



**HAL**  
open science

## Valorisation des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière par compostage aérobie

B. Bihaoui, M. Rihani, M. Mountadar, D. Malamis, M. Loizidou, O. Assobhei

► **To cite this version:**

B. Bihaoui, M. Rihani, M. Mountadar, D. Malamis, M. Loizidou, et al.. Valorisation des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière par compostage aérobie. Environnement, Ingénierie & Développement, 2010, N°58 - Avril 2010, pp.16-21. 10.4267/dechets-sciences-techniques.3007. hal-03172943

**HAL Id: hal-03172943**

**<https://hal.science/hal-03172943>**

Submitted on 18 Mar 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# Valorisation des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière par compostage aérobie

Bihaoui, B. <sup>(1)</sup> ; Rihani, M. <sup>(1)</sup> ; Mountadar, M. (2) ;  
Malamis, D. <sup>(3)</sup> ; Loizidou, M. <sup>(3)</sup> ; Assobhei, O. <sup>(1)</sup>

1. Laboratoire BIOMARE, Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, El Jadida, Maroc
2. Unité CAGE, Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, El Jadida, Maroc
3. UEST, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Greece

Correspondance : Pr RIHANI Mohammed, Laboratoire BIOMARE,  
Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, BP : 20, 24000, El Jadida, Maroc - E.mail : rihani\_mohammed@yahoo.fr

## Résumé

Les boues générées par les stations d'épuration des eaux usées des industries agroalimentaires constituent une source importante de matière organique et d'éléments fertilisants. L'épandage direct peut présenter des risques pour l'environnement. Le présent travail concerne le recyclage des boues secondaires d'une unité industrielle laitière par un traitement de compostage aérobie dans un bioréacteur en mélange avec des sous-produits agricoles (paille, feuilles et collets de betterave à sucre). L'évolution de la température témoigne du bon déroulement du compostage qui aboutit au bout de quatre semaines à :

- *i.* une inactivation des germes pathogènes testés (coliformes fécaux et streptocoques fécaux) et une réduction de plus de 99 % des œufs d'helminthes ;
- *ii.* une minéralisation importante de la matière organique qui permet une réduction de 75 % du C organique total et un rapport C/N au niveau du compost final de l'ordre de 8 ;
- *iii.* des teneurs élevées en macroéléments  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CaO, MgO,  $Na_2O$  respectivement de l'ordre de 3 ; 1,6 ; 6,8 ; 3 et 4 en % MS ;
- *iv.* de faibles teneurs en éléments traces métalliques maintenues dans les limites des normes préconisées pour une utilisation en agriculture.

**Mots-clés :** bioréacteur, boues secondaires, compostage, industrie agroalimentaire, valorisation.

## Introduction

Au Maroc, les industries agroalimentaires rejettent près de 41 Mm<sup>3</sup>/an d'eaux usées. Le recours au traitement de ces eaux usées est d'une grande nécessité compte tenu de la raréfaction des ressources hydriques du pays. Les boues générées par les stations d'épuration des eaux usées agro-industrielles sont riches en matières organiques biodégradables et en éléments fertilisants potentiellement valorisables sous forme de compost à condition de s'assurer qu'elles ne renferment pas de micropolluants organiques et métalliques (De Bertoldi *et al.*, 1983 ; Aubain *et al.*, 2002). Le compostage peut permettre une réintégration des éléments minéraux et organiques dans les sols, et particulièrement les sols méditerranéens pauvres en matière organique (Lahmar et Ruellan, 2007).

Plusieurs pays européens (Allemagne, Autriche, Danemark, Suède...) ont affiché des politiques favorables à l'épandage des boues agro-industrielles pour limiter les autres voies (incinération, mise en décharge ou rejet en mer). Le recyclage agricole est considéré comme la voie optimale dans la mesure où les boues sont peu ou pas contaminées. Par contre, la Suisse a interdit l'épandage agricole au profit de l'incinération qui sera le seul mode d'élimination des boues urbaines. Cette interdiction vaut également pour les composts contenant des boues. Selon la réglementation française, les boues urbaines sont considérées comme des produits valorisables et ne peuvent donc pas être mises en décharge en l'état.

Les réglementations environnementales marocaines interdisent le rejet des effluents liquides urbains et industriels dans le milieu naturel environnant sans traitement préalable (loi n° 10-95, loi n° 28-00). Face à cette situation, les différents travaux de recherche menés dans notre laboratoire sur le traitement des effluents industriels (Hamdani *et al.*, 2001 ; Hamdani *et al.*, 2004) ont montré le potentiel des techniques combinées de coagulation-décantation et de dénitrification biologique dans la réduction de la charge polluante des rejets industriels laitiers, permettant ainsi le rejet de ces eaux usées dans le milieu récepteur, en respectant la législation nationale en vigueur. Cependant, le traitement des rejets de l'industrie laitière au Maroc génère alors des quantités importantes de déchets solides, estimées à près de 8000 T/an (Etahiri et Amine, 2006) et qui sont dans la plupart des cas mis en décharge sans traitement préalable (REEM, 2001).

De nombreux travaux ont montré l'importance du processus de compostage aérobie dans la valorisation et le recyclage des boues des industries agro-alimentaires et des déchets organiques biodégradables pour des applications agronomiques (Jouraiphy *et al.*, 2005 ; Hafidi *et al.*, 2008 ; Abouelwafa *et al.*, 2008 ; Chroni *et al.*, 2009 ). La plupart des travaux réalisés dans ce domaine ont concerné la méthode de compostage en andain. Dans ce cas, on obtient un produit mature de qualité agronomique au bout après 6 mois.

Dans le présent travail, nous avons étudié un procédé de co-compostage aérobie des boues secondaires générées par le traitement des eaux usées d'une unité laitière de la région d'El Jadida (Maroc) en mélange avec des résidus agricoles produits dans cette région et qui seraient ainsi valorisés (Assobhei *et al.*, 2006).

## 2- Matériels et méthodes

### 2-1- Origine des boues et des additifs

Les boues utilisées dans cet essai de compostage proviennent d'une unité laitière dans la zone industrielle de la ville d'El Jadida (Maroc). La principale activité de cette unité est la production de lait en poudre, de café et de chocolat instantanés, d'aliments pour enfants, de céréales et de glaces. La station d'épuration située au sein de l'unité permet de traiter par la technique des boues activées 12 000 l/h d'eaux usées sanitaires et de procédés. La quantité de boues générées par cette station est estimée à environ 67 T/an. Les additifs utilisés dans le co-compostage des boues sont des résidus agricoles : paille, feuilles et collets de la betterave à sucre.

Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques initiales des boues et des additifs ont été déterminées avant le début du compostage.

### 2-2- Procédé de compostage

Le compostage a été réalisé dans un bioréacteur cylindrique horizontal d'un volume total de 4 m<sup>3</sup> avec une capacité de remplissage initial de 75 %. Le bioréacteur est doté d'un système de contrôle des débits d'air (aération), d'eau (humidité) et du cycle de retournement du compost.

Durant toute la période du compostage dans le bioréacteur, l'aération et le retournement ont été programmés alternativement avec une fréquence de 4 fois par jour (toutes les 6 heures) pendant 5 minutes à chaque fois. Quant à l'humidité, elle a été ajustée manuellement selon le besoin pour maintenir une humidité du substrat comprise entre 40 et 50 %.

Dans cet essai, les boues et les additifs ont été mélangés selon les proportions présentées dans le Tableau 1 afin de respecter un rapport C/N inférieur à 30 et une humidité du substrat inférieure à 50 %.

Matière	Quantité
Boues secondaires	1 875 kg
Feuilles et collets de betterave	750 kg
Paille	187 kg
Terre	187 kg
Eau	200 l

Tableau 1 : Contenu initial du bioréacteur

### 2-3- Suivi du compostage

La température et l'oxygène dissous ont été mesurés quotidiennement à l'aide d'un thermomètre digital (Data Loggers Model 100 2K) et d'un oxymètre portable (modèle  $\sqrt{\infty}2$ ). Le taux d'humidité a été déterminé sur un échantillon journalier de 1 kg selon la norme NFU 44-171. Parallèlement, un échantillon hebdomadaire de 1 kg a été séché et broyé à 1 mm pour déterminer le pH (sur un extrait à l'eau 1/5), la matière organique totale (par calcination à 500 °C pendant 6 h) et l'azote total (NF ISO 11261). Le carbone organique total a été calculé par la

méthode de Walkly et Black (1935). Les teneurs en macroéléments et en éléments trace métalliques ont été évaluées le premier et le dernier jour du processus de compostage par spectroscopie d'absorption atomique (Perkin Elmer 2380 AAS – EM) sur un échantillon prélevé, séché et broyé à moins de 0,2 mm. Les suivis de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) et des indicateurs de la contamination fécale (coliformes fécaux, streptocoques fécaux et œufs d'helminthes) ont été réalisés sur les boues initiales et sur le compost final selon les techniques décrites par Hamdani *et al.*, 2004 et Lamghari Moubarrad et Assobhei, 2005.

## 3- Résultats et discussion

### 3-1- Composition initiale des boues et des additifs

Les caractéristiques physico-chimiques ainsi que la composition chimique initiale des boues et des additifs utilisés pour le compostage sont présentés sur le tableau 2.

Les boues utilisées dans cet essai constituent un substrat fermentescible difficile à composte. Elles sont légèrement acides et sont caractérisées par un faible rapport C/N (Tableau 2). L'apport de structurants carbonés facilement biodégradables comme starters du processus (les collets de betterave à sucre et la paille), semble nécessaire dans cet essai dans le but de rééquilibrer le rapport C/N, d'augmenter la porosité et de fixer l'humidité pour permettre une bonne circulation de l'oxygène au cours du compostage (Mustin, 1987).

A cause de leur origine agro-industrielle, les boues utilisées dans cet essai sont également caractérisées par une forte charge microbienne d'origine fécale ainsi qu'une forte teneur en éléments traces métalliques et particulièrement le Zn, Cu, Pb et Cr (Tableau 3).

	Boue initiale	Compost
Flore mésophile aérobie totale (Log <sub>10</sub> /g MS)	12	10
Coliformes fécaux (Log <sub>10</sub> /g MS)	1,03	0
Streptocoques fécaux (Log <sub>10</sub> /g MS)	0,87	0
Œufs d'Helminthes (Nombre/g MS)	69	<1

Tableau 2 : Caractéristiques microbiologiques des boues initiales et du compost

Paramètres	Boues secondaires	Sol argileux	Collets de betterave	Paille
Matière sèche (%)	21,45	86,84	53,74	90,27
pH	5,7	8,3	7,2	7,1
C/N	8,07	1,02	17,08	62,85
Macro-éléments (% MS)				
C total	46,32	0,57	58,60	59,08
N total	5,74	0,56	3,43	0,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,68	0,33	0,24	0,17
K <sub>2</sub> O	0,46	0,89	3,46	1,98
CaO	4,13	21,94	3,44	1,11
MgO	0,82	2,21	1,58	0,56
Micro-éléments (mg/Kg MS)				
Al	1164,68	29196,41	-	-
Fe	1225	9975	-	-
Cd	0,48	-	0,15	0,13
Cr	12,93	-	0,57	0,60
Cu	98,39	-	12,25	6,63
Ni	9,77	-	0,93	1,00
Pb	21,92	-	0,31	0,32
Zn	593,72	-	31,93	23,90

**Tableau 3: Caractéristiques des boues et des additifs**

### 3-2- Evolution des paramètres physico-chimiques au cours du compostage

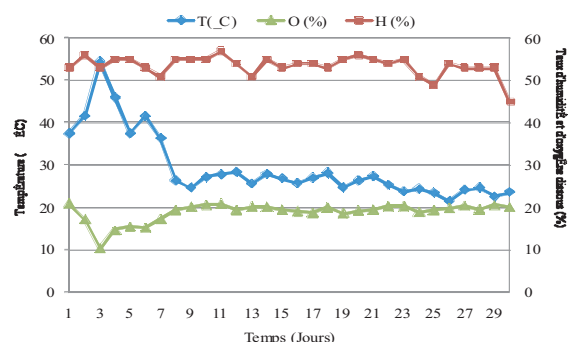
Après 1 mois de séjour dans le bioréacteur, la quantité de compost obtenue a été évaluée à environ 400 kg, ce qui représente un rendement de 50 %. Le taux de décomposition élevé de la matière organique obtenu dans ces conditions témoigne de la forte activité microbienne opérant pour la maturation du compost obtenu dans le bioréacteur.

Le suivi de la température au cours du processus de compostage en bioréacteur est représenté sur la figure 1.

Les résultats enregistrés révèlent une allure de la courbe de température typique de celle des composts des déchets organiques (Ait Baddi *et al.*, 2004). Après une phase mésophile de courte durée (2 jours), la température du compost augmente rapidement pour atteindre un maximum de 56 °C au bout du troisième jour. A la suite de cette phase thermophile, la température baisse rapidement puis lentement pour atteindre le niveau ambiant et rester stable à partir du dixième jour aux alentours de 30 °C (deuxième phase mésophile ou phase de refroidissement) correspondant ainsi à la phase de maturation du compost.

Ces résultats suggèrent que l'élévation de la température au début du compostage des boues est liée aux réactions exothermiques dues à l'utilisation de la matière organique facilement biodégradable par les microorganismes ce qui

entraîne un changement des caractéristiques physico-chimiques du compost (Dumontet *et al.*, 1999). De même, il a été enregistré une forte consommation d'oxygène dissous pendant cette phase thermophile témoignant aussi d'une forte activité microbienne dans le bioréacteur. Le niveau maximum de température atteint dans cet essai correspond aux niveaux enregistrés pour la plupart des composts bien aérés comme suggéré par Khalil *et al.* (2001). Cependant, le court délai au bout duquel la deuxième phase mésophile est atteinte (10 jours) représente un résultat innovant dans les processus de compostage aérobie en bioréacteurs, permettant ainsi de réduire considérablement la phase de maturation du compost comme en témoigne les autres paramètres abiotiques et biotiques étudiés.


**Figure 1: Évolution de la température, de l'humidité et du taux d'oxygène au cours du compostage**

L'évolution du pH (Figure 2) montre une augmentation de ce paramètre rapidement au cours des premiers jours de compostage pour atteindre une valeur voisine de 9 qui correspond à la phase thermophile du processus, puis baisse progressivement jusqu'à 7,3 pendant la phase mésophile. L'augmentation du pH au cours du compostage peut être expliquée par l'alcalinisation du milieu suite à l'hydrolyse bactérienne de l'azote protéique et organique avec production d'ammoniac (Niklasch et Joergensen, 2001). Le rapport C/N qui représente l'un des paramètres les plus étudiés pour apprécier la maturité du compost, a évolué de manière significative au cours du compostage. Au cours de la phase thermophile, la biodégradation de la matière organique augmente rapidement et se poursuit plus lentement pendant la phase de maturation. Il en résulte une diminution progressive de C/N du mélange initial pour se stabiliser au voisinage de 6,2 au niveau du compost mature (Figure 2). Ceci peut être attribué d'une part à la richesse de ce type de boues en azote (5,74 % MS) et d'autre part à la minéralisation poussée du carbone organique du mélange (25,68 % MS). Ce rapport C/N inférieur à 12 témoigne de la bonne qualité du compost final obtenu comme suggéré par Brinton (2000) et Li *et al.* (2001). Par ailleurs, cette minéralisation augmente la concentration en sel ce qui explique la valeur élevée de la conductivité électrique enregistrée pour ce compost.

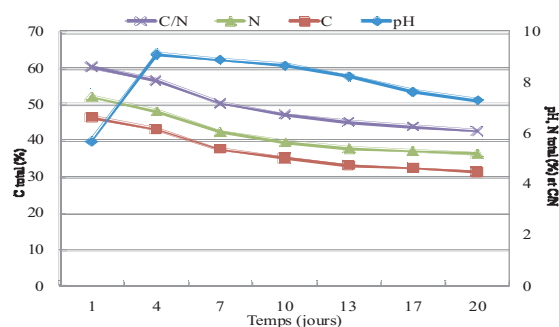


Figure 2 : Evolution du pH, N total, C total et C/N au cours du compostage

A maturité, le compost obtenu semble également caractérisé par une bonne composition en macroéléments fertilisants du sol comme le  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  et  $Na_2O$  (Tableau 4), ce qui est en faveur d'une possibilité d'utilisation de ce type de compost en agriculture pour corriger des carences du sol en ces éléments.

A l'exception de Al et de Fe originaires du sol argileux utilisé comme additif dans le bioréacteur, les teneurs en ETM, dans le compost final obtenu, semblent être dans les normes par rapport aux valeurs limites d'ETM dans les composts destinés à usage agricole (Tableau 4) ce qui témoigne du rôle de ce processus de compostage aérobie, et du rôle particulier de l'argile dans la réduction, voire l'élimination des fortes charges polluantes de ces micro-éléments contenus dans les boues (Smith, 2009).

Paramètres	Compost final
pH	7,32
CE (ms/cm)	2,73
Matière sèche en %	52,28
C organique (% MS)	25,68
C/N	7,63
Macro-éléments (% MS)	
N	3,36
$P_2O_5$	3,00
$K_2O$	1,63
$CaO$	6,79
$MgO$	3,01
$Na_2O$	4,06
Cl	2,57
S	0,76

Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques du compost final

Les résultats des analyses microbiologiques et parasitologiques réalisées sur les boues initiales et le compost final montrent une évolution différente des microorganismes étudiés (Tableau 5). Les valeurs moyennes de la flore mésophile aérobie totale ne semblent pas être trop influencées par le compostage et oscillent entre  $2,3 \times 10^{12}$

et  $1,5 \times 10^{10}$  germes/g MS. Cependant, ces changements ne reflètent pas les variations de la structure de la communauté microbienne durant le compostage, où la densité de la FMAT augmente rapidement au début du processus lorsque la température est inférieure à  $45^\circ C$  comme rapporté par de nombreux auteurs (Chroni *et al.*, 2009 ; Abouelwafa *et al.*, 2008). Cette activité intense des microorganismes engendre une importante libération de chaleur permettant ainsi la disparition des mésophiles et l'installation des thermophiles. Par la suite, la quantité de substrat devient un facteur limitant et la baisse de l'activité microbienne qui en résulte fait chuter la température et permet aux mésophiles de réapparaître à la phase de maturation (Iannotti *et al.*, 1993).

L'évolution des indicateurs de la contamination fécale (coliformes fécaux, streptocoques fécaux et œufs d'helminthes) a montré une réduction importante du nombre d'œufs d'helminthes au niveau du compost final par rapport aux boues initiales ainsi qu'une disparition totale des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux (Tableau 5). L'élévation de la température joue un rôle important dans l'inactivation totale des pathogènes enregistrée au bout d'un mois de compostage en bioréacteur permettant ainsi l'hygiénisation des boues générés par les industries agroalimentaires (Chroni *et al.*, 2009).

Éléments Traces Métalliques (%)	Compost	Valeurs limites (%)
Al	0,94	0,5 - 0,7
Fe	0,57	0,01 - 0,02
Ti	0,10	-
Mn	0,03	0,002 - 0,2
Zn	0,06	0,004 - 0,08
Ba	0,20	0,4 - 0,7
Sr	0,02	0,01 - 0,02
Cu	0,01	0,001 - 0,002
Zr	ND	0 - 0,01
Cr	-	-

Tableau 5 : Teneurs en éléments traces métalliques du compost

## 4- Conclusion

Le procédé de compostage innovant utilisé dans cette étude a permis la valorisation des boues secondaires de la station d'épuration des eaux usées d'une industrie agroalimentaire (laiterie), dont les rejets sont considérés comme très polluants à cause de leurs fortes charges en matières fermentescibles. Dans les conditions optimales et contrôlées d'aération, d'humidité et d'agitation, le produit obtenu après seulement 1 mois de compostage aérobie dans le bioréacteur peut être considéré comme étant un compost mature à cause de son pH neutre et de son rapport

C/N inférieur à 12. Le procédé de compostage utilisé dans cette étude a permis également une hygiénisation des boues rejetées (élimination totale des germes de contamination fécale et des œufs d'helminthes) ainsi qu'une réduction des fortes charges en éléments traces métalliques permettant de passer sous les seuils limites préconisés par les directives de l'Union européenne pour les composts destinés à des fins agricoles. Avec des teneurs élevées en matière organique et en éléments fertilisants (NPK), le compost obtenu peut potentiellement être utilisé comme amendement organique et minéral pour des sols appauvris à cause de l'intensification des cultures.

Avec un bon rendement et un gain de temps considérable par rapport aux techniques classiques de compostage, le procédé utilisé dans cette étude peut être adopté dans une filière de traitement intégré des rejets liquides et des déchets solides générés par les industries agroalimentaires ainsi que des divers déchets agricoles, apportant une valeur ajoutée supplémentaire sans risques d'impacts négatifs ni sur l'environnement, ni sur la santé humaine.

En l'absence de normes marocaines spécifiques au domaine de l'utilisation de composts de diverses origines, les résultats obtenus par cette étude peuvent être en mesure de constituer une base de données pouvant aider les autorités compétentes à développer des standards à l'instar des pays industrialisés où les standards d'utilisation du compost sont variables d'un pays à l'autre et, au sein d'un même pays, selon l'utilisation du compost.

## Remerciements

La présente étude est réalisée dans le cadre du projet MOROCOMP cofinancé par le programme Life-Pays tiers de l'Union européenne sur la conception et la mise en place d'une unité de compostage innovante pour le traitement des boues et de tout autre déchet organique biodégradable au Maroc (LIFE 05 TCY/MA/000141).

## 5- Références

Abouelwafa, R., Ait Baddi, G., Souabi, S., Winterton P., Ceggara, J. et Hafidi, M. – 2008. Aerobic biodegradation of sludge from the effluent of a vegetable oil processing plant mixed with household waste : Physical-chemical, microbiological, and spectroscopic analysis. *Biores. Technol.*, 99, 8571–8577.

Ait Baddi, G., Albuquerque, J.A., Gonzalez, J., Cegarra, J. et Hafidi, M. – 2004. Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting of olive mill wastes. *Internat. Biodet. Biodeg.*, 54, 39–44.

Assobhei, O., Mountadar, M., Ajjane, A., Amine, J., Chedad, K., Etahiri, S., Kabil, E.M., Rafrafi, M., Rihani, M. et Semlali, L.A. – 2006. Production et gestion des boues des stations

d'épuration des eaux usées et des déchets organiques biodégradables au Maroc. Deliverable I du Projet MOROCOMP (LIFE 05 TCY/MA/000141) <http://www.uest.gr/morocomp>

Aubain, P., Gazzo, A., Moux, J.L., Mugnier, E., Brunet, H., Landrea, B. - 2002. Disposal and recycling routes for sewage sludge. European Commission DG Environment (E B/2).

Brinton, W.F. - 2000. Compost quality standards and guidelines : An International View, Woods End Research Laboratory

Chroni, C., Kyriacou, A., Manio, T. et Lasaridi, K-E. – 2009. Investigation of the microbial community structure and activity as indicators of compost stability and composting process evolution. *Biores. Technol.*, 100, 3745–3750.

De Bertoldi M., Vallini G. et Pera A. - 1983. The biology of composting: a review. *Waste. Manag. Res.* 1, 157-176.

Dumontet, S., Dinel, H. et Baloda, S.B. – 1999. Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatment : a review. *Biol. Agric. Hortic.*, 16, 409-430.

Etahiri, S. et Amine, J. – 2006. Production des déchets organiques biodégradables par l'industrie agroalimentaire au Maroc. Annexe 3 du Deliverable I du Projet MOROCOMP (LIFE 05 TCY/MA/000141) <http://www.uest.gr/morocomp>

Hafidi, M., Amir, S., Jouraiphy, A., Winterton, P., El Gharous, M., Merlina, G., et Revel, J.-C. – 2008. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbons during composting of activated sewage sludge with green waste. *Biores. Technol.*, 99, 8819-8823.

Hamdani, A., Assobhei, O. et Mountadar, M. – 2001. Caractérisation et essais de dénitrification biologique d'un effluent de laiterie située dans la ville d'El Jadida (Maroc). *Eau Ind. Nuisances*, 242, 50–54.

Hamdani, A., Chennaoui, M., Assobhei, O. et Mountadar, M. – 2004. Caractérisation et traitement par coagulation – décantation d'un effluent de laiterie. *Lait*, 84, 317–328.

Iannotti, D.A., Pang, T. et Thot, B.T. – 1993. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Sci. Util.*, 1, 52-65.

Jouraiphy, A., Amir, S., El Gharous, M., Revel, J.-C. et Hafidi, M. – 2005. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *Internat. Biodet. Biodeg.*, 56, 101–108.

Khalil, A.I., Beheary, M.S. et Salem, E.M. – 2001. Monitoring

of microbial populations and their cellulolytic activities during the composting of municipal solid wastes. *World J. Microbiol. Biotech.*, 17, 155–161.

Lahmar, R. et Ruellan, A. – 2007. Dégradation des sols et stratégies coopératives en Méditerranée : la pression sur les ressources naturelles et les stratégies de développement durable. *Cahiers Agricultures*. 16 (4), 318-23.

Lamghari Moubarrad, F.Z. et Assobhei, O. - 2005. Impact of urban effluents on intestinal helminth infections in the wastewater discharge zone of the city of El Jadida, Morocco. *Manag. Environ. Quality*, 16 (1), 6-16.

Li, G., Zhang, F., Wong, J.W.C. et Fang, M. - 2001. Chemical evaluation of sewage sludge composting as a mature indicator for composting process. *Water, Air, and Soil Pollution*, 132, 333–345.

Mustin, M. – 1987. Le compost, gestion de la matière organique. Edition François Dubusc, Paris, 954 p.

Niklasch, H. et Joergensen, R.G. – 2001. Decomposition of peat, biogenic municipal waste compost, and shrub/grass compost added in different rates to a silt loam. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164, 365–369.

REEM – 2001. Rapport sur l'état de l'environnement au Maroc réalisée par L'ONEM (Observatoire National de l'Environnement au Maroc).

Smith, S.R. - 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environ. Internat.*, 35, 142–156

Walkley, A., and Black, I. A. – 1935. 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.