

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## COMPARATIVE STUDY OF ORGANIC MATTER DEGRADATION OF COMPOSTED SLUDGE AND SLUDGE LANDFILLED

### ETUDE COMPARATIVE DE LA DEGRADATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DES BOUES COMPOSTEES ET BOUES MISES EN DECHARGE

Slimane Lahsaini<sup>1</sup>, Leila Idrissi<sup>1</sup>, Salah Souabi<sup>1\*</sup>, Loubna El Fels<sup>2</sup>,  
Anas Aguelmous<sup>1</sup>, Mohamed Hafidi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université Hassan II, Faculté des Sciences et Techniques, BP 146, 20650,  
Mohammedia, Maroc

<sup>2</sup>Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Bd Prince My  
Abdellah, B.P. 2390, 40000, Marrakech, Maroc

\*Corresponding author: [salah.souabi@gmail.com](mailto:salah.souabi@gmail.com)

Received: November, 11, 2016

Accepted: March, 11, 2016

**Abstract:** The results of the biotransformation of organic matter for three trials **A** (500 kg sludge + 400 kg turf + 100 kg of straw), **B** (1000 kg sludge composted alone), and **C** (1000 kg sludge landfilled) after six months show a good degradation rate for trial **A**, compared to **B**, and **C**. C/N ratio decrease from 30 to 12 for mixture **A**, from 32 to 19 for **B**, and from 32 to 24 for **C**. An important decomposition rate, about 74 %, for mixture **A** has been reached after six months. The final compost for mixture **A** exhibited a high concentration (151.7 g·kg<sup>-1</sup>) of humic substance and a low concentration of heavy metal contents, compared to the AFNOR standard (NF U 44-041). The efficiency of the composting is confirmed by the germination index (GI), which exceeds 90 % for the trial **A**. However, phytotoxicity for trials **B** and **C** remains less important (GI does not exceed 40 %). The results of trial **A** will open the way for the agricultural use of sludge.

**Keywords:** heavy metal content, humic substances, phytotoxicity, total lipids, valorization

## INTRODUCTION

Selon le Ministère marocain de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, le volume des eaux usées augmente, et devrait atteindre 900 millions de m<sup>3</sup> en 2020, c'est dans cette démarche que la plupart des industries, en particulier agro-alimentaire, ont mis en place des stations d'épurations. Cependant le système d'épuration adapté, génère des quantités importantes des boues, et les prévisions sont pour 300.000 tonnes par an en 2025, d'après le rapport national de la gestion des boues.

Le traitement des eaux usées dans les stations d'épuration s'accompagne d'une production importante des déchets inévitables qui sont les boues résiduaires. Ces derniers renferment des matières organiques et des éléments minéraux, susceptibles de constituer un apport intéressant pour le sol [1].

L'utilisation directe de ces résidus présente de nombreux risques et contraintes liés à leur manipulation et à leur emploi, en raison d'une présence éventuelle des micropolluants organiques, éléments traces métalliques, et éléments biologiques pathogènes [2, 3]. L'utilisation des boues sans hygiénisation préalable, par la mise en décharge, constitue en quelque sorte un retour à la pratique ancestrale de l'épandage des eaux usées brutes [4]

Ces boues doivent donc être conditionnées chimiquement et/ou biologiquement avant toute utilisation en agriculture. Le compostage constitue une technique biologique simple qui permet une valorisation des ces déchets organiques en agriculture à condition de s'assurer de leur innocuité en matière de polluants [5].

Dans le présent travail, nous avons traité les boues de la station d'épuration d'une société de production d'huiles alimentaires à Casablanca, par le procédé de compostage, et de stockage, pendant 6 mois.

Au niveau de la société la production est diversifiée (huiles de table, savons, shampoing...) [6]. Par sa position comme leader dans le marché des huiles au Maroc et sa très grande production, la société traite des quantités importantes des eaux usées par la technique de SBR (Réacteur séquentiel discontinu), et génère des quantités élevées en boues résiduaires. Ces boues ont une texture pâteuse ce qui empêche et limite l'apport d'oxygène nécessaire à l'activité des micro-organismes, promoteurs de la dégradation de la matière organique.

Le but de cette étude est de suivre l'évolution de la matière organique et l'efficacité de l'abattement des polluants selon les deux processus : le stockage et le compostage pour trois essais différents : **A** (boue + gazon + paille), **B** (boue compostée toute seule), et **C** (boue mise en décharge).

## MATERIELS ET METHODES

### Essais de compostage

La boue provient de la station de traitement des eaux usées de l'unité industrielle agro-alimentaire de Casablanca, la paille et le gazon sont les substrats utilisés en mélange avec les boues. La période de traitement est de 6 mois.

Les essais étudiés ont été préparés avec les proportions suivantes :

Essai **A** : 50 % boue, 40 % gazon, et 10 % de paille, pour un volume total de 1 m<sup>3</sup>.

Essai **B** : 100 % de boue seule, arrosée et retournée fréquemment, pour un volume total de 1 m<sup>3</sup>.

Essai **C** : 100 % de boue mise en décharge, sans retournement, pour un volume total de 1 m<sup>3</sup>.

Les principales caractéristiques des substrats utilisés sont présentées dans le Tableau 1.

**Tableau 1.** Les principales caractéristiques des substrats utilisés

Paramètres	Boue	Paille	Gazon
pH	5,25 ± 0,08	6,80 ± 0,07	6,50 ± 0,05
Conductivité [mS·cm <sup>-1</sup> ]	1,22 ± 0,6	-	1,2 ± 0,3
Humidité [%]	55,7 ± 3,2	10 ± 1,6	80,0 ± 1,0
MO* [mg·g <sup>-1</sup> ]	866,4 ± 2,5	680,50 ± 1,5	680,50 ± 1,5
COT** [% MS]	30,1 ± 2,3	36,05 ± 1,2	33,56 ± 1,6
NTK*** [% MS]	0,925 ± 0,5	0,35 ± 0,2	2,85 ± 0,6
C/N****	32,5	103	11,76

MO : Matière Organique ; \*\*COT : Carbone Organique Total ; \*\*\*NTK : Nitrogen Total Kjeldhal ; \*\*\*\*C/N : Rapport C/N ; MS : Matière Sèche.

Les mélanges **A** et **B** sont homogénéisés manuellement, cependant **C** a été mis en décharge sans retournement. L'humidité a été ajustée à 60 % pour **A** (valeur optimale du compostage) et à 56 % pour l'essai **B**.

Les principales caractéristiques des essais **A**, **B** et **C** sont présentés dans le Tableau 2.

**Tableau 2.** Caractérisation physico-chimiques des 3 mélanges étudiés

Paramètres	A	B et C
pH	5,9 ± 0,05	5,25 ± 0,05
MS [%]	40 ± 1,5	44,3 ± 2,5
MO [mg·g <sup>-1</sup> ]	840 ± 0,3	866,4 ± 0,5
Lipides totaux [% MS]	15,09	16,48
C/N	30	32,5

### Analyses physico-chimiques

Les échantillons frais ont été prélevés de chaque point des andains (longueur, hauteur) par la méthode de quartage puis conservés à -20 °C jusqu'à leur analyse. Le pH et la conductivité ont été mesurés dans un extrait aqueux de la boue à la température ambiante (1 g/10 mL d'eau distillée). La teneur en humidité a été déterminée par séchage (100 g de compost à 105 °C pendant 48 h) [7]. Le Carbone Organique Total (COT) et la teneur des cendres ont été calculés après calcination dans le four à 600 °C pendant 6 h. L'Azote Total Kjeldahl (NTK) a été dosé à l'aide de procédure de Kjeldahl classique, par distillation à la vapeur selon la norme [8]. Les éléments traces métalliques ont été analysés par ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrophotometry). Le taux de décomposition a été calculé en utilisant la formule suivante [9] :

$$\text{Décomposition (\%)} = 100 - 100 \cdot [\text{Ash}_i \cdot (100 - \text{Ash}_f)] / [\text{Ash}_f \cdot (100 - \text{Ash}_i)] \quad (1)$$

où : Ash<sub>i</sub> est la teneur initiale des cendres et Ash<sub>f</sub> est la teneur finale.

### Extraction des lipides totaux

Les lipides totaux ont été extraits avec un mélange de méthanol / chloroforme (v/v : 1/2), jusqu'à un volume final de 20 fois le volume de l'échantillon (1 g dans 20 mL de mélange solvant), et calculés selon le procédé de Folch [10].

### Extraction et dosage des substances humiques

Les acides humiques ont été extraits d'un échantillon frais de 30 g. Il a été traité trois fois avec 40 mL d'eau distillée de façon à extraire les substances non-humiques solubles dans l'eau (sucres, protéines, etc.). Ensuite, les substances humiques ont été extraites avec 40 mL de NaOH (0,1 N). L'expérience a été répétée plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'un extrait incolore. Les acides humiques ont été séparés des acides fulviques après précipitation de la première fraction (acide humique) avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pour un pH d'environ 1 à 2 pendant 24 h à 4 °C. Les substances humiques et les deux fractions acides fulviques et humiques ont été déterminé par le procédé d'oxydation en utilisant le KMnO<sub>4</sub>.

### Test de phytotoxicité

L'indice de germination (IG) a été déterminé à partir des graines de luzerne et cresson. 20 graines de chaque espèce végétale ont été testées dans 5 mL d'extraits de compost hydrosolubles (10 g de l'échantillon frais dans 50 mL d'eau distillée) dans l'obscurité à température ambiante (25 °C) pendant 72 h [11].

Trois répétitions ont été faites. La phytotoxicité des composts déterminée par IG a été évalué comme étant le produit du pourcentage de graines viables. Le IG a été calculé en fonction du nombre de graines germées (24 h), et la croissance des racines (test 72 h), en utilisant l'équation suivante :

$$IG \% = [(NG_{ext} \cdot LR_{ext}) / (NG_{eau} \cdot LR_{eau})] \cdot 100 \quad (2)$$

où :

NG<sub>ext</sub>, NG<sub>eau</sub> = nombre de graines germées dans les extraits hydrosolubles et dans l'eau distillée, respectivement ;

LR<sub>ext</sub>, LR<sub>eau</sub> = la longueur des racines dans les extraits hydrosolubles et dans l'eau distillée, respectivement.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Caractérisation des substrats et des mélanges

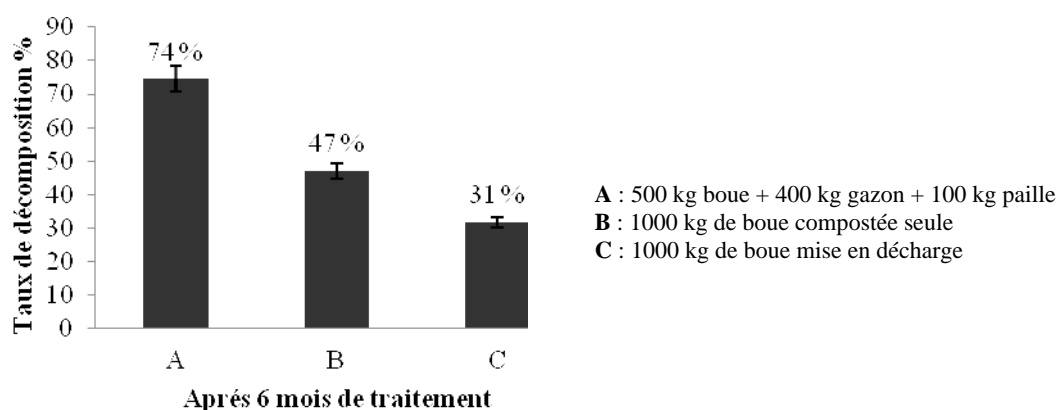
La boue étudiée est caractérisée par un pH acide de l'ordre de 5,25. Ce sont des boues riches en carbone organique (30,1 %), en lipides totaux (16,48 %) (Tableau 2) et moins riches en azote (0,925 %), ce qui donne un rapport C/N supérieur à 32 (Tableau 1). Zaïm *et al.* [6] ont montré que les boues huileuses déshydratées, contiennent 57 % d'eau, 35 % de matière organique et 8 % de matière minérale, alors que Abouelwafa *et al.* [12] ont rapporté que les boues huileuses contiennent 38 % de matière grasse.

L'activité métabolique des micro-organismes nécessite un rapport C/N adéquat, d'où le choix du déchet vert. L'enrichissement de ce dernier par l'azote 2,85 % favorise la décomposition de la matière organique, par ailleurs la paille a été utilisée pour assurer une bonne aération de l'andain de compostage.

L'essai **A**, est caractérisé par sa richesse en graisses (15,09 %) et en matière organique (840 mg·g<sup>-1</sup>) (Tableau 2). Cependant, les essais **B** et **C** sont caractérisés par des teneurs de l'ordre de 16,48 % et de 866,4 mg·g<sup>-1</sup> respectivement pour les graisses et la matière organique.

### Evolution de la matière organique

Les résultats de la décomposition de la matière organique (Figure 1) montrent les variations qui se produisent dans la boue mise en décharge, compostée seule et mélangée avec le gazon et la paille pendant 6 mois.

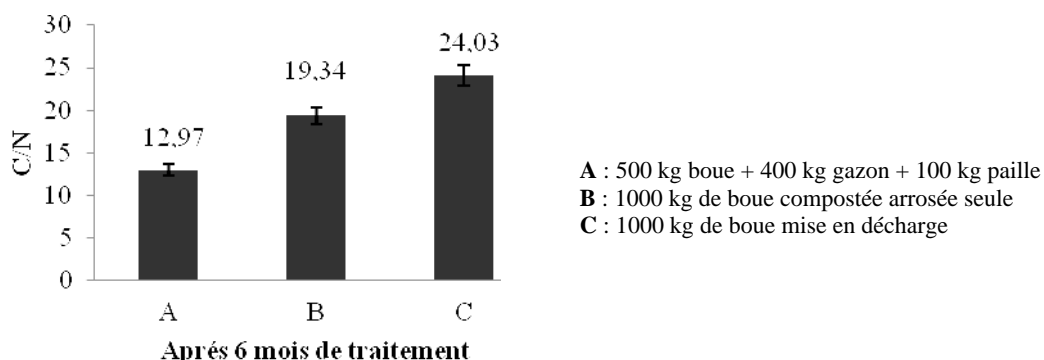


**Figure 1.** Evolution de la matière organique de boues compostées, et mise en décharge pendant 6 mois

Dans les conditions expérimentales choisis pour l'étude, l'essai **A**, a montré un taux de décomposition de l'ordre d'environ 74 %, indiquant un degré appréciable de biodégradation, résultat de l'oxydation microbienne de la matière organique. Le taux de décomposition de la matière organique pour les mélanges **B** et **C** était moins important, de l'ordre de 47 et 31 % respectivement. Ceci peut être expliqué par les conditions physico-chimiques du milieu non favorable pour l'activité des microorganismes à savoir : la non disponibilité des composés faciles à dégrader, la nature du substrat lipidique complexe qui exige un pool enzymatique spécifique. Francou *et al.* [13] ont montré que la matière lipidique récalcitrante peut influencer le degré de décomposition du substrat au cours du compostage. L'ensemble de ces résultats a montré que le mélange de la boue, les déchets vert et paille est un milieu adéquat pour un bon fonctionnement des microorganismes responsables de la dégradation de la matière lipidique récalcitrante.

## Rapport C/N

Le rapport C/N a diminué de 30 à 12,97 ; de 32,5 à 19,34, et de 32,5 à 24,03 respectivement, pour les essais **A**, **B** et **C** (Figure 2). Ceci est étroitement lié à la perte du carbone par oxydation biologique de la matière organique et la libération de CO<sub>2</sub> conduisant concomitamment à une augmentation de la proportion d'azote total du milieu.

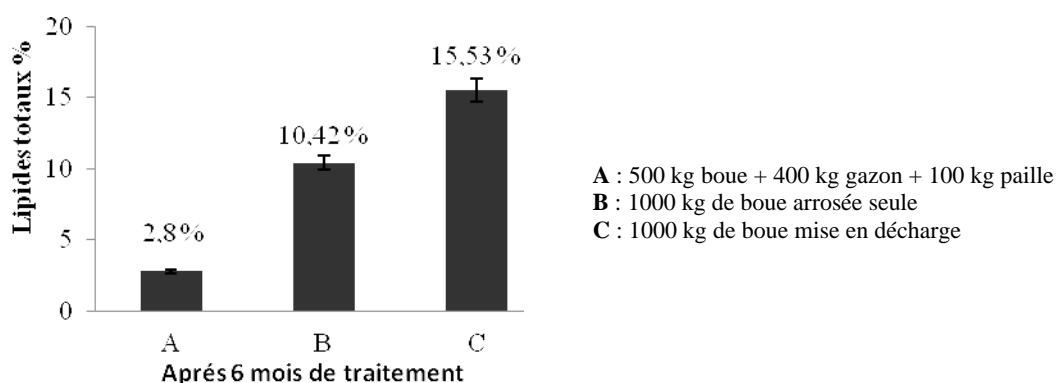


**Figure 2.** Evolution du rapport C/N de boues compostées, et mise en décharge pendant 6 mois

Le rapport C/N du mélange **A**, après 6 mois de compostage a atteint une valeur de 12, valeur de référence indiquant la maturité du compost [5, 14]. Selon Tumuhairwe *et al.* [15] un compost est considéré comme mûr s'il présente un rapport C/N entre 10 et 15. Les valeurs élevées du rapport C/N pour les mélanges **B** et **C** peuvent être attribuées à l'absence du substrat azoté, comme elles caractérisent un produit contenant une matière organique récalcitrante [16].

## Lipides totaux

Le taux des lipides pour les mélanges **A**, **B** et **C** est représenté sur la Figure 3.



**Figure 3.** Evolution des lipides totaux de boues compostées, et mise en décharge pendant 6 mois

Après 6 mois, les lipides totaux ont subi un abattement très significatif de l'ordre de 83 %, 37 % et 6 % respectivement pour les mélanges **A**, **B** et **C**. Cette importance diminution du taux des lipides totaux pour le mélange **A**, est en accord avec de nombreux travaux sur le compostage des déchets organiques [5, 17], L'abattement des lipides au cours du compostage peut être expliqué par l'oxydation microbienne des composés lipidiques. El Fels *et al.* [16] ont confirmé que les lipides affectent les propriétés physiques des substrats, en outre, Ait Baddi *et al.* [18] ont confirmé une nette augmentation de l'indice de germination coïncidant avec la diminution des lipides totaux.

Le faible taux de décomposition des lipides totaux, enregistré pour les mélanges **B** et **C** peut être expliqué par le caractère récalcitrant des lipides. Selon Francou *et al.* [13] la dégradation des lipides est très variable, la plupart sont rapidement dégradés pendant le compostage mais les plus complexes sont particulièrement récalcitrants. La complexité de leur structure qui peut les rendre résistants aux attaques enzymatiques, leur adsorption sur des composés minéraux ou encore leur liaison avec des substances humiques peuvent conférer aux lipides une certaine résistance à la biodégradation [16]. Les conditions physico-chimiques nécessaires pour l'activité enzymatique peuvent aussi influencer la biotransformation des composés récalcitrants [17].

### Substances humiques

Les réactions d'humification sont liées à la dégradation des glucides, des protéines, des acides aminés, des lipides, des lignines, des tanins, des pigments et en composés plus simples, Amir *et al.* [19] ont montré que l'activité microbienne conduit à la formation des composés aromatiques et aliphatiques, tels que des substances humiques. Les faibles teneurs en substances humiques enregistrées après 6 mois, de l'ordre de 15 et 28 g·kg<sup>-1</sup>, respectivement pour la boue mise en décharge (**C**), et compostée toute seule (**B**) (Tableau 3), sont liées aux conditions restreintes du milieu en termes de rapport C/N, pH, aération, humidité, éléments nutritifs..., ce qui ne favorise pas le déroulement des processus d'humification et de polymérisation de la matière organique. Selon Smårns *et al.* [20] une bonne oxygénation, par des retournements réguliers permet d'exposer de nouvelles surfaces à la biodégradation et de réduire ainsi les hétérogénéités de la matrice du compost.

**Tableau 3.** Processus d'humification du mélange **A**, **B** et **C** pendant 6 mois

Les essais	SH* [g·kg <sup>-1</sup> ]	AH** [g·kg <sup>-1</sup> ]	AF*** [g·kg <sup>-1</sup> ]
<b>A</b> = Mélange boue-paille-gazon	151,7	87	54,7
<b>B</b> = Boue arrosée seule	28	17,5	10,5
<b>C</b> = Boue mise en décharge	15,17	9,85	5,32

\*SH : Substances humiques ; \*\*AH : Acides humiques ; \*\*\*AF : Acides fulviques.

L'enrichissement du mélange **A** en substances humiques (151,7 g·kg<sup>-1</sup>), après 6 mois, est un indice d'une bonne dégradation et de polymérisation de la matière organique, les valeurs enregistrées sont proches de celles obtenues par El Fels *et al.* [5], Abouelwafa *et al.* [12], Tomati *et al.* [21] ce qui indique le bon déroulement du processus d'humification.



Dans ces conditions on peut envisager d'utiliser le mélange **A** (boue-paille-déchets vert) pour un épandage agricole, à condition de s'assurer de sa concentration en métaux lourds et de leur biodisponibilité.

### Teneurs des métaux lourds

Après 6 mois de compostage, la teneur totale des éléments traces métalliques (ETM) change. Ainsi, pour le mélange **A** (boue-paille-déchets verts) et la boue compostée toute seule (**B**), nous avons constaté une augmentation de cinq ETM, à savoir le Cd, le Cr, le Cu, le Ni et le Pb. Les différentes concentrations de ces ETM sont représentées dans le Tableau 4, par ailleurs, cette augmentation peut être expliquée par la diminution de la solubilité des oligo-éléments.

**Tableau 4.** La teneur totale des métaux (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) pendant le processus de compostage et de mise en décharge pour les essais **A**, **B** et **C**

Concentration [mg·kg <sup>-1</sup> ] Échantillons	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
<b>BF*</b>	17·10 <sup>-3</sup>	297·10 <sup>-3</sup>	185·10 <sup>-3</sup>	33·10 <sup>-3</sup>	203·10 <sup>-3</sup>
<b>A</b>	25·10 <sup>-3</sup>	589·10 <sup>-3</sup>	380·10 <sup>-3</sup>	64·10 <sup>-3</sup>	404·10 <sup>-3</sup>
<b>B</b>	27·10 <sup>-3</sup>	458·10 <sup>-3</sup>	299·10 <sup>-3</sup>	54·10 <sup>-3</sup>	321·10 <sup>-3</sup>
<b>C</b>	<1·10 <sup>-3</sup>	292·10 <sup>-3</sup>	91·10 <sup>-3</sup>	-	158·10 <sup>-3</sup>

BF : Boues fraîches

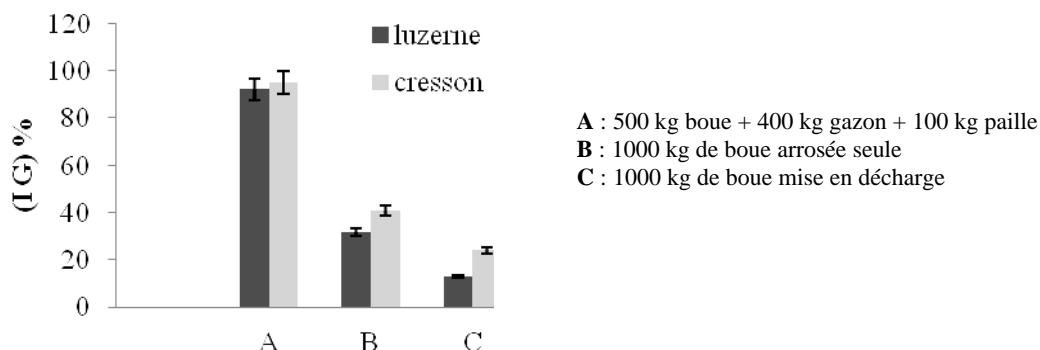
Les éléments trace métalliques (ETM) pour la boue mise en décharge (**C**) diminuent au cours du temps : le Cd passe de 17·10<sup>-3</sup> à 1·10<sup>-3</sup> mg·kg<sup>-1</sup>, le Cr de 297·10<sup>-3</sup> à 292·10<sup>-3</sup> mg·kg<sup>-1</sup>, le Cu de 185·10<sup>-3</sup> à 91·10<sup>-3</sup> mg·kg<sup>-1</sup> et le Pb de 203·10<sup>-3</sup> à 158·10<sup>-3</sup> mg·kg<sup>-1</sup> (Tableau 4). Cette diminution peut être le résultat de la lixiviation de ces métaux lourds. Comme cette diminution peut être liée à l'effet de la phase minérale, une analyse par diffraction RX, a montré que la boue mise en décharge est riche en carbonate, ce qui peut contribuer à la précipitation des ETM. Singh *et al.* [22] montrent que les ETM deviennent immobiles en présence de carbonate. Le changement des conditions physico-chimiques du milieu à savoir le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), et les teneurs en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> influence la solubilisation des ETM [23, 24].

Les concentrations totales du mélange A en métaux lourds (Zn, Cu, Pb, Ni, Cd), respectent les valeurs limites de référence dans la norme AFNOR NF U 44-041 de juillet 1985 [25] pour l'utilisation agricole des boues.

### Test de phytotoxicité

Les extraits hydrosolubles des mélanges **B** et **C** après six mois, ont montré respectivement, un très faible indice de germination (IG) entre 13 et 24 % pour la luzerne, et entre 32 et 41 % pour le cresson (Figure 4). Ceci peut être lié à l'effet inhibiteur des acides organiques, et la valeur de pH [26]. Les métaux lourds se sont révélés être des substances phytotoxiques [27]. La chaîne courte des acides, des phénols, ont aussi un puissant effet inhibiteur sur la germination des graines [28].





**Figure 4.** Evolution de l'indice de germination de boues compostées, et mise en décharge pendant 6 mois

Les taux de lipides sont susceptibles d'avoir un effet phytotoxique [29], les lipides affectent aussi les propriétés physiques, tel que confirmé par le travail de El Fels *et al* [5]. L'effet dépressif des boues étudiées sur la germination des graines dépend de la sensibilité de l'espèce végétale [30]. Les valeurs élevées de l'indice de germination qui dépassent 90 %, des boues compostées avec le gazon et la paille (mélange **A**) après 6 mois, peuvent généralement être expliqués par une grande réduction des substances phytotoxiques tels que les lipides [5, 14, 18]. La matière organique stable, et l'enrichissement du compost par les substances humiques et les nutriments peuvent aussi expliquer l'augmentation de l'indice de germination pour le mélange **A**.

## CONCLUSION

Le traitement des boues de la station d'épuration de la société de production des huiles de table, par le procédé de compostage et de stockage a permis d'obtenir des produits variables en terme de stabilité et de maturité.

Le mélange **A** de boue-paille-gazon est un mélange favorable à la décomposition de la matière organique. Après 6 mois de compostage le produit final est caractérisé par une teneur en substances humiques de  $151,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , un C/N de 12, un IG de plus de 90 %, un abattement de 83 % des lipides totaux, et des teneurs en métaux lourds qui ne dépassent pas les normes d'utilisation en agriculture. Par contre les mélanges **B** et **C** dont le rapport C/N est de 19 et 24 respectivement, avec un IG inférieur à 50 %, n'ont pas atteint une maturité acquise pour un épandage agricole.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Juste, C.: Valorisation agricole des boues issues du traitement des eaux urbaines, *La Tribune du CEBEDEAU*, **1979**, **432**, 461-467;
2. Barbier, R., Lupton, S.: Jeux et enjeux autour de la réglementation des épandages, une analyse socio- économique, in: *AGREDE : Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels*

- (*Dossiers de l'Environnement de l'INRA*) (Editeur: Tercé, M.), n° 25, Ed. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, **2003**, 139-148;
3. Nicourt, C., Girault, J.M.: Qualification de déchets des boues de stations d'épuration et réorganisation de la filière, dans deux départements marqués par le moteur urbain, in: *AGREDE : Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels (Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA)* (Editeur: Tercé, M.), n° 25, Ed. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, **2003**, 125-138;
  4. Bengtsson, M., Tillman, A.-M.: Actors and interpretations in an environmental controversy: the Swedish debate on sewage sludge use in agriculture, *Resources, Conservation and Recycling*, **2004**, 42 (1), 65-82;
  5. El Fels, L., Mohamed, Z., El Asli, A., Hafidi, M.: Assessment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-lignocellulosic waste by chemical, FTIR analyses, and phytotoxicity tests, *International Biodeterioration and Biodegradation*, **2014**, 87, 128-137;
  6. Zaïm, N., Souabi, S., Aboulhassan, A., Aboulam, S., Morvan, B.: Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec les déchets de jardin, *Déchets, Sciences et Techniques*, **2007**, (48), 20-25;
  7. \*\*\*AFNOR (Association Française de Normalisation): *Norme NF EN 13040 (Amendements du sol et support de culture - Préparation des échantillons pour les essais physiques et chimiques, détermination de la teneur en matière sèche, du taux d'humidité et de la masse volumique compactée en laboratoire)*, **2000**;
  8. \*\*\*AFNOR (Association Française de Normalisation): *Norme NF T90-110 (Essai des eaux : dosage de l'azote total Kjeldahl)*, **1975**;
  9. Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J., Roig, A., Novarro, A.F.: Nitrogen transformation during the composting of different organic wastes (Chapter 19), in: *Progress in Nitrogen Cycling Studies (Proceedings of the 8th Nitrogen Workshop held at the University of Ghent, 5-8 September, 1994)* (Editors: Van Cleemput, O., Hofman, G., Vermoesen, A.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, **1996**, 121-125;
  10. Folch, J., Lees, M., Stanley, G.H.S.: A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues, *Journal of Biological Chemistry*, **1957**, 226 (1), 497-509;
  11. Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., de Bertoldi, M.: Evaluating toxicity of immature compost, *BioCycle*, **1981**, 22, 54-57;
  12. Abouelwafa, R., Amir, S., Souabi, S., Winterton, P., Ndira, V., Revel, J.C., Hafidi, M.: The fulvic acid fraction as it changes in the mature phase of vegetable oilmill sludge and domestic waste composting, *Bioresource Technology*, **2008**, 99 (14), 6112-6118;
  13. Francou, C., Linères, M., Derenne, S., Le Villio-Poitrenaud, M., Houot, S.: Influence of green waste, biowaste and paper-cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting, *Bioresource Technology*, **2008**, 99 (18), 8926-8934;
  14. Jouraiphy, A., Amir, S., Winterton, P., El Gharous, M., Revel, J.C., Hafidi, M.: Structural study of the fulvic fraction during composting of activated sludge – plant matter: Elemental analysis, FTIR and <sup>13</sup>C NMR, *Bioresource Technology*, **2008**, 99 (5), 1066-1072;
  15. Tumuhairwe, J.B., Tenywa, J.S., Otabbong, E., Ledin, S.: Comparison of four low-technology composting methods for market crop wastes, *Waste Management*, **2009**, 29 (8), 2274-2281;
  16. El Fels, L., Lemee, L., Ambles, A., Hafidi, M.: Identification and biotransformation of lignin compounds during co-composting of sewage sludge-palm tree waste using pyrolysis-GC/MS, *International Biodeterioration and Biodegradation*, **2014**, 92, 26-35;
  17. Stevenson, F.J.: *Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York, **1994**, 350;
  18. Ait Baddi, G., Albuquerque, J.A., González, J., Cegarra, J., Hafidi, M.: Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting of olive mill wastes, *International Biodeterioration and Biodegradation*, **2004**, 54 (1), 39-44;
  19. Amir, S., Hafidi, M., Lemee, L., Bailly, J.-R., Merlina, G., Kaemmerer, M., Revel, J.-C., Ambles, A.: Structural characterization of fulvic acids, extracted from sewage sludge during composting, by thermochemolysis – gas chromatography – mass spectrometry, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **2006**, 77 (2), 149-158;
  20. Smårs, S., Beck-Friis, B., Jönsson, H., Kirchmann, H.: An advanced experimental composting reactor for systematic simulation studies, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **2001**, 78 (4), 415-422;

21. Tomati, U., Madejon, E., Galli, E.: Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability, *Compost Science and Utilization*, **2000**, 8 (2), 108-115;
22. Singh, K.P., Mohan, D., Sinha, S., Dalwani, R.: Impact assessment of treated / untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area, *Chemosphere*, **2004**, 55 (2), 227-255;
23. Amir, S., Hafidi, M., Merlina, G., Revel, J.C.: Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge, *Chemosphere*, **2005**, 59 (6), 801-810;
24. Amir, S., Hafidi, M., Merlina, G., Revel, J.C.: Structural characterization of fulvic acids during composting of sewage sludge, *Process Biochemistry*, **2005**, 40 (5), 1693-1700;
25. \*\*\*AFNOR (Association Française de Normalisation): *Norme NF U 44-041 (Matières fertilisantes – Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines – Dénominations et spécifications)*, **1985**;
26. Piotrowska, A., Iamarino, G., Rao, M.A., Gianfreda, L.: Short-term effects of olive mill waste water (OMW) on chemical and biochemical properties of a semiarid Mediterranean soil, *Soil Biology and Biochemistry*, **2006**, 38 (3), 600-610;
27. Nóvoa-Muñoz, J.C., Simal-Gándara, J., Fernández-Calviño, D., López-Periago, E., Arias-Estévez, M.: Changes in soil properties and in the growth of *Lolium multiflorum* in an acid soil amended with a solid waste from wineries, *Bioresource Technology*, **2008**, 99 (15), 6771-6779;
28. Hachicha, S., Cegarra, J., Sellami, F., Hachicha, R., Drira, N., Medhioub, K., Ammar, E.: Elimination of polyphenols toxicity from olive mill wastewater sludge by its co-composting with sesame bark, *Journal of Hazardous Materials*, **2009**, 161 (2-3), 1131-1139;
29. Boopathy, R., Melancon, E.: Metabolism of compounds with nitro-functions by *Klebsiella pneumoniae* isolated from a regional wetland, *International Biodeterioration and Biodegradation*, **2004**, 54 (4), 269-275;
30. Ribeiro, H.M., Romero, A.M., Pereira, H., Borges, P., Cabral, F., Vasconcelos, E.: Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production, *Bioresource Technology*, **2007**, 98 (17), 3294-3297.