



Phytotoxicité de composts obtenus par compostage accéléré sur des plantes cultivées dans la région des Doukkala, Maroc

Phytotoxicity of composts obtained by accelerated composting on crops cultivated in Doukkala region, Morocco

E. M. Kabil, L. A. Semlali, A. Ajjane, O. Assobhei

Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, BP20, 24000, El-Jadida, Maroc.

Received 15 Nov 2016, Revised 26 Dec 2016, Accepted 27 Dec 2016

**For correspondence: Email: kabil.elmostafa@gmail.com*

Abstract

In this work, an innovative accelerated composting system using bioreactor was designed to develop four composts derived from sewage sludge and agricultural by-products (straw, collars and sugar beet leaves). Phytotoxicity of leachates derived from L2, L3, L4 and L5 composts was evaluated using six crops cultivated in the Doukkala region (alfalfa, bersim, cress, wheat, corn and tomato). Our results showed that the six studied species were not equally affected by the phytotoxicity of tested leachates. The impact on germination and root growth relied on both the compost used and the crop species. The germination rate showed no significant differences in alfalfa and bersim for four leachates while a more pronounced phytotoxic effect was observed in corn and tomato. Unlike immature composts L2 and L4, the results showed that composts L3 and L5 were stable and did not exhibit any phytotoxic effect and even a stimulatory effect of germination and root growth was observed. This was demonstrated under greenhouse conditions where the effect of compost 3 on the rate of emergence and growth in cress, wheat and sugar beet was studied. The results showed that the compost has no significant depressive effect on the emergence when compared to the control. Furthermore, the addition of compost at different doses (5, 10 and 20 t / ha) stimulates the growth of common wheat and sugar beet. However, in cress stimulation of growth occurred at lower concentrations. Ultimately, a moderate intake of compost at 5 t / ha seems to be adequate for the three crops.

Keywords: Bioreactor, accelerated composting, sludge, agricultural by-products, phytotoxicity.

Résumé

Dans ce travail, un système innovant de compostage accéléré par bioréacteur a été conçu pour l'élaboration de quatre composts (L2, L3, L4 et L5) issus de boues d'épuration associées à des sous-produits agricoles (paille, collets et feuilles de betterave à sucre). La phytotoxicité des lixiviats à base des composts L2, L3, L4 et L5 a été évaluée en utilisant six espèces végétales cultivées de la région des Doukkala (luzerne, bersim, cresson, blé, maïs et tomate). Les résultats obtenus ont montré que les semences des espèces étudiées ne sont pas affectées de la même manière par la phytotoxicité des lixiviats. L'impact sur la germination et la croissance des racines dépend à la fois du compost utilisé et de l'espèce cultivée. Le taux de germination n'a pas montré de différences significatives chez la luzerne et le bersim pour les quatre lixiviats alors que l'effet toxique a été plus prononcé chez le maïs et la tomate. Contrairement aux composts immatures L2 et L4, les résultats ont montré que les composts L3 et L5 sont bien stabilisés avec un effet stimulateur de la germination et de la croissance racinaire. Ceci a été démontré par l'étude sous serre de l'effet du compost 3 sur la variation du taux d'émergence et de la croissance en hauteur chez le cresson, le blé tendre et la betterave à sucre. Les résultats ont montré que ce compost n'a aucun effet dépressif significatif sur l'émergence par rapport au témoin. Par ailleurs, l'ajout du compost à différentes doses (5, 10 et 20 T/ha) a stimulé la croissance en hauteur du blé tendre et de la betterave à sucre mais dévoile, chez le cresson, un accroissement inversement proportionnel aux quantités de compost ajoutées. En définitive, un apport modéré de compost à hauteur de 5 T/ha semble être adéquat pour les trois espèces cultivées.

Mots clés : bioréacteur, compostage accéléré, boues, sous-produits agricoles, phytotoxicité.

1. Introduction

Dans les périmètres irrigués du Maroc, pays sous climat semi-aride à aride, les conditions d'humidité et de température favorisent la minéralisation accentuée des matières organiques dans les sols. Le développement d'élevage, l'exportation des résidus de cultures hors parcelles et la faible utilisation du fumier contribuent également à la dégradation des sols [1]. Pour faire face à cette problématique, l'amélioration durable des caractéristiques de ces sols s'avère nécessaire et passera avant tout par l'amélioration des pratiques de fertilisation par des stimulants biologiques à faible coût tout en assurant la pérennité du système de production [2]. L'utilisation d'amendements organiques capables de restituer aux sols leurs résidus organiques à moyen et à long terme, tels que les composts, pourraient répondre à cette problématique et contribuer, non seulement, à pallier à ce problème mais aussi à résoudre durablement les graves problèmes environnementaux que posent les déchets organiques et les boues générés par les stations de traitement des eaux usées.

Le compostage peut être défini comme la décomposition microbienne aérobie de la matière organique dans des conditions contrôlées qui permettent le développement de températures thermophiles à la suite de la chaleur dégagée dans les réactions biochimiques, ce qui conduit à un produit final stabilisé et aseptisé [3]. La maturité et le degré de stabilité d'un compost sont les caractéristiques les plus importantes à considérer pour tester sa qualité. En effet, l'apport d'un compost immature dans un sol engendre des effets négatifs sur la germination, la croissance et le développement des plantes en relation avec la présence excessive de composés toxiques et nuisibles (excès d'ammoniac et d'acides organiques, pathogènes, métaux lourds, excès de salinité...) [4,5]. Dans cette perspective, les tests de phytotoxicité restent le meilleur moyen d'évaluation de la toxicité des composts. Ils correspondent essentiellement aux tests de germination et de développement racinaire et aux essais de l'émergence et de la croissance des plantes [6-8].

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets par compostage accéléré et vise à enrichir les connaissances sur les bénéfices des composts sur la croissance des plantes et l'amélioration de la qualité des sols au Maroc. Plus précisément, ce travail se propose de répondre aux objectifs suivants : (i) caractériser sur les plans physicochimiques et microbiologiques quatre composts élaborés à partir de boues d'épuration et de sous-produits agricoles par processus accéléré en utilisant un bioréacteur conçu à la Faculté des Sciences El Jadida ; (ii) déterminer dans une salle de culture l'impact des lixiviats de composts sur la germination et la croissance racinaire de six espèces végétales cultivées dans la région des Doukkala ; (iii) Evaluer l'effet sous serre de différentes doses de l'un des composts élaborés, choisi en fonction des résultats des essais de germination, sur l'émergence et la croissance des plantules de la betterave à sucre, du blé tendre et du cresson.

2. Matériel et méthodes

2.1. Processus de compostage

Le système de compostage conçu correspond à un bioréacteur à cuve cylindrique ayant un volume total de 3,98 m³ (Figure 1).

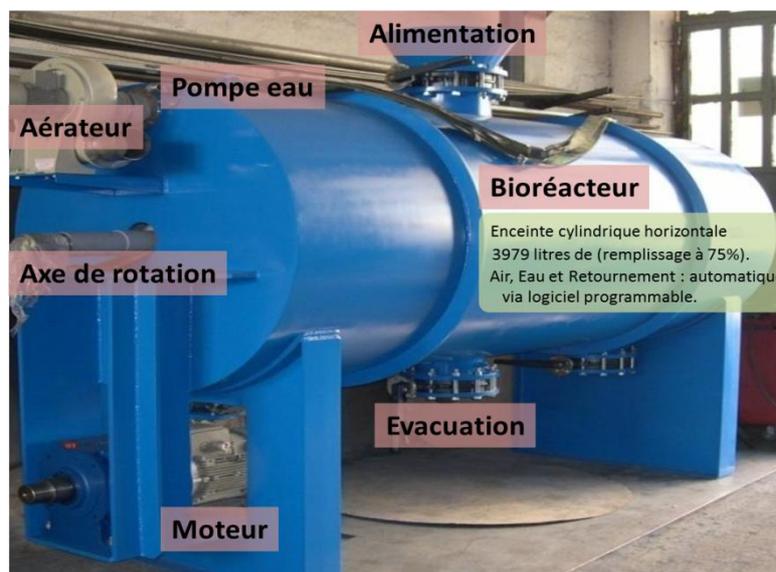


Figure 1 : Le bioréacteur de compostage utilisé.
Procédé MOROCOMP - Projet LIFE 05 TCY/MA/000141.

Ce bioréacteur fonctionne en mode de traitement accéléré par lots avec un temps de rétention des matières solides d'environ 25 à 30 jours. L'agitation du substrat est réalisée par un axe tournant à l'intérieur du bioréacteur. Les paramètres fournis pour les processus biologiques, tels que l'air et l'eau, sont automatiquement contrôlés de sorte que le substrat a un niveau de température, d'humidité et d'oxygène optimal pendant le processus de compostage. Les émissions de gaz provenant du processus sont traitées par un biofiltre. Pour ce dernier, il s'agit d'un procédé de désodorisation simple qui consiste à forcer le passage des gaz à traiter à travers une matière organique comme le compost maintenu à un taux d'humidité optimale sur lequel sont fixés des microorganismes épurateurs.

La composition en boues, déchets organiques et suppléments est donnée dans le tableau 1. Leurs proportions varient d'un compost à un autre en quantité et en qualité. Les composts élaborés sont à base de :

- i) boues de curage du réseau d'assainissement de la ville d'El Jadida, de la paille, des collets et feuilles de betterave à sucre (composts 2 et 3) ;
- ii) boues d'une station de traitement des eaux usées d'une unité industrielle polyvalente, de la paille et des collets et feuilles de betterave à sucre (compost 4 et 5).

Toutes les opérations de mise en œuvre du compostage (agitation, humidification, aération) sont programmées et contrôlées. Le suivi du compostage est réalisé par le biais des paramètres suivants : température, humidité, oxygène dissout ; rapport carbone / azote ; énumération des coliformes et des streptocoques fécaux, énumération des œufs d'helminthes,...

Tableau 1. Charge initiale du bioréacteur pour chaque essai

	Compost 2	Compost 3	Compost 4	Compost 5
Boues primaires (Kg)	520	700		
Boues secondaires (Kg)			1500	1875
Fumier d'ovins (Kg)	250			
Fumier de bovins (Kg)		180		
Feuilles et collets de betterave à sucre (Kg)	490	450		750
Paille (Kg)	50			188
Zeolite (Kg)		50		
Perlite (L)			50	
Terre (Kg)			25	187
Masse totale (Kg)	1310	1380	1575	3000

Tableau 2. Caractéristiques des extraits des composts utilisés.

Paramètre	Compost 2	Compost 3	Compost 4	Compost 5
pH	8,68	7,60	9,75	7,32
Matière sèche (%)	66,00	58,00	64,2	52,28
Matière organique (%)	33,00	26,31	46,30	27,42
Rapport C/N	16,83	6,20	14,17	6,34
Macro-éléments (% MS)				
N	2,98	1,12	0,87	3,3616
P ₂ O ₅	1,26	1,34	2,73	3,00
K ₂ O	0,91	0,96	2,18	1,63
CaO	6,94	4,79	7,57	6,79
MgO	1,52	0,94	3,55	3,01
Na ₂ O	3,94	1,11	3,86	4,06
Cl	1,86	0,03	2,52	2,57
Analyses biologiques (/10g MS)				
Coliformes Totaux Log ₁₀ MPN	0,90	0,66	1,50	0,6
Coliformes Fécaux Log ₁₀ MPN	0,70	0,30	< 0,1	< 0,1
Œufs d'Helminthes	< 1	< 1	< 1	< 1

2.2. Espèces végétales testées

Les tests d'évaluation de phytotoxicité des lixiviats pour les différents composts étudiés ont été réalisés sur les espèces végétales les plus cultivées dans la région des Doukkala, à savoir :

- Blé tendre (*Triticum aestivum* L.)
- Blé dur (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*)
- Bersim (*Trifolium alexandrinum* L.)
- Cresson (*Lepidium sativum* L. 1)
- Cresson (*Lepidium sativum* L. 2)
- Luzerne (*Medicago sativa* L.)
- Maïs (*Zea mays* L. cv. *cecilia*)
- Maïs (*Zea mays* L. cv. *raissa*)
- Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
- Betterave à sucre (*Beta vulgaris* L.)

2.3. Caractéristiques du sol utilisé

Le sol utilisé est prélevé de la station expérimentale de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole des Doukkala situé à Zemamra. C'est un sol limoneux-argileux qui a été recueilli de la couche arable entre 15 et 30 cm, séché à l'air à une température allant de 20 à 25°C pendant plusieurs jours, tamisé pour 2 mm et nettoyé des débris végétaux, homogénéisé et soigneusement mélangé à la main avec différentes doses de compost avant d'être placé dans des pots en plastique de 5000 ml. Chaque traitement est répété trois fois. Les principales caractéristiques de ce sol sont illustrées dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques du sol utilisé

Caractéristiques physico-chimiques	
Matière organique (%)	1,65
pH	7,85
Calcaire total (%)	0,09
Conductivité Electrique (mS/cm)	0,27
Densité apparente	1,40 – 1,46
P ₂ O ₅ assimilable (mg/kg)	10,5
K ₂ O échangeable (mg/kg)	150,4
Granulométrie	
Argile (%)	35 – 37
Limons (%)	13,5 – 14
Sable (%)	49 – 50

2.4. Effet des lixiviats sur la germination et la croissance racinaire

Les tests de germination ont été effectués dans des boîtes de pétri au sein d'une chambre de culture ventilée à une température de 23-25°C avec trois répétitions pour chaque type de graines à raison de :

- 50 graines par boîte pour le cresson, le blé tendre, le blé dur, le bersim, la luzerne et la tomate ;
- 25 graines par boîte pour le maïs ;
- 5 ml de lixiviat par boîte de pétri pour le cresson, le blé tendre, le blé dur, le bersim, la luzerne ou la tomate ;
- 10 ml de lixiviat par boîte de pétri pour le Maïs.

Calcul du taux de germination (TG): c'est le pourcentage des graines ayant germées par rapport aux graines semées au départ pendant un temps, dépendant des facteurs internes (dormance embryonnaire, inhibitions tégumentaires, etc) et externes de germination (température, humidité, oxygène et la lumière).

Calcul de l'indice de germination (IG) : Cet indice tient compte à la fois du taux de germination et de l'effet du lixiviat sur la longueur de la racine. La longueur des racines nous renseigne sur la maturité du compost. En effet, le lixiviat d'un compost immature crée des dommages aux racines et perturbe ainsi leur croissance :

$$IG = (GL/GT) \times (LL/LT) \times 100$$

GL= nombre de graines germées dans le lixiviat
GT= nombre de graines germées dans le témoin
LL= longueur des racines des graines germées dans le lixiviat
LT= longueur des racines des graines germées dans le témoin

2.4. Effet des composts sur l'émergence et la croissance en hauteur

Les tests de phytotoxicité ont été réalisés directement dans des pots contenant du sol additionné de doses variables du compost 3 préalablement préparé. Ces pots ont été ensemencés par les graines de trois espèces végétales : le cresson, le blé tendre et la betterave à sucre. La quantité de semences utilisée pour les tests de phytotoxicité est comme suit :

- 20 graines par pot pour le cresson (*Lepidium sativum* L. 2) ;
- 10 caryopses par pot pour le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) ;
- 10 glomérules par pot pour la betterave à sucre (*Beta vulgaris* L.).

La mise en végétation est opérée sous serre à la Faculté des Sciences d'El Jadida. Chaque essai est répété trois fois dans des pots de capacité de 5 litres contenant le sol de la station expérimentale de l'Office régional de mise en valeur agricole du Doukkala (ORMVAD) à Zemamra. Les pots ont reçu respectivement des doses de compost équivalentes à 0, 5, 10 et 20 tonnes par hectare. Les pots ont été arrosés par de l'eau de robinet jusqu'à l'humidité à la capacité au champ au départ et ensuite selon le besoin. L'émergence a été relevée dix jours après semis. En même temps les plantules de betterave à sucre ont été démariées, pour laisser un seul germe par glomérule. La hauteur de la plante, mesurée à partir de la surface du sol jusqu'à l'extrémité du limbe, est relevée 30 jours après semis.

2.4. Analyses statistiques

Les données des différents essais ont été analysées par une comparaison par paires (Tukey-B). Les différences significatives ont été relevées par le Test post-Hoc de Tukey-B à $P < 0.05$. Par ailleurs et pour tester s'il y a ou pas des différences significatives de l'effet des 4 lixiviats sur le taux de germination, la longueur racinaire et l'indice de germination des six plantes étudiées, une analyse multivariée de variance par permutation (PERMANOVA) a été réalisée avec le logiciel Primer 6. Les tests par paires de simulations de Monte Carlo (999 répétitions) ont été réalisés pour identifier les différences entre les différents types de lixiviats. L'effet de chacun de ces lixiviats sur les paramètres sélectionnés (TG, LR et IG) a été exprimé par la suite sous forme de positionnements multidimensionnels (MDS) à l'aide des racines carrées des données transformées et par les similitudes Bray Curtis.

3. Résultats et discussion

3.1 Caractéristiques des lixiviats de composts utilisés

Les extraits aqueux ou lixiviats (L2, L3, L4 et L5) des composts 2, 3, 4, et 5 sont préparés par addition d'une dose de compost à deux doses d'eau distillée (rapport 1/2). Les principales caractéristiques des composts utilisés sont résumées dans le tableau 2. Les valeurs de pH des différents composts se situent entre 7,32 et 9,75. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez les extraits des composts 2 et 4 et sont vraisemblablement liées à la charge en ammonium provenant de la dégradation en cours de la matière organique. Les composts 3 et 5 peuvent être considérés comme mûrs avec des pH situés entre 7 et 8 [7,9].

La teneur en matière sèche des quatre composts étudiés ne varie pas significativement. La teneur en matière organique (MO) varie néanmoins entre 26,31 et 46,30%. Les composts 3 et 5 semblent être plus minéralisés avec des teneurs en matières organiques plus basses (26,31 et 27,42%) comparativement aux composts 2 et 4 (33 et 46,30%).

Le rapport C/N est fréquemment utilisé pour évaluer le processus de minéralisation de la matière organique et comme indicateur de maturité des composts [10,11]. Le rapport C/N des composts étudiés varie entre 6,2 et 16,83 ; ces différences sont liées essentiellement à la variabilité des intrants et au processus de minéralisation qui en succède. D'après la littérature [12,13], les rapports C/N lorsqu'ils sont élevés correspondent à des composts jeunes (cas des composts 2 et 4). Par contre, un rapport C/N inférieur à 6 des extraits de composts peut être considéré comme indicateur d'un degré de maturité acceptable. Malgré que ce rapport soit loin d'être le paramètre ultime pour l'évaluation de la maturité, les composts 3 et 5, dotés de rapports C/N avoisinant 6, disposent clairement d'un degré de maturité beaucoup plus avancé par rapport aux composts 2 et 4.

3.2. Effet des lixiviats sur la germination et la croissance racinaire

La phytotoxicité des lixiviats des différents composts vis-à-vis des semences des six plantes étudiées a été évaluée par des essais à court terme permettant la détermination des paramètres de germination et d'élongation de la radicule à savoir : le Taux de Germination (TG), l'Indice de Germination (IG) et la Longueur de la Racine (LR). Ce sont des tests indispensables et parmi les plus communément utilisés pour étudier la toxicité des composts et évaluer leur degré de maturité [14,15].

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures 2, 3 et 4. Chez le Cresson, l'étude de l'effet des lixiviats de composts a été réalisée en deux essais séparés dans le temps. Le TG du Cresson dans le témoin est de 99 et 97% respectivement pour le cresson 1 et le cresson 2. Les différents extraits de compost ne semblent pas affecter le TG qui reste dans tous les cas très élevé. Cependant on note pour les lixiviats des composts 2 et 4, que l'élongation de la radicule est affectée ce qui se traduit par un IG plus faible par rapport aux lixiviats des composts 3 et 5. Par ailleurs, le lixiviat du compost 5 n'a montré aucune phytotoxicité sur le Cresson.

Pour la luzerne, plante fourragère pérenne tolérante à la salinité et à la sécheresse, les résultats des tests de phytotoxicité montrent que le TG dépasse 93% pour les différents lixiviats testés. Cette culture a également montré un bon indice de germination dépassant les 100% pour les lixiviats des composts 3 et 5. C'est d'ailleurs la seule espèce parmi les 7 testées qui n'a pas subi d'effet toxique des lixiviats.

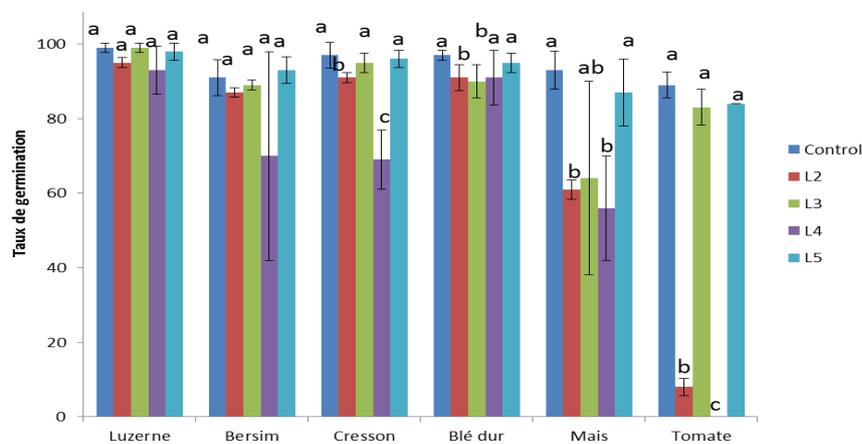


Figure 2 : Effets des lixiviats des composts sur le taux de germination des cultures après 7 jours.

Moyennes et intervalles de confiance (5%) de 3 répétitions. Test statistique de comparaison des moyennes Tukey ($P < 0,05$).

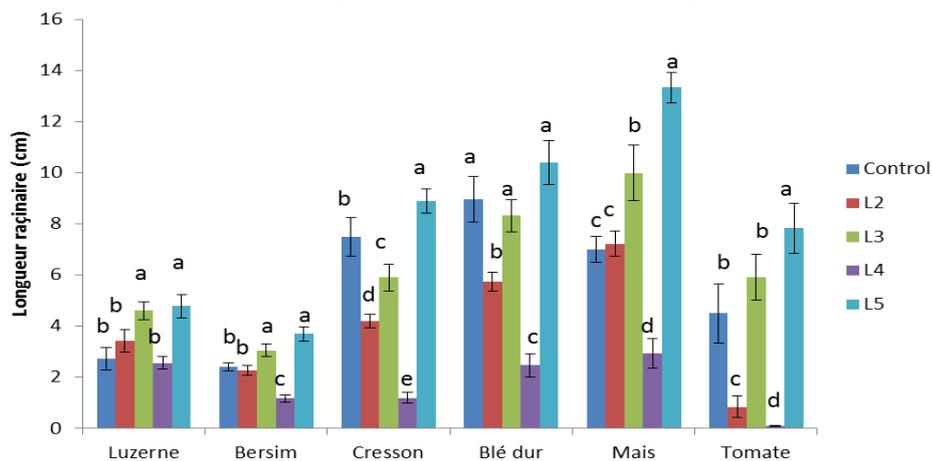


Figure 3 : Effets des lixiviats des composts sur la longueur des racines des cultures. Moyennes et intervalles de confiance (5%) de 15 répétitions. Test statistique de comparaison des moyennes Tukey ($P < 0,05$).

Chez le bersim, les TG dépassent 87% à l'exception de l'essai ayant reçu le lixiviat du compost 4 dont le taux est de 70%. Comparativement au témoin, les longueurs des racines ont montré une diminution pour les essais avec les lixiviats des composts 2 et 4 alors que les essais ayant reçu les lixiviats des composts 3 et 5, une augmentation de la longueur des racines a été notée comparativement à l'essai témoin. Ceci se traduit par une augmentation des indices de germination.

Les résultats des tests sur la tomate ont montré que la germination est fortement inhibée par les lixiviats, particulièrement celui issu du compost 4 où les graines n'ont pas germé. Par contre, les lixiviats des composts 3 et 5 n'ont pas présenté de toxicité notable. D'ailleurs, le lixiviat du compost 5 a stimulé l'élongation racinaire de la tomate.

Les essais sur le blé tendre ont montré que le TG est légèrement affecté par le lixiviat des différents composts utilisés. En effet, on constate que pour le lixiviat du compost 4, le taux de germination n'a pas dépassé les 70%. Il en ressort que cette culture est sensible aux lixiviats obtenus à partir des composts produits, en particulier ceux des composts 2 et 4 qui affectent l'élongation de la racine. Ceci se traduit par de faibles indices de germination inférieurs à 60. Quant à la variété de blé dur, les semences semblent bien germées en présence des différents lixiviats étudiés avec des TG supérieurs à 93%. Néanmoins, l'élongation des racines a été affectée par les lixiviats des composts 2 et 4 ce qui se traduit par un faible IG de l'ordre de 53,6 et 23,5, respectivement.

Chez les deux variétés testées de maïs (*Zea mays L. cv. cecilia* et *Zea mays L. cv. raissa*), nous avons constaté que les différents lixiviats de composts ont eu des effets inhibiteurs variables sur la germination comparativement au témoin. L'importance de cet effet dépend également de la variété de maïs testée. Ainsi nous avons relevé des TG variant de 45 à 78 % chez la variété *Cecilia* en fonction du type de lixiviat utilisé. Quant à la variété *Raissa*, ce taux varie de 56 à 87 %. Concernant l'élongation des racines, le lixiviat du compost 5 a stimulé la croissance racinaire ce qui s'est traduit par un indice de germination élevé de l'ordre de 137,5 %. Par ailleurs, les effets négatifs des lixiviats des composts 2 et 4 sur la longueur de la racine ont été reproduits sur les deux variétés de maïs étudiées avec des IG inférieur à 60 %.

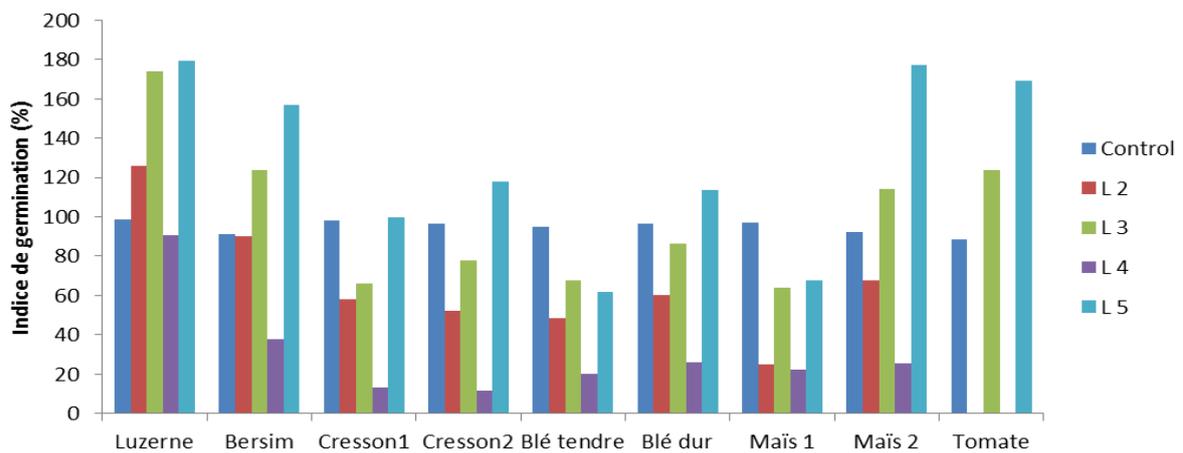


Figure 4 : Effets des lixiviats des composts sur l'indice de germination des cultures étudiées.

Sur le plan statistique, les résultats obtenus par les tests de comparaisons par paires de PERMANOVA (Tableau 4 et Figure 5) indiquent que les lixiviats T2 et T4 diffèrent significativement par rapport au témoin ($P(MC)=0,003$ et $0,001$ respectivement). Cela peut être expliqué par un effet inhibiteur de la germination de ces deux types de compost. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre le témoin et les deux composts L3 et L5 ($P(MC)=0,026$ et $0,81$ respectivement). Concernant la longueur racinaire et l'indice de germination, l'analyse PERMANOVA montre qu'il y a une différence hautement significative entre le témoin et l'ensemble des lixiviats testés. Ces résultats suggèrent que certains types de composts (L3 et L5) ont un effet positif largement supérieur au témoin alors que d'autres (L2 et L4) ont un effet négatif sur la croissance des plantes. Les résultats de PERMANOVA pour les trois paramètres étudiés (TG, LR et IG) sont en accord et clairement exprimés dans les graphes de positionnement multidimensionnel.

Les résultats sur la germination des différentes semences démontrent l'importance des essais de phytotoxicité comme moyen indispensable pour l'évaluation de la maturité des composts en vue de leur utilisation comme substrats d'amendement organique des sols. Nos résultats corroborent les travaux de Said-Pullicino et al. [15] et de Compaoré et Nanéma [16] qui considèrent que le plus important des facteurs lors de l'utilisation d'un compost en agriculture est son degré de stabilité. D'une manière générale, les données recueillies montrent que les espèces utilisées ne sont pas affectées de la même manière par la phytotoxicité des lixiviats des composts étudiés. Par ailleurs, l'impact sur la germination et la croissance de la racine dépend à la fois du compost utilisé et de la nature de l'espèce ou de la variété cultivée.

Tableau 4 : Analyse PERMANOVA des différences du taux de germination, de la longueur racinaire et de l'indice de germination pour les composts.
 Tests par paires de simulations de Monte Carlo (999 répétitions).

Taux de germination		Longueur racinaire		Indice de germination	
Groupes	P(MC)	Groupes	P(MC)	Groupes	P(MC)
Témoin, L2	0,001	Témoin, L2	0,003	Témoin, L2	0,001
Témoin, L3	0,026	Témoin, L3	0,003	Témoin, L3	0,001
Témoin, L4	0,003	Témoin, L4	0,001	Témoin, L4	0,001
Témoin, L5	0,81	Témoin, L5	0,003	Témoin, L5	0,001
L2, L3	0,002	L2, L3	0,001	L2, L3	0,001
L2, L4	0,016	L2, L4	0,002	L2, L4	0,002
L2, L5	0,001	L2, L5	0,002	L2, L5	0,001
L3, L4	0,002	L3, L4	0,001	L3, L4	0,002
L3, L5	0,198	L3, L5	0,004	L3, L5	0,005
L4, L5	0,002	L4, L5	0,001	L4, L5	0,001

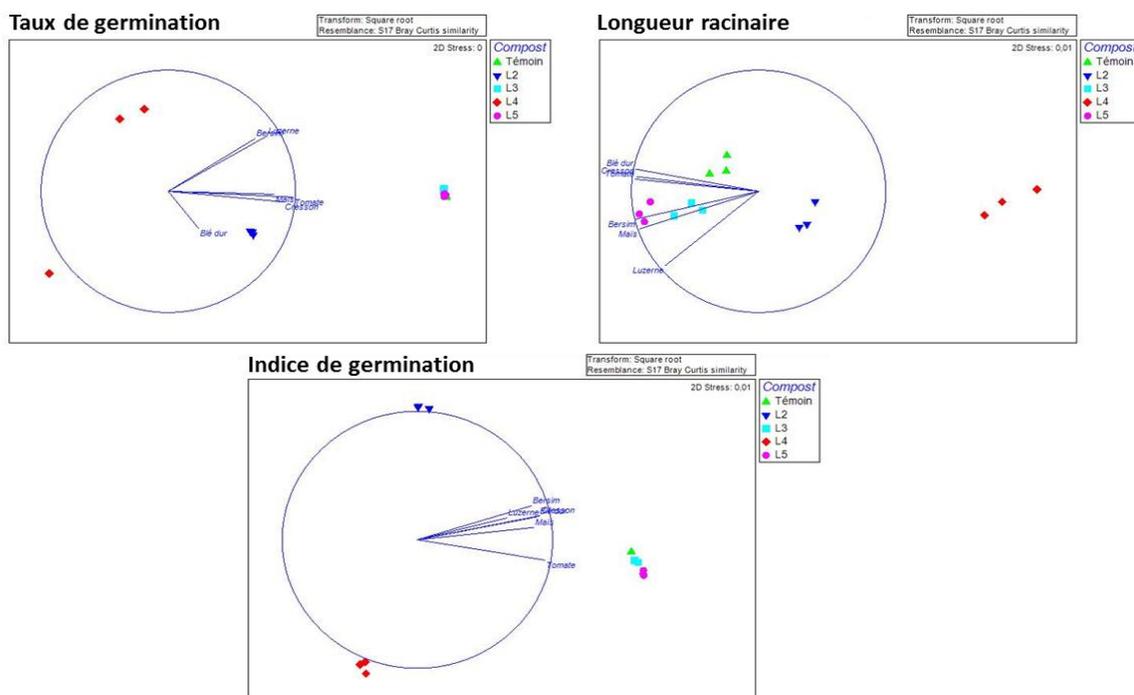


Figure 5 : Positionnement multidimensionnel (MDS) comparant les similitudes de l'effet des types de compost sur le taux de germination (A), la longueur racinaire (B) et l'indice de germination (C) chez les plantes étudiées.

A titre d'exemple, le taux de germination n'a pas montré de différences significatives chez la luzerne et le bersim pour les quatre lixiviateurs ; par contre l'effet toxique a été plus prononcé chez le maïs et la tomate. De plus, l'analyse des différents résultats montrent que lixiviateurs des composts 3 et 5 n'ont pas présenté d'effet inhibiteur notable lors des tests de phytotoxicité mais au contraire ils ont montré un effet stimulant de la croissance des racines de la plupart des cultures testées. Les composts 3 et 5 sont donc bien stabilisés et peuvent être par conséquent utilisés directement pour l'amendement des sols en vue d'améliorer leur qualité. Par contre, les lixiviateurs des composts 2 et 4, n'ayant pas atteint leur maturité, ont eu un effet toxique sur le taux et l'indice de germination de la majorité des semences testées. La toxicité de ce genre de composts immatures a été souvent reliée à l'émission d'ammoniac qui, même à faible concentration, entrave la germination et la croissance racinaire [17]. La phytotoxicité a été corrélée également avec la présence de certains acides organiques, de l'acide acétique ainsi que de l'oxyde d'éthylène témoignant de la décomposition continue des composts immatures [18-20].

3.3. Emergence et croissance en hauteur des plantes cultivées en pot sous serre
 3.3.1. Effet du compost sur l'émergence

La variation du taux d'émergence des plantes étudiées (Blé tendre, Betterave à sucre et Cresson) en fonction des doses ajoutées du compost 3 (5 à 20 T/ha) est présentée dans la figure 6. Les données montrent que le compost utilisé n'a aucun effet dépressif significatif sur l'émergence par rapport au témoin. Ces résultats sont à rapprocher de ceux de Ligneau et Watt [21] qui n'ont observé aucun effet inhibiteur significatif sur l'émergence de l'orge, de l'avoine et du gaillet gratteron à des doses croissantes de composts. Dans la même optique, les résultats relevés des plantules exposées au compost ne montrent pas de stimulation significative par rapport au témoin. Le même constat a été décrit par Titov et Babakov [22] sur le chénopode blanc. Toutefois, Nogales et al. [23] avait trouvé une corrélation inverse entre l'émergence chez la plupart des espèces étudiées et la concentration en compost.

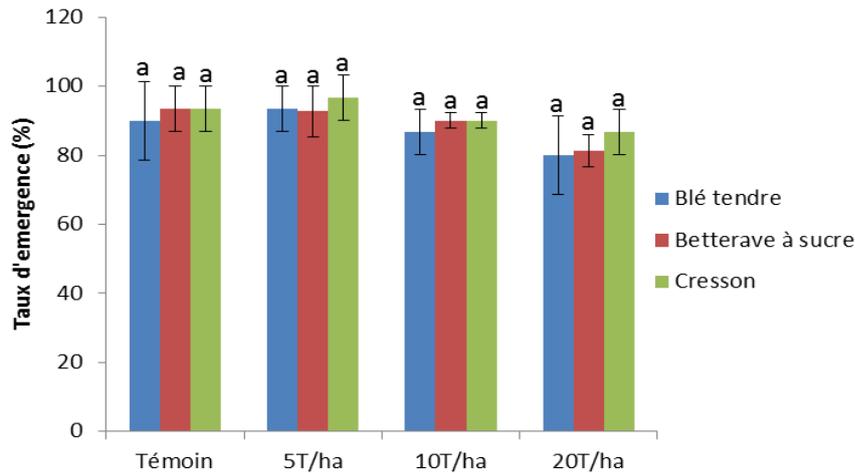


Figure 6 : Effet du compost sur le taux d'émergence (%) des plantes. Moyennes de 3 répétitions et leurs intervalles de confiance à 5%. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différents de leurs témoins respectifs (Test de comparaison des moyennes de Tukey $P < 0,05$).

3.3.2. Effet du compost sur la croissance des plantes

La croissance en hauteur de la partie aérienne des différentes cultures sous serre a été mesurée en fonction du temps. La figure 7 et les photos de la figure 8 illustrent la croissance des plantes au 30^{ème} jour après semis dans des pots additionnés de doses de composts équivalentes à 0, 5, 10 et 20 T/ha. Comparativement au témoin, les résultats montrent que l'apport du compost aux différentes doses stimule la croissance en hauteur du blé tendre et de la betterave à sucre. Par contre, les plantules du cresson ont dévoilé un accroissement en hauteur inversement proportionnel aux quantités du compost ajoutées. En effet, la croissance de cette espèce est nettement affectée par les doses 10 et 20 T/ha et seul l'apport modéré de 5 T/ha semble être adéquat avec un accroissement des plantes légèrement supérieur à celles cultivées sur le substrat témoin.

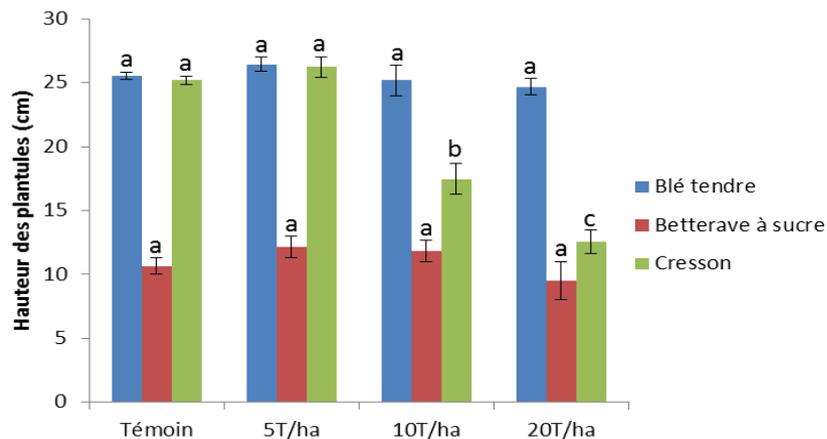


Figure 7 : Effet du compost 3 sur la croissance en hauteur des plantules. Moyennes de 3 répétitions et leurs intervalles de confiance à 5%. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différents de leurs témoins respectifs. (Test de comparaison des moyennes de Tukey $P < 0,05$).



Figure 8 : Illustration de l'effet de différentes doses du compost 3 sur la croissance en hauteur du cresson, blé tendre et betterave à sucre.

Conclusion

Le compostage des boues de curage des stations de traitement des eaux usées et des sous-produits agricoles représente un éco-procédé de traitement intensif à double finalité ; à la fois en tant que solution durable pour la gestion de leur accumulation et risques environnementaux et sanitaires mais aussi pour leur valorisation dans les filières agronomiques permettant de combler le déficit humique des sols surexploités et d'en améliorer la fertilité à long terme. Un compost de qualité peut donc être utilisé comme un matériel de substitution afin de réduire les coûts de production des substrats. Ses avantages en tant que fertilisant, structurant et stimulant de la vie microbienne sont d'autant plus évidentes pour les sols déséquilibrés ou cultivés de manière très intensive. Néanmoins, un compost de qualité doit être exempt de toute toxicité qui dépend essentiellement de son degré de maturité.

Dans ce contexte, nous avons démontré que deux composts parmi les quatre testés sont stabilisés et n'ont pas présenté d'effet phytotoxique notable et ont, au contraire, manifesté un effet stimulateur de la croissance des cultures testées. En outre, nos résultats témoignent bien des possibilités d'utilisation directe du compost mûr dans le sol à condition de respecter les doses apportées.

Le compostage des déchets organiques et boues de curage des stations de traitement des eaux usées constitue donc une alternative attrayante pour rehausser la fertilité et améliorer la structure des sols. Si nos investigations préconisent la valorisation des déchets organiques en produisant des composts répondant aux besoins socio-économiques et environnementaux, des essais plus approfondis au champ devraient être réalisés pour mieux cerner leur valeur agronomique particulièrement dans les zones irriguées des Doukkala.

Références

1. Mrabet M., Ibno-Namr K., Bessam F., Saber N., *Land. Degrad. Dev.* 12 (2001) 5052. Petit J., Jobin P. La fertilisation organique des cultures, les bases. Fédération d'agriculture biologique du Québec (FABQ). Longueuil, Québec, (2005).
3. Soares M.R., Matsinhe C., Belo S., Quina M. J., Quinta-Ferreira R., 2013. *J.Waste Manage.* (2013) ID 479126
4. Tiquia S.M., Tam N.F.Y., Hodgkiss I.J., *Bioresour. Technol.* 62 (1997) 42
5. Francou C. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage – Recherche d'indicateurs pertinents, Thèse de Doctorat, Institut national agronomique, Paris-Grignon, (2005).
6. Zucconi F., Pera A., Forte M., De Bertoldi M., *BioCycle.* 22 (1981) 57
7. Garcia C., Hernandez T., Costa F., Ayuso M., *Commun. Soil. Sci. Plan.* 23 (1992) 1512
8. Wei Y.S., Fan Y.B., Wang M.J., Wang J.S. *Conserv. Recycling.* 30 (2000) 300
9. Iannotti D.A., Grebus M.E., Toth B.L., Madden L.V., Hoitink H.A.J., *J. Environ. Qual.* 23 (1994) 1183
10. N'Dayegamiye A., Isfan D. *Can. J. Soil .Sci.* 71(1991)484.
11. Bernal M.P., Paredes C., Sanchez M.M.A., Cegarra J., *Bioresour. Technol.* 63 (1998) 99.
12. Jimenez E.I., Garcia V.P. *Agric. Ecosyst. Environ.* 38 (1992) 343
13. Chefetz B., Hatcher P.G., Hadar Y., Chen Y. J. *J.Environ. Qual.* 25 (1996) 785.
14. Gariglio N.F., Buyatti M.A., Pilatti R.A., Gonzalez Rossia D.E., Acosta M.R., *New. Zeal. J. Crop. Hort.* 30 (2002) 139
15. Said-Pullicino D., Kaiser K., Guggenberger G., Gigliotti G., *Chemosphere.* 66 (2007) 2176
16. Compaoré E., Nanéma L.S., *Tropicultura*, 28 (4) (2010) 237
17. Tang J-C., Maie N., Tada Y., Katayama A., *Process Biochem.* 41 (2006) 389
18. Wong M.H., *Environ. Pollut. A.* 37 (1985) 174
19. Manios VI., Tsikalas P.E., Siminis H.I., *Biol.Waste.* 27 (1989) 317
20. Albuquerque J. A., Gonzalez J., Garcia D., Cegarra J., *Chemosphere.* 64 (2006) 477
21. Ligneau L.A.M., Watt T.A., *Ann. appl. Biol.* 126 (1995) 162
22. Titov V. S., Babakov V. P., *Agrokhimiya.* 2 (1998) 41
23. Nogales R., Zamora M. A., Gomez M., Gallardo-Lara F., *An. Edafol. Agrobiol.* 43 (1984) 194

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>