



Original Paper

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Effets de composts de déchets sur les propriétés chimiques du sol et la solubilité d'éléments minéraux sous deux régimes hydriques en conditions contrôlées au Togo

Outéndé TOUNDOU<sup>1,2\*</sup>, Koffi TOZO<sup>1,2</sup>, Geneviève FEUILLADE<sup>3</sup>, Virginie PALLIER<sup>3</sup>,  
Sanonka TCHEGUENI<sup>1</sup> et Koffi S.S. DOSSOU<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD),  
Université de Lomé, BP: 1515, Lomé, Togo.

<sup>2</sup>Laboratoire de Physiologie et de Biotechnologie Végétales, Université de Lomé,  
Faculté Des Sciences, BP : 1515, Lomé-Togo.

<sup>3</sup>Groupement de Recherche Eau Sol Environnement (GRESE), Université de Limoges,  
Parc Ester Technopôle, 16 rue Atlantis, 87068 Limoges cedex.

\*Auteur correspondant ; E-mail ; [toudsolla@gmail.com](mailto:toudsolla@gmail.com); Tél : (00228) 98353119

### RESUME

L'utilisation des composts de déchets en agriculture est l'une des voies principales dans la restauration de la fertilité des terres dégradées. Cependant, les effets d'un compost dépendent fortement de sa nature chimique et des conditions environnementales. Afin de mieux comprendre le mécanisme d'action des composts de déchets sur les propriétés chimiques du sol et la solubilité des ions, cinq types de composts de déchets ont été testés selon un dispositif en blocs de Fischer repartis en trois répétitions par traitements. Les résultats obtenus révèlent que les composts de déchets ont en général élevé le pH du sol de 2,13 unités et la conductivité électrique de 1301,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les traitements à engrais synthétique NPK ont par contre réduit le pH de 0,51 unité. A l'exception du traitement à compost de déchets agroalimentaires, les traitements à compost ont en général réduit le potentiel Redox contrairement aux traitements témoin et à engrais synthétiques. Ainsi, les traitements à engrais synthétique et à compost de déchets agroalimentaires sous déficit hydrique présentent respectivement des potentiels de 307,5 mV et 265 mV contre 262,5 mV pour le témoin absolu sous déficit hydrique. L'étude de la fraction hydrosoluble des éléments minéraux montre que la solubilité des cations essentiels (Ca, Mg et K) est liée fortement à leur concentration dans le substrat de culture contrairement aux éléments traces métallique dont la solubilité dépend essentiellement du pH et du potentiel Redox. Par ailleurs, le déficit hydrique a entraîné l'élévation de la conductivité électrique chez les traitements à composts. Ces résultats seront utilisés dans la phytoremédiation des sols pollués.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** engrais organiques, amendements, paramètres chimiques, ions, biodisponibilité.

### INTRODUCTION

Le compostage est un moyen de traitement et de valorisation des déchets en agriculture. Ainsi, depuis quelques décennies,

les composts de déchets sont utilisés dans l'amélioration des cultures et la restauration des sols dégradés (Bresson et al., 2001; Castaldi et al., 2004; Sawadogo et al., 2007).

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.51>

Les composts de déchets améliorent la structure, les propriétés chimiques ainsi que la perméabilité du sol (Agassi et al., 1998; Pagliai et al., 2004; Pedra et al., 2007; Movahedi et Cook, 2010). Cependant, la présence dans ces composts de divers éléments traces métalliques constitue la limite majeure pour leur utilisation en tant que amendement des sols (Jacomijn, 1996; Kozlowski et al., 2003). La solubilité des ions contenus dans les composts et leur transfert du sol vers la plante dépend essentiellement de ses propriétés chimiques. Cette biodisponibilité serait liée essentiellement au pH et au potentiel d'oxydoréduction du substrat de culture (Petruzzelli, 1989; Morel, 1996; Pigozzo et al., 2006). La conductivité électrique du sol étant moins abordée mais semble également pertinente dans la biodisponibilité des éléments traces métalliques selon les travaux de Schoeneau (2005) ainsi que ceux de Hargreaves et al. (2008). Le pH, le potentiel d'oxydoréduction et la conductivité électrique du sol sont les trois paramètres qui agiraient alors sur la solubilité des éléments traces métalliques dans un sol. De plus, dans le contexte actuel des changements climatiques, il se pourrait que la solubilité soit affectée par les conditions d'aridité. Au Togo, les composts de déchets sont élaborés et commercialisés par une ONG (ENPRO). Deux types essentiels de composts sont commercialisés à savoir celui des déchets urbains et de déchets urbains additionnés au fumier. Cependant, les effets des composts sur les propriétés chimiques du sol sont moins connus à ce stade. Or ces paramètres chimiques sont les facteurs déterminants dans l'absorption des ions exceptionnellement des éléments traces métalliques par la plante. De plus, le Togo est actuellement menacé par le phénomène de changement climatique qui se matérialise par la rareté des pluies dans certaines localités (Adewi et al., 2010). Dans la présente étude, les effets de cinq types de composts de déchets facilement productibles ont été étudiés. Les études ont concerné le pH, le potentiel d'oxydoréduction et la

conductivité ionique des substrats de cultures amendés à base de ces composts sous deux régimes hydriques. La mesure de la fraction hydrosoluble des ions a ensuite permis de faire un lien entre les paramètres chimiques des substrats de cultures et la solubilité des différents ions.

## MATERIEL ET METHODES

### Caractéristiques chimiques des composts

Cinq types de composts ont été testés : (C1) déchets ménagers ; (C2) déchets ménagers+ agroalimentaires + fumier; (C3) déchets ménagers + agroalimentaires + phosphate naturel ; (C4)= Déchets ménagers + agroalimentaires + fumier + Phosphate naturel et (C5) Déchets agroalimentaires. Le Tableau 1 présente les caractéristiques chimiques des différents composts et le Tableau 2 présente leur concentration en ions métalliques.

### Dispositif expérimental

Les expériences sont menées dans des pots à la serre. Un sol sableux acide fortement dégradé a été utilisé. Il renferme 1,02% de matière organique, 0,102% d'azote total et 0,81% de carbone organique total. Son pH et sa conductivité électrique sont respectivement égales à 5,64 et 187,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Il est situé dans la ferme agronomique de l'Université de Lomé sur le cordon littoral à 19-60 mètres d'altitude par rapport au niveau de la mer. Les essais sont menés en pots de dimensions 31 cm de hauteur, 31 cm de diamètre supérieur et 21 cm de diamètre inférieur. La terre est prélevée au niveau de l'horizon de surface comprise entre 0 et 25 cm de profondeur. Après prélèvement, elle a été séchée à l'air ambiant pendant sept jours, broyée puis tamisée à 2 mm. La mise en pots a été ensuite faite après mélange des composts, engrais synthétique et du sol en respectant un rapport de 100 g/kg (compost/terre) pour les traitements à compost et de 0,2% (par rapport à la masse de substrat de culture) pour les traitements à engrais synthétique. 14 traitements sont appliqués comme l'indique le Tableau 3.

### **Suivi des pots et mode d'irrigation**

Après la mise en place du dispositif expérimental, l'irrigation a été maintenue à 8 g d'eau pour 100 g de substrat de culture jusqu'à 7 jours au bout desquels elle a été ramenée à 70% par rapport à l'apport initial et ceci à chaque cinq jours. Ce mode d'irrigation a duré trente jours. Au bout de ce temps, les pots sous déficit hydrique ont été arrosés avec la même quantité d'eau (8 g d'eau pour 100 g de substrat) mais à chaque 7 jours jusqu'à la fin de l'expérience qui a duré 70 jours. La température moyenne et l'humidité relative de l'air pendant la période expérimentale dans la serre sont respectivement 30 °C et 72%.

### **Evaluation des effets des amendements sur les propriétés chimiques du sol**

Les mesures ont concerné le pH, le potentiel d'oxydoréduction et la conductivité électrique sur des échantillons de terre prélevés de 0 à 15 cm dans les pots à 70 jours après la mise en pots. La méthode adoptée est celle conforme à la norme française (NF ISO 10-390, 2005). Ainsi, sur 20 g d'échantillons secs, on met 100 ml d'eau distillée. Le mélange résultant est agité pendant 2 h. La solution est ensuite filtrée sur du nitrate de cellulose à 0,45 µm de porosité. Les mesures des trois paramètres chimiques ont été ensuite effectuées à l'aide des sondes respectives correspondantes à chaque paramètre.

### **Evaluation de la solubilité des ions**

La fraction hydrosoluble des cations essentiels (Ca, Mg et K) ainsi que cinq éléments traces métalliques (Zn, Pb, Mn, Cu, Ni) ont été évalués sur les mêmes échantillons ayant servis pour la détermination des paramètres chimiques. Pour cela, 1 g d'échantillon a été attaqué avec 25 mL d'eau bidistillée. Le mélange est ensuite soumis à une agitation à la température ambiante pendant 2 heures. Au terme de ce temps, la solution obtenue est centrifugée à 6000 trs/min pendant 10 minutes à 4 °C. Le surnageant obtenu est filtré sur membrane de 0,45 µm de porosité. Sur cet extrait est réalisé

les différents dosages après une minéralisation avec l'acide nitrique 69% et l'acide chlorhydrique 37%. Tous les éléments sont dosés à l'aide d'un Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (SAA).

### **Analyses statistiques**

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance ANOVA par utilisation du logiciel MSTAT-C (version 2.10). Le test de Fischer a permis d'apprécier la différence entre les traitements et celui de Duncan pour classer les traitements dans des groupes homogènes au seuil de probabilité de 5%. Le logiciel XLSTAT a été ensuite utilisé pour mettre des corrélations entre les propriétés chimiques du sol et la solubilité des éléments traces métalliques.

## **RESULTATS**

### **Effets des amendements sur les paramètres chimiques du sol**

La Figure 1 montre que les composts ont relativement élevé le pH du sol contrairement aux traitements à engrais synthétique et témoins. Cette élévation est fonction du pH initial du compost. Le déficit hydrique appliqué n'a pas eu d'effets significatifs notoires sur le pH du substrat de culture à l'exception des traitements à compost C5 et à engrais synthétique.

Le potentiel d'oxydoréduction varie peu d'un traitement à un autre. Cependant, on observe que les traitements à engrais synthétique, à compost C5 et témoin présentent les potentiels les plus élevés (Figure 2). Les résultats de la conductivité électrique montrent que les traitements à composts ont augmenté largement la composition ionique du substrat de culture. A l'exception des traitements à compost C4 et témoin, le déficit hydrique a en général augmenté ce paramètre (Figure 2).

### **Effets des traitements sur la Fraction hydrosoluble des cations nutritifs et métaux**

Le Tableau 4 montre que les traitements à composts C2 et C4 ont plus

libéré en solution des cations nutritifs. Ce qui pourrait plus favoriser leur biodisponibilité pour les plantes. Cependant, lorsque ces substances se retrouvent très concentrées dans le milieu, ils peuvent avoir des effets négatifs sur la physiologie et le rendement des plantes. Cette solubilité chez les traitements de ces composts proviendrait essentiellement du fumier présent dans ces composts. En effet, l'analyse des Tableaux 1 et 4 montre que ces composts sont plus riches en Calcium et Magnésium. Cependant, on note que la teneur en potassium soluble varie peu chez les traitements à compost.

La concentration des éléments traces métalliques montre que le plomb et le nickel sont les moins disponibles dans les substrats de culture. Le manganèse et le zinc sont par contre très solubles dans le sol des traitements témoin et à engrais synthétique par rapport aux traitements à composts.

#### Corrélations entre les paramètres chimiques et la solubilité des ions

L'Etude des corrélations entre les différentes propriétés chimiques du sol évaluées et la solubilité des ions permet de conclure que seule la solubilité du manganèse semble être très liée aux différents paramètres chimiques évalués (Tableau 6). De faibles pH et conductivité électriques associés à un fort potentiel Redox seraient les conditions

optimales de sa solubilité. Par contre, la solubilité du cuivre serait plus liée au fort pH et à une faible conductivité électrique. Quand aux Nickel et Plomb, leur concentration dans le substrat de culture influencerait plus leur solubilité.

L'analyse en composantes principales subdivise les éléments métalliques en deux groupes et les traitements en trois groupes (Figure 3). Le premier groupe d'éléments traces métalliques (Zinc et Manganèse) qui serait très positivement corrélé avec le potentiel Redox et le deuxième groupe (Cu, plomb et Nickel) qui ne présente pas tellement d'affinité vis-à-vis des propriétés chimiques du sol. Le premier groupe de traitement qui représente celui du premier plan factoriel constituant ceux qui ont plus favorisé la solubilité du Manganèse et du Zinc (T0', T0, TES1, TES2, T05). Le deuxième groupe étant ceux qui ont moins libéré d'éléments en solution sous l'effet d'un pH légèrement alcalin ( T3, T01, T03) et le troisième groupe en bas du deuxième plan factoriel qui favoriserait l'élévation de la conductivité électrique du substrat de culture (T02, T2, T04, T4, T1, T5). Par ailleurs, on note que Les traitements à composts sous déficit hydrique sont dans ce dernier groupe. Le déficit hydrique aurait largement contribué à l'élévation de la concentration d'ions dans les substrats.

**Tableau 1:** Caractéristiques chimiques des composts.

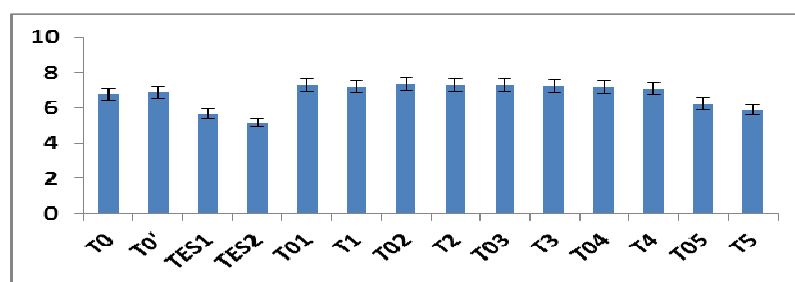
Composts	C1	C2	C3	C4	C5
<b>MOT (%)</b>	26,900	30,990	36, 345	31,380	75,120
<b>COT(%)</b>	10,49	13,16	11,91	11,14	37,67
<b>NTK (%)</b>	0,5727	1,1073	0,4073	0,9164	0,9290
<b>C/N</b>	18,32	11,88	29,23	12,15	40,95
<b>P tot (%)</b>	0,0947	0,0557	1,8920	1,7260	1,2380
<b>K (%)</b>	0,380	0,636	0,746	0,494	0,527
<b>Mg (%)</b>	0,2843	0,3649	0,2403	0,2618	0,2588
<b>Ca (ppm)</b>	11760	25410	36215	54460	10370
<b>Ec (dS/m)</b>	2,43	2,85	2,11	2,41	3,18
<b>pH</b>	8,80	8,32	8,42	8,19	6,85

**Tableau 2 :** Composition en éléments traces métalliques des composts.

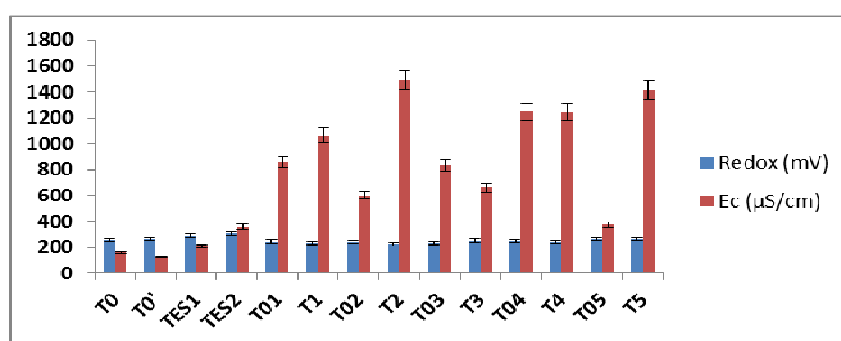
Composts	C1	C2	C3	C4	C5
Zn (mg/kg)	149,3±20,36	212,3±56,00	482,2±51,90	135,25±18,59	170,5±42,43
Ni (mg/kg)	72,5±4,59	05,5±1,41	22,5±3,18	23,0±4,24	19,0±2,82
Pb (mg/kg)	640,0±56,56	50,0±0,00	60,0±0,00	60,0±14,14	60,0±7,07
Mn (mg/kg)	266,0±49,5	315,0±7,07	223,5±31,81	298,5±50,2	64,5 ±20,50
Cu (mg/kg)	5,0±1,41	40,0±7,07	35,0±7,07	10,0±1,41	20,5±6,36

**Tableau 3:** Types d'amendement et traitements.

Types d'amendement	Traitements sous irrigation permanente	Traitement avec déficit hydrique au 27 <sup>ème</sup> jour après mise en pots
Co (Traitement témoin absolu)	T0	T0'
TES (Engrais synthétique NPK)	TES1	TES2
C1 (Compost C1)	T01	T1
C2 (Compost C2)	T02	T2
C3 (Compost C3)	T03	T3
C4 (Compost C4)	T04	T4
C5 (Compost C5)	T05	T5



**Figure 1:** Effets des traitements sur le pH des substrats.



**Figure 2:** Effets des traitements sur le potentiel d'oxydoréduction et la conductivité électrique des substrats de culture.

**Tableau 4:** Effets des traitements sur l'hydrosolubilité des cations nutritifs.

Traitements	Mg (mg/kg) PPDS=114,6	Ca (mg/kg) PPDS=284,5	K (mg/kg) PPDS=483,9
T0	25,67 C	226,5 ABC	44,59 B
T0'	37,33 BC	296,0 ABC	39,61 B
TES1	38,14 BC	200,3 BC	29,29 B
TES2	28,00 BC	145,0 C	32,27 B
T01	72,80 BC	435,5 ABC	230,5 B
T1	134,00 ABC	503,8 AB	498,0 AB
T02	158,6 AB	444,4 ABC	563,1 AB
T2	98,14 ABC	533,5 A	834,9 A
T03	70,70 BC	278,3 ABC	359,9 AB
T3	94,09 ABC	369,5 ABC	362,1 AB
T04	209,60 A	411,0 ABC	449,9 AB
T4	93,15 ABC	355,5 ABC	477,4 AB
T05	107,5 ABC	160,3 C	305,3 AB
T5	78,74 BC	159,5 C	321,2 AB

PPDS= Plus Petite Différence Significative.

**Tableau 5:** Effets des composts sur la solubilité des éléments traces métalliques.

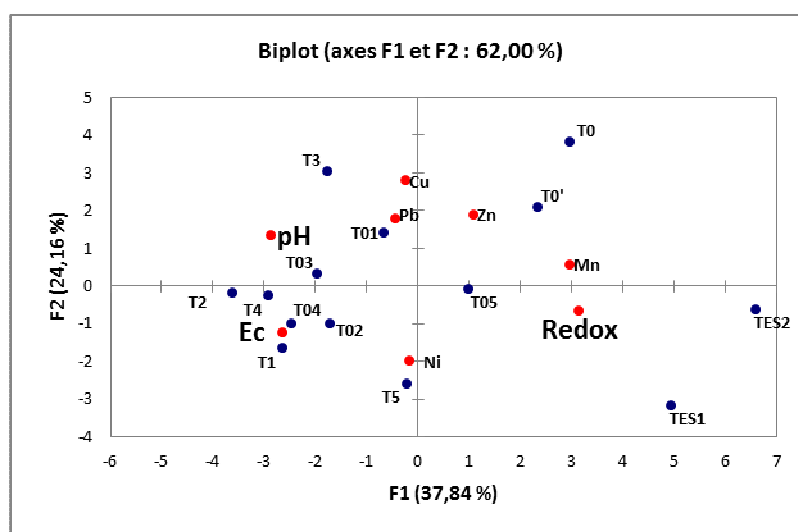
Traitements	Cu (mg/kg) PPDS=0,297	Mn (mg/kg) PPDS=12,88	Ni*(mg/kg) PPDS=0,483	Pb*(mg/kg) PPDS=1,26	Zn (mg/kg) PPDS=25,96
T0	0,625 AB	14,93 ns	0,262 CD	-1,75 ns	56,00 A
T0'	0,5 ABC	13,79 ns	0,075 D	-1,75 ns	32,00 AB
TES1	0,375 BC	17,49 ns	0,975 A	-2,00 ns	15,44 B
TES2	0,375 BC	15,24 ns	0,375 BCD	-1,89 ns	42,81 AB
T01	0,5 ABC	11,35 ns	0,350 BCD	-1,63 ns	32,31 AB
T1	0,375 BC	3,25 ns	0,840 AB	-2,00 ns	31,51 AB
T02	0,5 ABC	3,05 ns	0,650 ABC	-2,50 ns	30,00 AB
T2	0,5 ABC	5,137 ns	0,550 ABCD	-1,75 ns	25,75 B
T03	0,375 BC	3,137 ns	0,475 ABCD	-1,75 ns	40,01 AB
T3	0,75 A	4,063 ns	0,390 BCD	-1,25 ns	23,25 B
T04	0,375 BC	3,85 ns	0,638 ABC	-1,63 ns	27,00 AB
T4	0,375 BC	2,912 ns	0,138 CD	-1,63 ns	19,25 B
T05	0,375 BC	4,313 ns	0,425 BCD	-1,50 ns	30,00 AB
T5	0,25 C	4,475 ns	0,250 CD	-1,88 ns	23,13 B

PPDS = Plus Petite Différence Significative ; ns = non significatif ; \* = Concentrations inférieures au seuil de détection de l'appareil.

**Tableau 6:** Coefficients de détermination ( $R^2$ ) et de corrélation (R) de Pearson entre les paramètres chimiques du sol et la fraction hydrosoluble des E.T.M.

Paramètres chimiques	Eléments Traces métalliques									
	Cu		Mn		Ni		Pb		Zn	
	$R^2$	R	$R^2$	R	$R^2$	R	$R^2$	R	$R^2$	R
pH	0,187	0,432	0,322	-0,568*	0,001	-0,025	0,011	0,106	0,000	-0,018
Eh	0,045	-0,212	0,502	0,708*	0,000	-0,022	0,000	-0,02	0,003	0,058
Ec	0,113	-0,336	0,480	-0,693*	0,002	0,043	0,006	0,077	0,166	-0,407

\* = Valeurs statistiquement très différentes de 0 au seuil de probabilité de 5%.



**Figure 3:** Analyse en composantes principales des paramètres chimiques et éléments traces métalliques évalués.

## DISCUSSION

### Effets des composts sur les propriétés chimiques du sol

Le pH initial du sol étant faible, l'ajout des composts à pH très élevé (8-9) a permis d'augmenter la teneur en hydroxyde du sol augmentant ainsi le pH. Selon Mkhabela et Warman (2005) la présence des groupements hydroxyles et de certains ions dans les composts de déchets constitueraient le principal facteur qui aurait contribué à élever le pH du sol. Ces résultats sont conformes à plusieurs travaux qui ont montré que les composts de déchets diminuent l'acidité des sols (Charland et al., 2001; Charnay, 2005;

Houot et al., 2009; Mulaji, 2011). Par contre, les résultats obtenus chez les traitements à engrais synthétique et compost de déchets agroalimentaires proviendraient probablement d'une minéralisation de l'azote par nitrification libérant ainsi des protons susceptibles de diminuer le pH du sol. Ce phénomène serait plus intense sous déficit hydrique favorisant ainsi l'accumulation des protons dans le milieu.

Les valeurs du potentiel Redox confirment celles du pH. En effet, la nitrification et la minéralisation du phosphore par les microorganismes aérobies sont généralement des réactions d'oxydation

consommant beaucoup d'oxygène, ce qui contribuerait à l'élévation du potentiel Redox chez ces traitements par rapport aux traitements à composts C1, C2, C3 et C4 qui renfermeraient de l'azote relativement plus stable et assimilable (Bock *et al.*, 1989; Débri, 1991; Pakulski *et al.*, 1995).

L'élévation de la conductivité électrique sous déficit hydrique pourrait être liée à la concentration des ions plus spécifiquement les éléments traces métalliques (Hargreaves *et al.*, 2008). Ces résultats sont normaux, compte tenu de la charge ionique des composts de déchets (Tableau 2) et sont conformes à ceux de nombreux travaux (Wong *et al.*, 1996; Gobat *et al.*, 1998; Brady *et Weil*, 2002; Mulaji, 2011).

#### **Effets des composts sur la solubilité des ions**

Les résultats montrent que la solubilisation des éléments traces métalliques est fortement liée aux conditions chimiques du milieu par rapport aux autres éléments (Ca, Mg et K). Ainsi, la présence de la matière organique plus ou moins humifiée aurait réduit la solubilisation des éléments traces métalliques chez les traitements à composts. En effet, la matière organique, les oxydes hydratés, les phyllosilicates et le pH sont les principaux facteurs les plus importants contrôlant la disponibilité du zinc dans les sols conformément aux travaux de Kabata-Pendias *et Pendias* (1992). On pourra alors associer la faible solubilité des éléments traces métalliques chez les traitements à composts à la présence d'un nombre de groupements fonctionnels (OH, COOH, SH) ayant une grande affinité pour la plupart de ces éléments. La solubilité des éléments traces dans le sol est réduite sous l'effet direct des composts sur le pH (Houot *et al.*, 2009; Richards *et al.*, 2000; Smith, 2009). Les traitements à engrais synthétiques et témoin étant pauvres en matière organique, les éléments traces métalliques sont plus solubles même s'ils y sont présents en petites

proportions. Cette solubilité est renforcée par l'action du faible pH et un fort potentiel Redox pour le manganèse et le cuivre (Loué, 1993). Le déficit hydrique appliqué n'a pas tellement influencé la solubilité des éléments traces métalliques. Cependant, on note que les traitements à composts C4 et C5 sont ceux qui ont moins libéré d'ions métalliques en solution.

#### **Conclusion**

Cette étude a eu pour objectif principal d'étudier les effets de divers amendements sur les propriétés chimiques d'un sol dégradé au Togo puis ensuite les effets de ces modifications chimiques sur la solubilité des cations nutritifs et des éléments traces métalliques. Il ressort que les composts ont en général augmenté le pH et la conductivité électrique des substrats de culture contrairement aux traitements à engrais synthétiques et à compost de déchets agroalimentaires. Par contre, le potentiel Redox a été réduit par les traitements à composts à l'exception du compost de déchets agroalimentaires. Les traitements témoin, à engrais synthétique et à compost C5 ont largement augmenté ce paramètre témoignant d'un état oxydant avancé de leur substrat par rapport aux autres. L'étude de la solubilité des ions dans l'eau a montré que les cations nutritifs sont plus solubles lorsqu'ils sont concentrés dans le substrat de culture. Par contre, la solubilité des éléments traces métalliques dépendrait fortement du potentiel Redox, du pH et de la conductivité électrique du milieu. Ainsi, le manganèse et le zinc bien que moins concentrés dans les traitements témoin et à engrais synthétique ont plus été solubilisés dans ces traitements. Les résultats montrent également que le déficit hydrique appliqué a entraîné une élévation de la conductivité électrique chez la plupart des traitements à composts. Ce qui résulterait d'une hyperaccumulation des ions en conditions de déficit hydrique. En général, on note que les composts C4 et C5 ont moins libéré d'ions métalliques et peuvent être



utilisés comme amendement des sols afin de réduire le transfert sol-plantes des éléments traces métalliques. L'engrais synthétiques NPK serait la meilleure forme d'amendement pour créer les conditions favorables à la solubilité d'éléments traces métalliques dans la phytoremédiation des sols pollués. Cependant, l'étude de la biodisponibilité des ions n'étant pas seulement limitée à la fraction hydrosoluble, d'autres études méritent d'être menées sur les autres fractions biodisponibles dans le but d'optimiser la phytoremédiation des sols pollués au Togo.

#### REFERENCES

- Adewi E, Badameli KMS, Dubreuil V. 2010. Evolution des saisons des pluies potentiellement utiles au Togo de 1950 à 2000. *Climatologie*, **7**: 89-107.
- Agassi M, Kirsten WFA, Loock AH, Fine P. 1998. Percolation and leachate composition in a disturbed soil layer mulched with sewage biosolids. *Soil Till. Res.*, **45**: 359-372.
- Bock E, Koops HP, Harms H. 1989. *Nitrifying Bacteria*. Ed. Springer-Verlag: Berlin; 11-14.
- Brady NC, Weil RR. 2002. *The Nature and Properties of Soils* (13<sup>ème</sup> édn). Pearson Education, Inc.: New Jersey, USA; 960.
- Bresson LM, Koch C, Le Bissonnais Y, Barriuso E, Lecomte V. 2001. Soil surface structure stabilization by municipal compost application. *Soil Sci. Soc. Am.*, **65**: 1804-1811.
- Castaldi P, Garau G, Melis P. 2004. Influence of compost from sea weeds on heavy metal dynamics in the soil-plant system. *Fresenius Environment Bulletin*, **13**: 1322-1328.
- Charland M, Cantin S, St Pierre M-A, Côté L. 2001. Recherche sur les avantages à utiliser le compost. Dossier CRIQ 640-PE27158 (R1), Rapport final. Recyc-Quebec, 35 p.
- Charnay F. 2005. Compostage des déchets urbains dans les pays en développements: élaboration de la démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat, Université de Limoge, France, 229p.
- Débri A. 1991. The role of nitrification in the oxygen depletion of the River Danube. *Verh. Internat. Verein. Limnol*, **24**: 1965-1968.
- Gobat JM, Aragno M, Matthey W. 1998. *Le Sol Vivant. Bases de Pédologie - Biologie des Sols*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes : Lausanne, Suisse ; 521.
- Hargreaves JC, Adl MS, Warman PR. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **123**: 1-14.
- Huot S, Cambier Ph, Benoit P, Deschamps M, Jaulin A, Lhoutellier C, Barriuso E. 2009. Effet d'apports de composts sur la disponibilité de micropolluants métalliques et organiques dans un sol cultivé. *Étude et Gestion des Sols*, **16**(3/4): 255 - 274.
- Jacomijn P. 1996. Composting of organic household waste. UWEP working Document 1, 96p.
- Kabata-Pendias A, Pendias HK. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants* (2<sup>nd</sup> edn). CRC Press Inc : Boca Raton, Florida ; 365.
- Kozłowski R, Kozłowska J, Grabowska L, Mankowska B. 2003. Métaux lourds dans l'environnement, menaces et possibilités de riposte. <http://www.chanvre-info.ch>.
- Lindsay WL, Norvell WA. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal*, **42**: 421-428.
- Loué A. 1993. *Microéléments en Agriculture*. Editions Nathan; 119- 154.
- Mkhabela M, Warman PR. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops, grown in a Pugnash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **106**: 57-67.

- Morel L. 1996. *Les Sols Cultivés* (2<sup>ème</sup> edn). Lavoisier : Paris, **378**.
- Movahedi SAR, Cook HF. 2010. Influence of municipal compost on temperature, water, nutrient status and the yield of maize in temperate soil. *Soil Use and Management*, **16**(3): 215-221.
- Mulaji KC. 2011. Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat de l'Université de Liège - Gembloux agro-bio Tech, 191p.
- Pagliai MN, Vignozzi N, Pellegrini S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Tillage Res.*, **79**: 131-143.
- Pakulski JD, Benner R, Amon R, Eadie B, Withledge T. 1995. Community metabolism and nutrient cycling in the Mississippi river plume: Evidence for intense nitrification at intermediate salinities. *Marine Ecol. Prog. Series*, **117**: 207 – 218.
- Pedra F, Polo A, Ribeiro A, Domingues H. 2007. Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, **39**: 1375-1382.
- Petruzzelli G. 1989. Recycling wastes in agriculture: heavy metal bioavailability. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **27** : 493–503.
- Pigozzo ATG, Lenzi E, Junior JL, Scapin C, Da Costa ACS. 2006. Transition metal rates in latosol twice treated with sewage sludge. *Brazil. Arch. Biol. Technol.*, **49**(3): 515–526.
- Richards BK, Steenhuis TS, Peverly JH, McBride MB. 2000. Effect of sludge-processing mode, soil texture and soil pH on metal mobility in undisturbed soil columns under accelerated loading. *Environmental Pollution*, **109** : 327-346.
- Sawadogo H, Bock L, Lacroix D, Zombre NP. 2007. Restauration des potentialités des sols dégradés à l'aide du Zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina-Faso). *BASE*, **12**(3): 279-290.
- Schoeneau J. 2005. Impacts of repeated manure additions on soil fertility. Proceedings of the Soils and Crops. University of Saskatchewan, Extension Press: Saskatoon, pp. 95–100.
- Smith SR. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, **35**: 142-156.
- Wong JWC, Li GX, Wong MH. 1996. The growth of *Brassica chinensis* in heavy-metal contaminated sewage sludge compost from Hong kong. *Bioresource Technology*, **58**: 309-313.