SCREENING OF THREE SPECIES LOCALS PLANT FOR PHYTOEXTRACTION OF HEAVY METALS FROM TWO SOILS TYPES
IN BURKINA FASO

The capacity of *Barleria repens* (Allamanda buisson), *Cymbopogon citratus* (Citronella) and *Lantana camara* (Tea of Gambia) to accumulate heavy metals such as the Copper (Cu), Lead (Pb), Zinc (Zn) and Cadmium (Cd) on lixisols and vertisols from has been evaluate in station. Soils have been contaminated to with heavy metals through application the using of urban solid wastes to at the dose of 0, 10, 15 and 20 t/ha. The Survival rate, plants growth and heavy metals bioaccumulation has been were determined. The results showed potential plants to for heavy metals accumulation. *Barleria repens* and *Lantana camara* stem has the less accumulated heavy metal. The more higher Quantity were 0.25, 0.14, 1.28 mg with the Cd, Cu and Zn, respectively. *Cymbopogon citratus* roots exported 10 times more Cd and Cu, 3 time more Zn than leaves in vertisols. Pb is the less metal accumulated by threes plants. Zn is the more exported by threes plants (8.14 mg). Plants cultivated on lixisols exported more heavy metals than those cultivated in vertisols. The biomass of vegetal organs is higher with the quantity of urban wastes. They are significantly higher ($p < 0.001$) on lixisols than vertisols. Urban solid wastes providing increased plants performance, also good level with height growth (57.45 %) which to increase her the trunk circumference (58.25 %).

Key words : *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus*, *Lantana camara*, urban solid wastes, lixisols, vertisols, heavy metals.

INTRODUCTION

L'utilisation de déchets urbains solides (DUS) pour la fertilisation des sols dans les champs, les jardins urbains et périurbains des villes des pays en voie de développements s'intensifie (FAO, 1976). Les DUS contiennent des éléments indésirables tels que les métaux lourds (Farinet et Niang, 2005). Une attention particulière doit être accordée aux produits de récolte, car l'absorption des métaux lourds par les végétaux cultivés dans les champs et jardins urbains ou périurbains peut entraîner la contamination de la chaîne trophique. Cette agriculture péri-urbaine est l'unique activité et la seule source de revenus de 43 % des céréaliers, 83 % des maraichers et 91 % des pépiniéristes (Kaboré, 2010). Toutefois, une utilisation directe des substances organiques, notamment les DUS est inesthétique, car elle comporte des risques sanitaires et des conséquences pour l'environnement, le sol, ses propriétés biologiques et microbiologiques, la biodiversité animale. Les DUS sont en effet riches en métaux lourds et peuvent être sources de contamination, aussi bien pour les sols que pour les plantes cultivées. La présence des métaux lourds pose au moins deux problèmes majeurs pour l'Homme, l'un en agriculture et l'autre dans le domaine de la santé. En matière d'agriculture, la plupart des métaux accumulés dans le sol sont absorbés par les plantes cultivées. Les végétaux ont besoin, pour leur croissance et leur développement, de certains ions métalliques comme le cuivre, le zinc, le manganèse, le fer ou le cobalt, qui entrent dans la composition de certaines enzymes ou servent de co-facteurs (Yang *et al.*, 2005). Ces éléments, nécessaires en faible quantité, s'avèrent cependant toxiques, voire létaux, lorsqu'ils sont présents en forte concentration (Hänsch *et al.*, 2009). De plus, tous les ions métalliques ne sont pas indispensables aux plantes et l'accumulation des métaux dans les sols occasionne des pertes de rendement conséquentes. En matière de santé publique, les métaux absorbés par les végétaux entrent dans la chaîne alimentaire et entraînent un phénomène de bio-concentration à chaque passage dans le maillon trophique supérieur (McLean *et al.*, 2009). Cette accumulation de métaux s'avère dangereuse pour la santé. Par exemple, une forte teneur en plomb ou en mercure dans le corps humain affecte le système nerveux central, les cellules sanguines et les reins (De Burbure *et al.*, 2006).

Des propriétés naturelles des plantes sont exploitées dans le domaine de la phyto-remédiation qui est un ensemble de techniques permettant de dépolluer des sols, d'épurer des eaux usées ou d'assainir de l'air. Pour les métaux lourds, un procédé de phytoextraction nommé phytoextraction permet à certaines espèces végétales d'extraire les polluants du sol, puis de les séquestrer dans différents compartiments cellulaires (Hall et Williams, 2003). La phytoextraction est une méthode de plus en plus étudiée, parcequ'elle représente une alternative moins coûteuse et plus écologique que des extractions chimiques pour dépolluer les milieux contaminés. *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus* et *Lantana camara* sont des espèces végétales, appartenant, respectivement à la famille des Acanthacées, des Poacées et des Verbenacées. Très peu d'études ont été menées sur la phytoextraction en Afrique, et particulièrement au Burkina Faso. La présente étude vise à éliminer les composés toxiques dans les sols par la technique de phytoextraction. L'objectif de l'étude est d'évaluer la capacité de *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus* et *Lantana camara* à accumuler le Cb, Cu, Pb et Zn. Les hypothèses de travail émises sont les suivantes : (1) les espèces étudiées accumulent les métaux lourds tels que le Cd, Cu, Pb et Zn ; (2) la quantité de métal exportée augmente avec le niveau de pollution du sol (3) la quantité de métal exportée est fonction du type de sol et de l'organe végétal.

MATERIELS ET METHODES

SITES D'ETUDE

Les échantillons de sol ont été prélevés au mois de janvier 2011, à la profondeur de 0 - 20 cm dans des champs non cultivés des villages de Boni (11°35'N ; 3°26'O) et de Dossi (3°17'-3°30'O ; 11°22'-11°30' N). Les sols ont été ensuite transportés à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (4°10'- 4°30'O ; 11°-12 N), au Burkina Faso où l'expérimentation en serre a été conduite. Les sols prélevés à Boni et à Dossi sont, respectivement, lixisols et vertisols. Le climat des sites de prélèvement de d'expérimentation est de type sud-soudanien avec une pluviométrie annuelle comprise entre 900 et 1 200 mm.

PLANTES TESTEES

Trois espèces végétales *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus* et *Lantana camara* collectées chez un pépiniériste ont été utilisées comme plantes tests. Elles proviennent d'un pépiniériste. Les plants de la même espèce végétale présentant le même développement morphologique ont été sélectionnés. Les plants de *Barleria repens* avaient 1,5 cm de circonférence, 40 cm de hauteur et la longueur des racines réduites à 6 cm. Les plants de *Cymbopogon citratus* présentaient 45 cm de hauteur et 8 cm pour la longueur des racines. Les plants de *Lantana camara* sélectionnés avaient 2,5 cm de circonférence, 50 cm de hauteur et la longueur des racines réduite à 6 cm.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Des seaux en plastique (diamètre intérieur 30 cm et profondeur 28 cm) contenant 10 kg de sol sont placés dans la serre. Les températures moyennes dans la serre étaient quotidiennement mesurées et l'insolation était naturelle. Durant l'expérimentation, les températures moyennes

minimales et maximales étaient de 21 et 36 °C. La température maximale dans la serre était de 37,5 °C. Les déchets urbains solides triés ont été utilisés pour l'expérimentation, comme source de pollution en métaux lourds. Ils ont été apportés dans les seaux et intimement mélangés au sol. Les plants ont été ensuite repiqués dans des pots. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc complètement randomisé, avec quatre traitements et trois répétitions. Les traitements sont : i) T0, sans application de déchet; ii) T1, application de 10 t/ha de déchet ; iii) T2, application de 15 t/ha de déchet ; iv) application de 20 t/ha de déchet. En termes de quantité de déchets apportés au champ, les traitements T0, T1, T2 et T3 correspondent à 0 kg, 3,4 kg, 5,1 kg, 6,8 kg de déchets, respectivement. Durant l'expérimentation, la teneur en eau du sol dans les seaux a été maintenue constante à 60 % de la capacité maximale de rétention du sol. Pour maintenir l'humidité du sol constante, les seaux étaient quotidiennement pesés, et la quantité d'eau distillée nécessaire était ajoutée pour maintenir le poids constant. Les teneurs initiales en métaux lourds des déchets et dans les différents substrats (sols + déchets) sont consignées dans le (Tableau 1).

Tableau 1 : Teneurs initiales des substrats en métaux lourds (mg/kg).
Initial levels of heavy metals in substracts.

Substrat	Teneurs en métaux lourds (mg/kg)			
	Cadmium	Cuivre	Plomb	Zinc
Lixisols sans déchets	0,8	20	5	30
Lixisols + 10 tonnes de déchet/ha	1	23	21	115
Lixisols + 15 tonnes de déchet/ha	0,8	29	26	144
Lixisols + 20 tonnes de déchet/ha	0,9	31	29	166
Vertisols sans déchets	1	80	14	85
Vertisols + 10 tonnes de déchet/ha	2	65	27	154
Vertisols + 15 tonnes de déchet/ha	1,4	61	26	173
Vertisols + 20 tonnes de déchet/ha	1,7	59	28	181

COLLECTE DES DONNEES

Pour chaque espèce et chaque traitement, les données sont collectées tous les 10 jours, pendant 90 jours. L'évolution de la hauteur des plants et du diamètre du tronc a été mesurée à l'aide d'une règle graduée et d'un pied à coulisse. Les taux de croissance de la hauteur et de la circonférence du tronc ont été déterminés à l'aide des formules suivantes :

$$TCH (\%) = (Hf - Hi / Hf \times 100) \tag{1}$$

Où, TCH = Taux de croissance de la hauteur ; Hf = Hauteur finale de la plante ; Hi = Hauteur initiale de la plante.

$$TCC (\%) = Cf - Ci / Cf \times 100 \tag{2}$$

Avec : TCC = Taux de croissance de la circonférence du tronc ; Cf = Circonférence finale du tronc ; Ci = Circonférence initiale du tronc.

Après récolte, les parties végétales ont été lavées à l'eau distillée et séchées à l'étuve à 70 °C pendant 24 h jusqu'à poids constant.

ANALYSE DES SOLS ET DES PLANTES

Les teneurs en métaux lourds ont été déterminés dans les sols et dans les biomasses végétales de chaque espèce. Les différents échantillons ont été d'abord minéralisés à chaud, avec HNO_3 , puis les teneurs en Cd, Cu, Pb et Zn ont été déterminées à l'aide d'un spectromètre de masse à torche de plasma (ICP-MS modèle Elan 5000, Perkin Elmer, Sciex). La quantité (Q) d'un métal exportée (mg) a été déterminée par la formule suivante :

$$Q \text{ (mg)} = C \text{ (mg / kg)} \times P \text{ (kg)} \quad (3)$$

Où : Q = Quantité du métal exportée dans la biomasse ; C = Concentration du métal dans la biomasse ; P = Production de biomasse.

Après la récolte des plantes, le sol dans les seaux a été uniformément mélangé et un échantillon a été prélevé. Les sols ont ensuite été séchés à l'ombre, à une température de 27 °C pendant 72 h, broyés et tamisés à 0,2 mm pour les déterminations des paramètres chimiques. Pour la détermination de N-total, P-total et K-total, les échantillons de sol ont d'abord été minéralisés à chaud, avec un mélange H_2SO_4 -Se- H_2O_2 . Par la suite, les teneurs N et P -total sont déterminées dans les minéralisats, à l'aide d'un colorimètre automatique SKALAR (Segmented flow analyser, model SANplus 4000-02, Skalar Hollande). Le K-total a été déterminé à l'aide d'un photomètre de flamme (JENCONS. PFP 7, Jenway LTD, Felsted, England). Le P assimilable a été déterminé selon la méthode Bray I (Bray et Kurtz, 1945). Le carbone du sol

a été déterminé par la méthode de Walkley-Black (Walkley et Black, 1934). Le pH_{eau} du sol a été déterminée après agitation pendant 1 heure, de 20 g d'échantillon de sol dans 50 ml d'eau distillée. La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée par la méthode de chlorure d'ammonium de Metson, après que l'échantillon de sol ait été soumis à l'attaque à l'acétate d'ammonium tamponné à pH7.

ANALYSES STATISTIQUES

Le traitement des données a été réalisé grâce au logiciel Genstat version 10.3. Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le modèle linéaire général, avec le logiciel Minitab (V. 14) pour Windows (Minitab Inc). La séparation des moyennes est effectuée par le test de Tukey au seuil de 5 %.

RESULTATS

TAUX DE SURVIE ET TOLERANCE DES ESPECES VEGETALES AUX METAUX LOURDS

L'application des déchets urbains a augmenté le taux de survie des plants. Malgré les fortes teneurs en Cd (2 mg.kg⁻¹), en Cu (80 mg.kg⁻¹), en Pb (29 mg.kg⁻¹) et en Zn (181 mg.kg⁻¹) observées dans les sols étudiés, la performance des espèces étudiées n'a pas été altérée (Figure 1). Par ailleurs, le taux de survie a augmenté avec la quantité de déchets apportée.

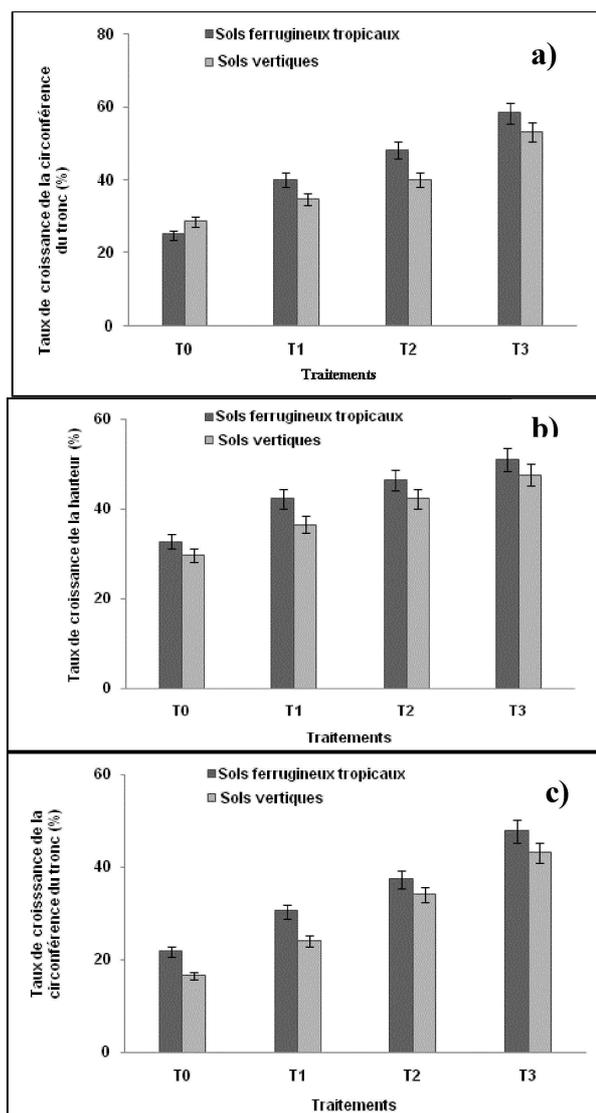


Figure 1 : Taux de croissance des plantes (%). a) Circonférence du tronc de *Barleria repens* ; b) hauteur de *Cymbopogon citratus* ; c) Circonférence du tronc de *Lantana camara*.

Three growth rate (%). a) trunk circumference of *Barleria repens* ; b) Height of *Cymbopogon citratus* ; c) trunk circumference of *Lantana camara*.

T0 : sans apport de déchet, T1 : apport de 3,4 kg de déchet, T2 : apport de 5,1 kg de déchet, T3 : apport de 6,8 kg de déchet.

T0 : no application of urban wastes, T1 : application of 3.4 kg of urban wastes, T2 : application of 5.1 kg of urban wastes, T3 : application of 6.8 kg of urban wastes

CROISSANCE DES PLANTES

La croissance des différentes espèces est évaluée par les taux de croissance et représentée dans la (Figure 1). Les résultats montrent que *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus* et *Lantana camara* s'établissent avec succès sur les sols contaminés aux métaux lourds par apport de déchets. Quel que soit le type de sol, l'apport de déchets urbains solides a augmenté la performance des plantes aussi

bien la croissance de la hauteur que la circonférence du tronc. Toutefois, les différents taux de croissance sont plus élevés sur les lxisols que sur les vertisols. Les biomasses sèches des feuilles, tiges et racines ont augmenté avec les quantités de déchet apporté (Figures 2, 3 et 4). Les quantités de biomasses sont significativement plus élevées sur les lxisols que sur les vertisols. Cependant, il n'existe pas de différence significative entre les quantités de biomasse

des tiges des plants de *Lantana camara* pour les deux types de sols, au niveau des traitements T0 et T3. Les quantités de biomasses foliaires de *Cymbopogon citratus* au niveau des traitements T0 ne présentent pas non plus de différences significatives sur les deux types sols.

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS

Les caractéristiques chimiques des sols des différents traitements avant le repiquage et à la récolte des différentes espèces sont consignés dans le (Tableau2). La période 0 mois correspond au repiquage. Les lixisols utilisés ont

un pHeau modérément acide (6,6) tandis que les vertisols ont un pHeau modérément basique (7,9). L'apport des déchets solides urbains a augmenté le pHeau de 2 unités et 1 unité respectivement pour les lixisols et vertisols. Quels que soient le traitement et le type de sol, le pHeau a augmenté avec l'apport de déchet et pour les trois espèces végétales. Les teneurs en éléments nutritifs ont augmenté avec la dose d'application des déchets urbains solides. Par contre, le rapport C/N a baissé avec l'application des déchets pour les lixisols. La CEC des vertisols a baissé de moitié quelque soit l'espèce végétale et la dose d'apport des déchets. La CEC des vertisols est 2,5 fois plus élevée que celle des lixisols.

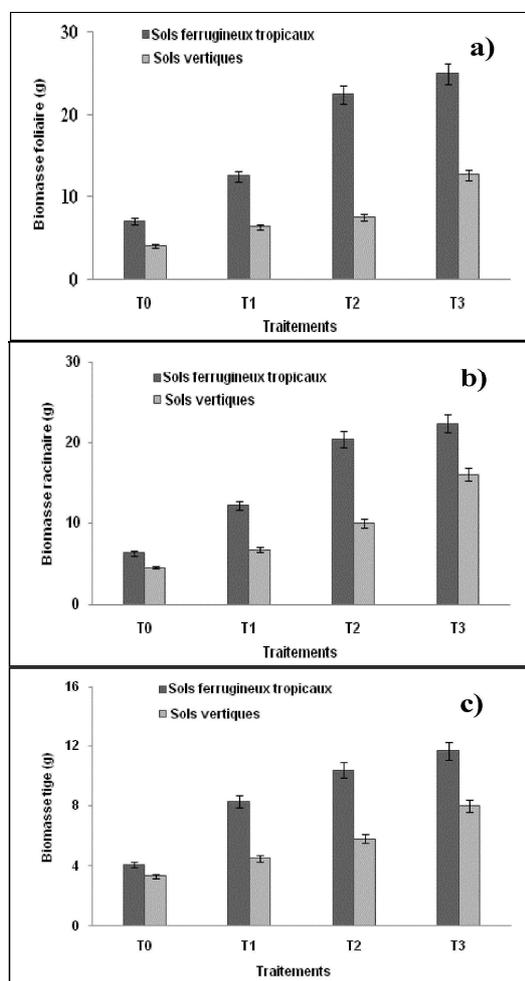


Figure 2 : Biomasse des organes végétaux de *Barleria repens*. a) feuille ; b) racine ; c) tige.

Biomass of Barleria repens organs. a) leaf ; b) root ; c) stem.

T0 : sans apport de déchet, T1 : apport de 3,4 kg de déchet, T2 : apport de 5,1 kg de déchet, T3 : apport de 6,8 kg déchet.

T0 : no application of urban wastes, T1 : application of 3.4 kg of urban wastes, T2 : application of 5.1 kg of urban wastes, T3 : application of 6.8 kg of urban wastes

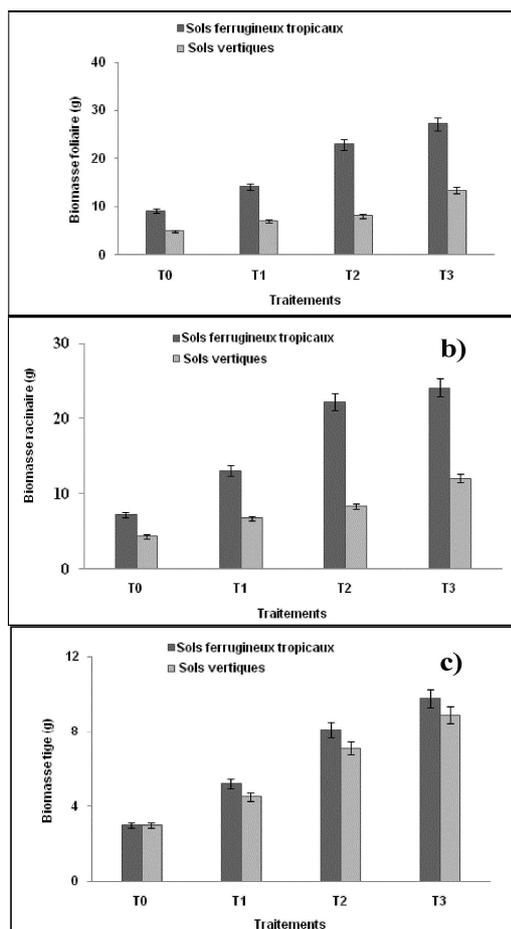


Figure 3 : Biomasse des organes végétaux de *Lantana camara*. a) feuille ; b) racine ; c) tige.

Biomass of Lantana camara organs. a) leaf ; b) root ; c) stem.

T0 : sans apport de déchet, T1 : apport de 3,4 kg de déchet, T2 : apport de 5,1 kg de déchet, T3 : apport de 6,8 kg déchet.

T0 : no application of urban wastes, T1 : application of 3.4 kg of urban wastes, T2 : application of 5.1 kg of urban wastes, T3 : application of 6.8 kg of urban wastes

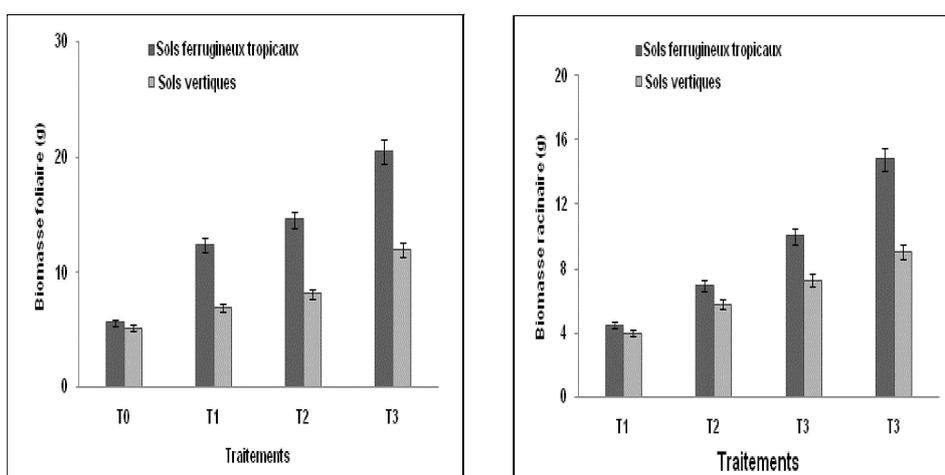


Figure 4 : Biomasse des organes végétaux de *Cymbopogon citratus*. a) feuille ; b) racine ; c) tige.

Biomass of Cymbopogon citratus organs. a) leaf ; b) root ; c) stem.

T0 : sans apport de déchet, T1 : apport de 3,4 kg de déchet, T2 : apport de 5,1 kg de déchet, T3 : apport de 6,8 kg déchet.

T0 : no application of urban wastes, T1 : application of 3.4 kg of urban wastes, T2 : application of 5.1 kg of urban wastes, T3 : application of 6.8 kg of urban wastes

Tableau 2 : Caractéristiques chimiques des différents traitements.*Chemical characteristics of soils of different treatments.*

Traitements	Période	Paramètres							
		pHeau	Carbone (g/kg)	N (g/kg)	C/N	P-total (mg/kg)	P-Bray I (mg/kg)	K-Total (mg/kg)	CEC (C mol/kg)
Lixisols/T0	0 mois	6,66	0,12	0,009	13	160	1,68	2068	4,75
Lixisols /T1	0 mois	8,16	0,19	0,017	11	604	57,2	2200	5,40
Lixisols/Br/T1	3 mois	8,19	0,18	0,019	10	635	84,2	2199	5,70
Lixisols/Cc/T1	3 mois	8,29	0,17	0,018	12	705	93,6	2205	4,65
Lixisols/Lc/T1	3 mois	8,59	0,15	0,019	11	625	74,4	2189	5,35
Lixisols/T2	0 mois	8,36	0,21	0,020	10	789	67,5	2267	5,65
Lixisols/Br/T2	3 mois	8,21	0,19	0,100	9	720	89,1	2167	4,35
Lixisols/Cc/T2	3 mois	8,41	0,19	0,100	11	762	96,3	2200	4,45
Lixisols/Lc/T2	3 mois	8,61	0,17	0,130	9	722	78,3	2133	4,95
Lixisols/T3	0 mois	8,52	0,27	0,019	10	795	64,3	2294	5,65
Lixisols/Br/T3	3 mois	8,26	0,22	0,140	9	796	90,2	2210	5,25
Lixisols/Cc/T3	3 mois	8,39	0,21	0,120	10	805	99,4	2195	4,24
Lixisols/Lc/T3	3 mois	8,53	0,18	0,160	9	785	88,6	2184	5,25
Vertisols/T0	0 mois	7,94	0,09	0,010	9	106	0,63	785	27,6
Vertisols/T1	0 mois	8,21	0,02	0,025	9	803	26,5	2068	13,3
Vertisols/Br/T1	3 mois	8,31	0,10	0,009	10	864	18,5	2044	11,9
Vertisols/Cc/T1	3 mois	8,62	0,17	0,012	10	884	16,3	2034	10,2
Vertisols/Lc/T1	3 mois	8,41	0,18	0,020	10	605	20,2	2086	11,5
Vertisols/T2	0 mois	8,19	0,21	0,024	9	833	30,5	2200	14,4
Vertisols/Br/T2	3 mois	8,34	0,14	0,007	9	882	17,1	2020	11,7
Vertisols/Cc/T2	3 mois	8,57	0,20	0,010	10	891	14,4	2000	11,3
Vertisols/Lc/T2	3 mois	8,47	0,16	0,210	9	689	19,4	2087	10,9
Vertisols/T3	0 mois	8,14	0,23	0,021	10	906	32,3	2266	14,9
Vertisols/Br/T3	3 mois	8,49	0,16	0,005	9	905	14,4	2000	10,9
Vertisols/Cc/T3	3 mois	8,63	0,22	0,010	10	899	13,9	2044	10,9
Vertisols/Lc/T3	3 mois	8,49	0,21	0,200	9	702	18,8	2087	10,6

T0 : sans apport de déchets / no application of urban wastes, T1 : apport de déchets à la dose de 10 tonnes/ha / application of 10 ton/ha of urban waste, T2 : apport de déchets à la dose de 15 tonnes/ha / application of 15 ton/ha of urban waste, T3 : sols apport de déchets à la dose de 20 tonnes/ha / application of 20 ton/ha of urban waste.

Br : *Barleria repens*, Cc : *Cymbopogon citratus*, Lc : *Lantana camara*.

METAUX LOURDS EXPORTES PAR LES PLANTES

Les quantités de Cd, Cu, Pb et Zn exportées par les organes végétaux de *Barleria repens* sont consignées dans le (Tableau 3). Sur les lixisols, *Barleria repens* a prélevé en moyenne 0,5 mg de Cd, 1,16 mg de Cu, 0,18 mg de Pb et 12,97 mg de Zn. Sur les vertisols, *Barleria repens* a prélevé en moyenne 0,48 mg de Cd ; 1,52 mg de Cu ; 0,01 mg de Pb et 6,66 mg de Zn. Quelle que soit la dose appliquée et sur les lixisols, la quantité de métaux lourds exportée par les feuilles de *Barleria repens* est supérieure à celle des racines, suivie de celle des tiges ; tandis que sur les vertisols ces quantités sont plus élevées au niveau des racines, suivies de celles des feuilles et des tiges.

Les quantités de Cd, Cu, Pb et Zn exportées par les organes végétaux de *Lantana camara* sont consignées dans le (Tableau 4). Les quantités de Cd, Cu, Pb et Zn exportées par les organes végétaux de *Cymbopogon citratus* sont consignées dans le (Tableau 5). Sur les lixisols, *Cymbopogon citratus* a accumulé en moyenne 0,57 mg de Cd ; 4,85 mg de Cu ; 0,012 mg de Pb et 7,53 mg de Zn. Les quantités exportées sur les vertisols sont en moyenne 0,17 mg de Cd ; 0,24 mg de Cu ; 0,005 mg de Pb et 4,47 mg de Zn. Les racines de *Cymbopogon citratus* ont accumulé plus de métaux que les feuilles, quelle que soit la dose appliquée et le type de sol. Le Pb est le métal le moins prélevé par les trois espèces (en trace) tandis que le Zn est le plus prélevé. Quelle que soit l'espèce végétale, les plantes cultivées sur les lixisols ont accumulé de plus grandes quantités de métaux lourds que

celles cultivées sur les vertisols. Toutefois, sur les lixisols, les plants de *Lantana camara* ont accumulé plus de métaux lourds (43,95 mg) que les plants de *Barleria repens* (36,12 mg), suivis des plants de *Cymbopogon citratus* (18,42 mg).

Tandis que sur les vertisols, les plants de *Lantana camara* et de *Barleria repens* ont accumulé des quantités presque équivalentes (19,25 et 20,53 mg) de métaux lourds, comparés aux plants de *Cymbopogon citratus* (10,65 mg).

Tableau 3 : Métaux lourds exportés par les différents organes de *Barleria repens* (mg).
Heavy metals by vegetal organs exported Barleria repens (mg).

Traitements	Métal exporté par les racines (mg)				Métal exporté par les tiges (mg)				Métal exporté par les feuilles (mg)			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Lixisols/T1	0,15	0,59	0,001	4,01	0,17	0,07	0,00008	0,36	0,039	0,25	0,0001	6,3
Lixisols/T2	0,20	0,69	0,002	4,57	0,22	0,10	0,003	0,47	0,067	0,47	0,0022	7,93
Lixisols/T3	0,20	0,49	0,007	1,29	0,25	0,13	0,007	0,54	0,073	0,58	0,005	5,9
Vertisols/T1	0,16	1,28	0,001	2,71	0,07	0,04	0,00014	0,36	0,00006	0,205	0,00064	0,95
Vertisols/T2	0,22	0,72	0,005	3,42	0,11	0,03	0,0005	0,24	0,0023	0,249	0,0013	1,81
Vertisols/T3	0,32	0,32	0,013	3,09	0,17	0,04	0,0008	0,34	0,00013	0,419	0,0025	3,226

Tableau 4 : Métaux lourds exportés par les plants de *Lantana camara* (mg).
Heavy metals by vegetal organs exported Lantana camara (mg).

Traitements	Métal exporté par les racines (mg)				Métal exporté par les tiges (mg)				Métal exporté par les feuilles (mg)			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Lixisols/T1	0,27	0,2	0,001	4,54	0,07	0,05	0,00005	0,29	0,01	0,16	0,013	2,63
Lixisols/T2	0,35	0,46	0,007	7,32	0,14	0,11	0,003	0,49	0,02	0,21	0,018	8,14
Lixisols/T3	0,29	0,58	0,01	4,56	0,19	0,14	0,009	0,62	0,03	0,05	0,003	12
Vertisols/T1	0,11	0,03	0,007	0,84	0,06	0,09	0,003	0,34	0,0001	0,25	0,00007	2,24
Vertisols/T2	0,14	0,02	0,002	1,07	0,11	0,09	0,002	0,72	0,0001	0,29	0,0016	2,88
Vertisols/T3	0,19	0,02	0,008	2,83	0,15	0,08	0,002	1,28	0,0001	0,47	0,0013	4,89

Tableau 5 : Métaux lourds exportés par les plants de *Cymbopogon citratus* (mg).
Heavy metals by vegetal organs exported Cymbopogon citratus (mg).

Traitements	Métal exporté par les racines (mg)				Métal exporté par les feuilles (mg)			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Lixisols/T1	0,13	0,19	0,0014	2,04	0,11	0,11	0,001	1,59
Lixisols/T2	0,2	0,18	0,003	2,04	0,15	0,1	0,003	3,21
Lixisols/T3	0,34	0,13	0,006	2,81	0,23	0,12	0,006	4,72
Vertisols/T1	0,14	0,11	0,003	1,54	0,01	0,07	0,001	0,55
Vertisols/T2	0,16	0,12	0,004	2,26	0,02	0,07	0,0008	0,72
Vertisols/T3	0,14	0,13	0,002	3,19	0,03	0,11	0,0001	1,28

Lixisols /T1 : Lixisols + déchets à la dose de 10 tonnes/ha / *Lixisols + 10 ton/ha of urban wastes* ; Lixisols/T2 : Lixisols + 15 tonnes/ha de déchets / *Lixisols + 15 ton/ha of urban wastes* ; Lixisols/T3 : Lixisols + 20 tonnes/ha de déchets / *Lixisols + 20 ton/ha of urban wastes*.
Vertisols /T1 : Vertisols+ 10 tonnes/ha de déchets / *Vertisols + 10 ton/ha of urban wastes* ; Vertisols/T2 : Vertisols + 15 tonnes/ha de déchets / *Vertisols + 15 ton/ha of urban wastes* ; Vertisols/T3 : Vertisols + 20 tonnes/ha de déchets / *Vertisols + 20 ton/ha of urban wastes*.

DISCUSSION

TAUX DE SURVIE ET TOLERANCE DES ESPECES VEGETALES AUX METAUX LOURDS

Le fort taux de survie observé, pour les plantes poussant sur des sols contaminés par des déchets urbains et l'absence de dommages confirment la tolérance de *B. repens*, *C. citratus* et *L. camara* aux métaux lourds, dans la limite des doses apportées. Ces résultats rejoignent ceux de Thy (2009) qui confirment la tolérance de *Lantana camara* à ces métaux. Les travaux de Truong (1997) ont aussi montré que *Vétiver zizanioides* est extrêmement tolérant aux niveaux toxiques d'arsenic, de cadmium, de chrome et de nickel dans le sol. Les travaux de Epelde et al. (2008) sur *Thlaspi caerulescens* ont également montré que, lorsqu'elle est exposée à des pollutions au Cd et au Zn, l'on a une quantité de biomasse supérieure à celle observée chez les témoins. Ces résultats corroborent également les travaux de (Walter et al., 2003) sur le *Salix vimilanis* et de Santosh et al. (2009) sur le *Jatropha curcas* L. qui n'ont montré aucun symptôme de toxicité lorsqu'elles sont développées dans des pots contenant des sols contaminés aux métaux lourds.

CROISSANCE DES PLANTES

Les apports des métaux lourds à travers les déchets urbains ont augmenté la croissance des plantes au cours du temps. Il est normal que le taux de croissance et les quantités de biomasses croissent avec la dose de déchet appliquée. Toutefois, le développement des plants était remarquable, puisque les plantes ont atteint des taux de croissance importante. Ces performances pourraient s'expliquer par les propriétés fertilisantes des déchets urbains solides. Dans un premier temps, les déchets augmentent les quantités de nutriments disponibles, tels que N et P. Par ailleurs, la croissance des plantes est améliorée grâce à la disponibilité accrue d'éléments minéraux et, les déchets contiendraient beaucoup moins de sels nocifs pour la croissance des plantes. Le sel en concentration élevée dans le sol, causerait une altération primaire qui inhibe la croissance des plantes. Plusieurs auteurs ont montré l'effet positif de l'amendement organique sur la revégétalisation des sols contaminés par

des métaux (Ortiz et Alcaniz, 2006 ; Kumar et al., 2008 ; Juwarkar et al., 2008).

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS

Les résultats indiquent une légère augmentation du pH suite à leur mise en culture. Cette hausse peut s'expliquer par la saturation du complexe d'échange cationique, avec, comme conséquence, une diminution progressive du taux d'aluminium échangeable dans la solution du sol. Les travaux de Logan et al. (1997) ont également montré une hausse de la valeur du pH avec l'augmentation du taux de matière organique dans le sol au cours du temps. Des valeurs de pH basiques après cultures (8,61 et 8,63, respectivement, sur les lxisols et vertisols) (Tableau 2) modifient la capacité d'adsorption des métaux lourds. Ceux-ci sont très mobiles dans des conditions acides; cette mobilité, mais aussi la disponibilité, diminuent au fur et à mesure que le pH se rapproche de la neutralité (Alloway, 1995). La minéralisation de matière organique au cours de la mise en culture libère les éléments nutritifs majeurs (N, P, K). Une carence de l'un de ces éléments majeurs peut affecter la biodisponibilité des métaux lourds dans les sols pollués (Cooke et Johnson, 2002). La CEC a baissé avec l'apport des déchets dans les vertisols. Ces résultats s'expliqueraient par la durée de la culture.

METAUX LOURDS EXPORTES

Les résultats obtenus ont mis en évidence la capacité de *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus* et *Lantana camara* à bioaccumuler des quantités de Cd, de Cu, de Pb et de Zn. Ces espèces étudiées ne se comportent pas de la même façon face aux pollutions métalliques. En effet, les plants de *L. camara* accumulent des quantités plus élevées que les autres espèces. Les teneurs en métaux lourds obtenues dans les biomasses sèches des plantes sont supérieures aux valeurs obtenues avec les concentrations critiques au-dessus desquelles les effets de toxicité sont possibles (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Les résultats de Robinson et al. (2000) ont montré que *P. trichocarpa* et *P. deltoides* pouvaient accumuler de fortes concentrations de Cd (209 mg.kg⁻¹) dans leurs tissus foliaires lorsqu'elles sont cultivées sur des sols contaminés à 300 mg.Cd.kg⁻¹. Des études antérieures réalisées avec le colza sur

des sols contaminés, montrent une accumulation du Pb, de Cu, Cd et du Zn dans la biomasse de la plante (Blaylock *et al.*, 1997). Des résultats similaires chez *Arabidopsis halleri* ont été rapportés par Zhao *et al.* (2000) avec des teneurs foliaires de 300 mg.kg⁻¹ de Cd et 20 800 mg.kg⁻¹ de Zn. Par ailleurs, les teneurs sont plus élevées aux niveaux des feuilles et des racines, comme l'avaient révélés les travaux de Aude (2009), qui indiquaient des teneurs en Pb, Cr et Mn plus élevées dans les feuilles que dans les tiges de *Arabidopsis halleri*. Ces teneurs sont également conformes à celles rapportées par Vandecasteele *et al.* (2008). Les différences de quantités exportées par les organes végétaux s'expliqueraient aussi par les quantités de biomasse sèche récoltée au niveau de chaque organe. La teneur en Zn trouvée dans les feuilles est au-dessus du niveau de concentration toxique dans le fourrage (Dudka *et al.*, 1995). Ce résultat est similaire à celui trouvé en Espagne chez *Lolium sp*, pour une graminée, où la concentration en Zn dépasse très largement le niveau critique (Maiz *et al.*, 2000).

CONCLUSION

L'étude menée a montré que *Barleria repens*, *Cymbopogon citratus* et *Lantana camara* peuvent s'établir sur un sol à fortes concentrations en métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn). Les espèces végétales testées ont accumulé des quantités différentes de métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn). *Lantana camara* a exporté le plus de métaux, suivi de *Barleria repens* puis de *Cymbopogon citratus*. *B. repens* et *L. camara* ont accumulé moins de métaux lourds au niveau de leur tige. Ces teneurs sont loin de celles trouvées excessives ou toxiques pour les plantes. Les métaux lourds accumulés au niveau de leurs racines sont donc transférés vers les feuilles. Par ailleurs, les plus quantités de métal exportées sont plus élevées avec la dose de déchets apportés. Elles sont en générales plus élevées dans les lxisols que dans les vertisols. Nos résultats confirment l'hypothèse de départ à savoir que les espèces végétales testées accumulent les métaux lourds. Les espèces végétales ont accumulé des quantités de métaux lourds supérieures à celles présentées dans la littérature comme excessives ou toxiques pour les plantes. Ces résultats offrent des perspectives encourageantes d'utilisation des

espèces végétales à décontaminer, à faible coût, les lxisols et vertisols contaminés par le Cd, Cu et Zn.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le projet CORUS II N° 6043 qui a entièrement financé ces travaux.

REFERENCES

- Alloway B. J. 1995. Heavy Metals in Soils, Blackie Academic and Professional, 368 p.
- Aude M. 2009. Etude de la variabilité naturelle dans la réponse du peuplier aux métaux : bases physiologiques et exploitation en phytoremédiation. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré (Nancy). Biologie Forestière, 345 p.
- Blaylock M. J., Salt D. E., Dushenkro S, Zakhrova O., Gussman C. and I. Raskin. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil applied chelating agents. Environ. Sci. Technol. 31 : 860 - 865.
- Bray R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soils Sci. 59 : 39 - 45.
- Cooke J. A. and M. S. Johnson. 2002. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals : a review of theory and practice. Environmental Review, 10 : 41 - 71.
- De Burbure C., Buchet J. P., Leroyer A., Nisse C., Haguenoer J. M., Mutti A., Smerhovsky Z., Cikrt M., Trzcinka-Ochocka M., Razniewska G., Jakubowski M. and A. Bernard. 2006. Renal and neurologic effects of cadmium, lead, mercury, and arsenic in children : evidence of early effects and multiple interactions at environmental exposure-levels. Environmental Health Perspectives. 144 : 584 - 590.
- Dudka S., Piotrowska M., Chlopekca A. and T. Witek. 1995. Trace metal contamination of soils and crop plants by the mining and smelting industry in Upper Silesia, South Poland. Journal of Geochemical Exploration, 5 : 237 - 250.
- Epelde L., Becerril J. M., Hernandez-Allica J., Barrutia O. and C. Garbisu. 2008. Functional diversity as indicator of the recovery of soil health derived from *Thlaspi caerulescens* growth and metal phytoextraction. Applied

- Soil Ecology. 39, 299 - 310. Guangdong Province, China. Restoration Ecology. 8 : 87 - 92.
- FAO. Rome, ITA. 1976. Elaboration d'un programme visant à promouvoir l'emploi des matières organiques comme engrais. Rome. 73 p.
- Farinet J. L. et S. Niang. 2005. Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone in [http : // www.irdc.ca/fr/ev-52181-201-1-DO_TOPIC.html](http://www.irdc.ca/fr/ev-52181-201-1-DO_TOPIC.html). Consulté le 22 Mars 2011.
- Hall J. L. and L. E. Williams. 2003. Transition metal transporters in plants. Journal of Experimental Botany. 54 : 2601 - 2613.
- Hänsch R. and R. R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current Opinion in Plant Biology. 12 : 259 - 266.
- Juwarkar A. A., Yadav S. K., Kumar G. P. and S. K. Singh. 2008. Effect of biosludge and biofertilizer amendment on growth of *Jatropha curcas* in heavy metal contaminated soils. Environmental Monitoring and Assessment, 145 : 7 - 15.
- Kabata-Pendias A. and H. Pendias. 1992. Trace elements in soils and plants, 2nd Edition. CRC press, Boca Raton, FL, 365 p.
- Kaboré W. T. 2010. Amélioration de la valorisation agricole des déchets urbains après compostage : Influence de la nature et des proportions des substrats initiaux sur les valeurs amendantes et fertilisantes des composts. Thèse de Doctorat unique en sciences appliquées de la terre, de l'eau et des sols. Université de Ouagadougou, 239 p.
- Kumar G. P., Yadav S. K., Thawale P. R., Singh S. K. and A. A. Juwarkar. 2008. Growth of *Jatropha curcas* on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and Azotobacter - a greenhouse study. Bioresource Technology, 99 : 2078 - 2082.
- Logan T. J., Lindsay B. J., Goins L. E. and J. A. Ryan. 1997. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. J. Environ. Qual. 26 : 543 - 550.
- Maiz I., Arambarri R., Garcia E. and E. Millan. 2000. Evaluation of heavy metal availability in polluted soils by two sequential extraction procedures using factor analysis. Environmental Pollution, 110 : 3 - 9.
- McLean C. M., Koller C. E., Rodger J. C. and G. R. MacFarlane. 2009. Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. Science of the Total Environment, 407 (11) : 3588 - 3596.
- Ortiz O. and J. M. Alcaniz. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. Bioresource Technology, 97: 545 - 552.
- Robinson B. H., Mills T. M., Petit D., Fung L. E., Green S. R. and B. E. Clothier. 2000. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation. Plant and Soil, 227 : 301 - 306.
- Santosh K. Y., Asha A. Juwarkar G. Phani K., Prashant R., Thawale S. K. S. and C. Tapan. 2009. Bioaccumulation and phyto-translocation of arsenic, chromium and zinc by *Jatropha curcas* L. : Impact of dairy sludge and biofertilizer. Bioresource Technology, 100 (2009) : 4616 - 4622
- Thy My D. H. 2009. Impacts des métaux lourds Sur l'interaction plante/ver de terre/microflore tellurique. Thèse de doctorat spécialité écologie microbienne. Université Paris Est (France), 145 p.
- Truong P. 1997. An Overview of Research, Development and Application of the Vetiver Grass System (VGS) Overseas and in Queensland. The Vetiver Workshop, Queensland, Australia, 1968 p.
- Vandecasteele B., Samyn J., De V. B. and B. Muys. 2008. Effect of tree species choice and mineral capping in a woodland phytostabilisation system : A case-study for calcareous dredged sediment landfills with an oxidised topsoil. Ecological Engineering, 32 : 263 - 273.
- Walkley A. and A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37 : 29 - 38.
- Walter R., Catherine K. and B. Kattia. 2003. Phytoextraction capacity of tree growing on a metal contaminated soil. Plant and soil, 256 : 256 - 272
- Yang X., Feng Y., He Z. and P. J. Stoffella. 2005. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 18 : 339 - 353.
- Zhao F. J., Lombi E., Breedon T. and S. P. McGrath. 2000. Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*. Plant Cell Environ, 23 : 507 - 514.