

Evaluation de la phytotoxicité d'un compost préparé avec le phosphate calciné de Tahoua (Niger)

[Evaluation of the phytotoxicity of a compost prepared with calcined phosphate from Tahoua (Niger)]

Ousmane Mahamane Sani^{1,2}, Abdou Gondah Ismaila¹, Zanguina Adamou¹, and Natatou Ibrahim¹

¹Department de chimie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Technique, Laboratoire Matériaux-Eau-Environnement (LAMEE), Niamey, Niger

²Department de chimie, Université d'Agadez, Faculté des Sciences et Technique, Agadez, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study concerns the phytotoxicity test of a compost prepared with calcined Tahoua phosphate in order to increase its solubility. To do this, a test was carried out on two crops: corn and peanuts. For each crop, four treatments were carried out: control T₀ made up of sand, T₁ containing 1/4 compost and 3/4 sand, T₂ made up of 3/4 compost and 1/4 sand, T₃ made up of compost alone. The experiment was carried out in pots arranged in blocks with three repetitions. After 10 days of incubation, the maturity of the compost was evaluated according to the percentage of germination of the treatments compared to the control. The results made it possible to obtain a germination rate of 100% with maize and 122% with peanut for the T₁ treatment. For the T₂ treatment, the germination rate is 100% with maize and 88.89% with peanuts. As for the T₃ treatment, the germination rate is 111% for maize and only 22.22% with peanuts. These results show that the calcination of merchant phosphate from Tahoua does not lead to the formation of phytotoxic products for plants.

KEYWORDS: Calcined phosphate, sprouting, peanut, corn, compost, phytotoxicity.

RESUME: Cette étude porte sur le test de phytotoxicité d'un compost préparé avec le phosphate calciné de Tahoua afin d'accroître sa solubilité. Pour ce faire, un test a été effectué sur deux cultures: le maïs et l'arachide. Pour chaque culture quatre traitements ont été réalisés: témoin T₀ constitué de sable, T₁ contenant 1/4 du compost et 3/4 du sable, T₂ composé de 3/4 compost et 1/4 de sable, T₃ constitué du compost seul. L'expérimentation a été conduite dans des pots disposés en blocs avec trois répétitions. Après 10 jours d'incubation, la maturité du compost a été évaluée suivant le pourcentage de germination des traitements par rapport au témoin. Les résultats ont permis d'obtenir un taux de germination de 100 % avec le maïs et 122 % avec l'arachide pour le traitement T₁. Pour le traitement T₂, le taux de germination est de 100 % avec le maïs et 88,89 % avec l'arachide. Pour ce qui du traitement T₃, le taux de germination est 111 % pour le maïs et seulement 22,22 % avec l'arachide. Ces résultats montrent que la calcination du phosphate marchand de Tahoua n'entraîne pas la formation des produits phytotoxiques pour les plantes.

MOTS-CLEFS: Phosphate calciné, germination, arachide, maïs, compost, phytotoxicité.

1 INTRODUCTION

Dans la période (2015-2030), les pays du monde se sont fixé 17 objectifs à atteindre appelés objectifs du développement durable (ODD). Les deux premiers sont: L'élimination de la pauvreté sur toutes ses formes et la faim zéro [1]. Au Niger, le secteur agricole représente plus de 40% du produit intérieur brut dans l'économie nationale et constitue la principale source de revenus pour plus de 80% de la population du pays [2]. Cependant, la carence généralisée des sols en phosphore et en matières organiques, la dégradation des terres cultivables, l'insuffisance des pluies, le faible pouvoir d'achat des paysans, le manque d'accès aux engrais et aux semences améliorées sont entre autres des maux qui limitent la productivité agricole [3]. Face à cette situation, il est difficile pour le Niger d'être au rendez-vous de ces deux objectifs cités ci-dessus dans les ODD. Or, l'application directe de la poudre du phosphate marchand de Tahoua vendue aux agriculteurs pour corriger la carence des sols phosphore était une alternative à l'utilisation des engrais phosphorés hydrosolubles dont la disponibilité et l'accessibilité posent problèmes aux paysans [4], [5]. De plus, des essais au laboratoire et en milieu paysan ont montré une faible réactivité du produit [5], [6]. Depuis lors, des travaux des recherches ont été conduits en vue d'améliorer la solubilité du marchand de Tahoua et rendre son phosphore plus disponible aux plantes [7], [8]. La technique du compostage des matières organiques avec le phosphate est bien adaptée au contexte du Niger. Ceci d'autant qu'elle est utilisée pour augmenter l'efficacité agronomique des phosphates naturels et permet d'avoir un produit riche en composés humiques qui peut restaurer la structure et la fertilité du sol. Par ailleurs, la calcination est une méthode qui est utilisée pour améliorer certaines propriétés des phosphates sédimentaires et accroître leur qualité [9], [10]. Est-ce que le traitement du phosphate marchand de Tahoua par calcination et la mise en compostage du produit obtenu avec les matières organiques peut permettre d'avoir un produit sans phytotoxicité pour les plantes ? Ce travail vise à évaluer la phytotoxicité d'un compost préparé avec le phosphate marchand calciné de Tahoua.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Il a été utilisé dans ce travail, le matériel végétal suivant:

- La balle de riz (BR): déchets issus du décorticage du riz;
- La bouse de vache (BV);
- La Jacinthe d'eau (JPE): plante envahissante récoltée fraîchement à la corniche Gamkale;
- La Variété de maïs doux (Zea mays);
- La variété d'arachide Arrachis (hypogaea R1 55-437) production 2018 à AINOMA (Niamey-Niger)

2.2 MATÉRIAU PHOSPHATE

- Du phosphate marchand de Tahoua (PMT): Poudre obtenue après les opérations de concassage, de broyage et de pulvérisation des nodules du phosphate naturel de Tahoua qui est vendue aux agriculteurs pour amender les sols par la Centrale d'Approvisionnement en Intransit et Matériel Agricole (CAIMA)
- Du phosphate calciné (PC): Poudre du phosphate marchand de Tahoua calciné à 850°C pendant 1 heure

2.3 DÉTERMINATION DU CARBONE ORGANIQUE TOTAL (COT)

La teneur en carbone organique total des composts a été déterminée selon la méthode de Walkley et Black [11]. Cette méthode est basée sur l'oxydation à chaud du carbone organique par le bichromate de potassium en milieu acide sulfurique. L'excès du bichromate est ensuite dosé par une solution titrée de sel de Mohr (0,5N) en présence de la ferroïne utilisée comme catalyseur. Une masse de l'ordre de 0,1g de compost a été introduite dans un erlenmeyer de 250 mL. Ensuite 10 mL de solution de bichromate de potassium et 20 mL d'acide sulfurique concentré sont ajoutés dans l'erlenmeyer. La solution est agitée pendant 1 mn et laissée reposer pendant 30 min pour développer l'oxydation. Puis 100 mL d'eau distillée sont ajoutés au mélange pour stopper la réaction. Après ajout de 6 gouttes de ferroïne, l'excès du bichromate est titré par une solution de sel de Mohr (0,5N) jusqu'au virage au rouge. Un blanc est réalisé dans les mêmes conditions.

2.4 DÉTERMINATION DE L'AZOTE TOTAL

La méthode de Kjeldahl a été utilisée pour déterminer la teneur en azote total [11]. La matière organique est d'abord minéralisée sous l'action oxydante de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence du catalyseur Kjeldahl. Les différentes formes d'azote contenues dans l'échantillon sont ainsi transformées en sulfate d'ammonium. Dans un distillateur d'azote, l'ion ammonium est déplacé avec la soude 40% avant d'être entraîné à la vapeur et fixé par l'acide borique 2%. Le produit est tiré par l'acide sulfurique 0,02N en présence d'indicateur coloré. Ainsi, On introduit 0,5g de compost dans un matras. Puis on ajoute une pincée de catalyseur Kjeldahl et 10 mL d'acide sulfurique concentré. Le matras est placé sur la rampe de digestion pour la minéralisation de l'échantillon jusqu'à l'obtention d'une solution claire. Un blanc est fait dans les mêmes conditions. Le minéralisât est refroidi puis récupéré avec 100mL d'eau distillée pour la distillation. Le matras est placé sur l'appareil à distiller. Ensuite, 40 mL de soude 40% sont ajoutés dans le matras puis on procède à la distillation. Le distillat est recueilli dans un erlenmeyer contenant 40 ml d'acide borique 2% et 3 gouttes d'indicateur mixte (rouge de méthyle 0,1 g et vert de bromocrésol 0,5 g dans 500 ml l'éthanol à 95%). L'erlenmeyer est placé au-dessous du réfrigérant en prenant soin de plonger le bec dans l'acide borique. Le distillat est dosé avec de l'acide sulfurique 0,025 N.

2.5 TENEUR EN PHOSPHORE TOTAL

La méthode de dosage du phosphore avec PhosVer 3 a été utilisée. Dans une cuve, on introduit 10 mL du filtrat préalablement dilué. Ensuite on y introduit la poudre du PhosVer 3. Après deux minutes de repos, on effectue le dosage d'anhydride phosphorique dissous à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption moléculaire DR 3800 d'origine HACH CAMPANY à la longueur d'onde de 400 nm.

2.6 MÉTHODE DU COMPOSTAGE

La méthode employée pour élaborer les différents composts est celle des fosses aérées. Dix (10) bassins en ciment ont été utilisés à cet effet (Fig. 1). Ces bassins sont troués par endroit pour permettre une bonne aération des tas. Chaque bassin a pour dimensions 1,20m; 1m; 1m. Ils sont couverts d'un plastique noir sous un hangar pour protéger les composts de l'excès du soleil, des pluies et des vents forts qui peuvent entraîner l'arrêt du processus.



Fig. 1. Photo du Dispositif des fosses utilisées pour le compostage

La quantité des matériaux à composter est de 20Kg pour chaque traitement et les mélanges ont été faits de manière à avoir un C/N qui tourne au tour de 25. Il s'agit de:

- Compost C₀ (20 Kg): 100% MO (80% BR; 10% BV; 10% JPE)
- Compost C₁ (20 Kg): 95% MO (88% BR; 5% BV; 2% JPE) + 5% PMT
- Compost C₂ (20 Kg): 95% MO (88% BR; 5% BV; 2% JPE) + 5% PC

2.7 FORMATION DES TAS

Dans les bassins, les tas sont constitués des différents matériaux disposés en couches alternées. La première couche directement au fond du bassin étant bien arrosée avant de mettre la suivante. Des retournements sont effectués toutes les deux semaines à l'aide d'une fourche pour aérer les tas et assurer la décomposition de l'ensemble des matériaux.

2.8 MESURE DU PH

Le potentiel d'hydrogène des composts a été déterminé selon la norme AFNOR NF ISO 10-390 [12]. Pour ce faire, une suspension de compost a été préparée en mélangeant 10 g de compost et 50 mL d'eau distillée. La suspension est homogénéisée par agitation pendant 10 minutes. Après 30 minutes de repos, la lecture du pH se fait directement à l'aide d'un pH-mètre.

2.9 TEST DE GERMINATION DU COMPOST

Le protocole de Compaoré et al modifié a été utilisé pour conduire ces travaux [13]. Ce test permet d'évaluer l'effet du compost sur la faculté germinative de 2 cultures. Une monocotylédone et l'autre dicotylédone que sont respectivement le maïs et l'arachide. Le compost C₂ a été utilisé dans cette étude. Ainsi, 4 graines de chaque culture ont été semées dans des pots en plastique contenant du sable seul, du compost mélangé à du sable et du compost seul. Le substrat est réparti dans les pots à raison de 1 kg par pot. Les traitements étaient les suivants: T₀: sable seul, T₁: 1/4 compost + 3/4 sable, T₂: 3/4 compost + 1/4 sable et T₃: compost seul. L'expérimentation a été conduite à ciel ouvert où les pots ont été disposés en blocs avec trois répétitions (Fig. 2). Les pots ont été arrosés tous les jours à l'eau distillée afin de maintenir l'humidité du sol entre 60 et 80% de la capacité au champ. Après 10 jours d'incubation, la maturité du compost a été évaluée suivant le pourcentage de germination des différents traitements par rapport au témoin. Les résultats du témoin (sable seul) ont été pris comme référence et considérés comme 100%.



Fig. 2. Dispositif expérimental pour le test de germination à la semi des graines

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISATIONS CHIMIQUES DU MATÉRIEL VÉGÉTAL UTILISÉ

Les pourcentages en carbone organique et en azote total du matériel végétal utilisé sont déterminés dans le but de déterminer la proportion dans laquelle il faudrait mélanger les matériaux afin d'avoir un rapport C/N idéal pour un bon déroulement du processus de compostage. Ce rapport varie selon les auteurs mais se situe en générale de 20 à 30 [14]. Cependant, beaucoup d'auteurs recommandent un rapport C/N de 25 à 40 pour un bon déroulement du processus [15], [16]. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition chimique du matériel végétal utilisé

Référence	%MO	% COT	% NTK	C/N
JPE	69,28	40,28	2,51	16,04
BR	74,32	43,21	1,65	26,19
BV	42,8	24,89	0,91	27,35

JPE: jacinthe plante entière; BR: balle de riz; BV: bouse de vache

3.2 EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE AU COURS DU COMPOSTAGE

La Fig. 3 présente l'évolution de la température des composts préparés. De façon générale, l'évolution observée est la même pour l'ensemble des composts. Les températures augmentent brusquement et atteignent leurs maximums variant de 52 à 57,5°C dès les cinq premiers jours. A partir du sixième jour, elles diminuent progressivement jusqu'à la stabilisation au tour de 35°C traduisant l'épuisement de la matière organique mise à compost. L'évolution observée fait ressortir les trois phases de décomposition de la matière organique que sont: les phases d'échauffement, de refroidissement et de la maturation. Des résultats similaires ont été trouvés par d'autres auteurs [6], [17].

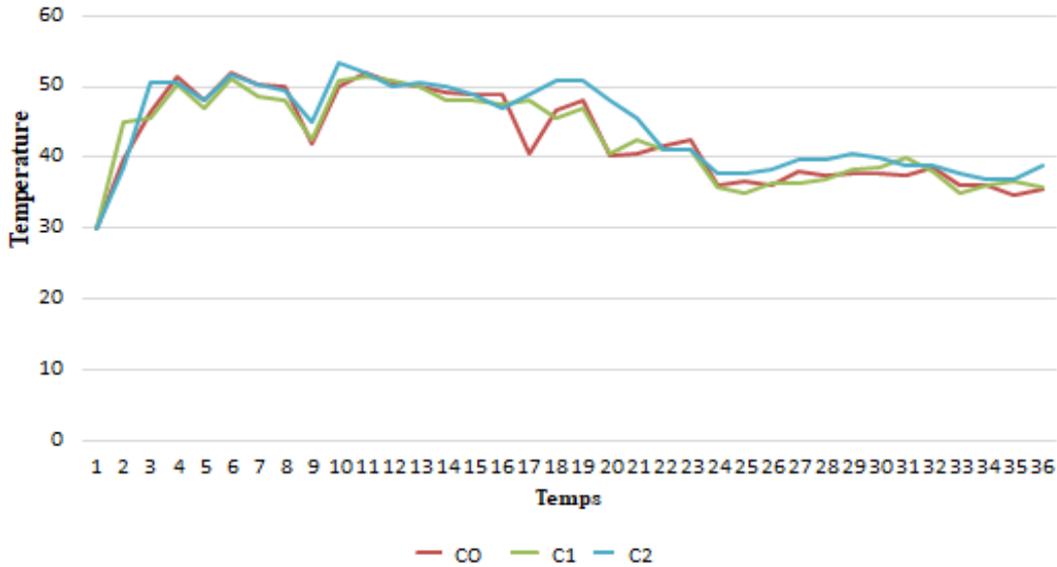


Fig. 3. Evolution de la température au cours du compostage

3.3 PH ET TENEUR EN ANHYDRIDE PHOSPHORIQUE

Les valeurs du pH des composts sont présentées dans le tableau 2. Elles montrent que les composts élaborés sont à la maturité. En effet, selon certains auteurs le pH d'un compost à maturité est compris entre 7 et 9 [18]. D'autres auteurs affirment qu'en générale le pH d'un compost à maturité est proche de la neutralité [19]. Les teneurs en anhydride phosphorique sont données dans le tableau II. On remarque que la quantité de phosphore total en mg/kg de P₂O₅ est plus importante le compost C₂.

Tableau 2. pH des composts

Composts	pH	P ₂ O ₅ (mg/kg)
C ₀	7,90	2938,98
C ₁	7,99	5949,40
C ₂	7,08	5994,54

3.4 RAPPORT CARBONE AZOTE DES COMPOSTS ÉLABORÉS

Le rapport carbone-azote est l'un des paramètres qui permettent d'évaluer la maturité d'un compost. Il est rapporté dans la littérature qu'un compost à maturité présente un rapport C/N compris entre 8 et 20. Tous les composts élaborés ont un C/N compris dans cet intervalle à l'exception de C₀ qui a un rapport de 40,08 (tableau 3). Cette valeur élevée est favorisée par la faible teneur en azote total dans ce compost. Ceci pourrait être dû à une perte d'azote sous forme d'ammoniac dans ce compost.

Tableau 3. Rapport carbone azote des composts élaborés

Références	Carbone organique	Azote total	C/N
C ₀	20	0,49	40,08
C ₁	17,07	1,43	11,93
C ₂	18,62	0,97	19,19

3.5 TEST DE MATURITÉ OU TEST DE GERMINATION DU COMPOST

Sur les Fig. 4a et 4b sont présentées les photographies des essais effectués à base du compost C2 illustrant la germination du maïs et l'arachide après 10 jours d'incubation. Le choix du compost C2 a été motivé par ses caractéristiques physicochimiques (pH neutre, meilleur teneur en P₂O₅ et un rapport C/N se trouvant dans l'intervalle donné dans la littérature).



Fig. 4. Photo des pots illustrant la germination après 10 jours d'incubation: du maïs (4a) et d'arachide (4b)

Les taux de germination des cultures ont été évalués suite à un traitement statistique par analyse des variances. Le logiciel utilisé est Minitab version 2016. Les moyennes ont été comparées en utilisant le test de Fischer au seuil de 5%. Le tableau 4 ci-dessous présente les résultats obtenus. Les lettres a, b, c, désignent pour chaque traitement des valeurs moyennes significativement différentes au Seuil de 5%. Les résultats obtenus indiquent que l'incorporation de 25% du compost au sol permet d'obtenir un taux de germination de 100% avec le maïs et 122% avec l'arachide. Lorsque le compost est incorporé à 75%; le taux de germination est de 100% avec le maïs et 88,89% pour l'arachide. Pour ce qui est du compost seul; le taux de germination est 111% pour le maïs et 22,22% pour l'arachide. Pour le maïs, le taux de germination le plus élevé (111%) est obtenu avec le compost seul, tandis que pour l'arachide le taux le plus élevé (122%) est obtenu avec l'incorporation de 25% du compost au sol. En outre, avec le maïs des taux de germination de 100% ont été enregistrés aussi bien avec l'apport de 25% que 75% du compost. Pour l'arachide le plus faible taux est obtenu avec le compost seul. Ces différents pourcentages relèvent que la germination dépend d'une part de la dose de compost apportée et d'autre part le type de culture. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés dans la littérature [5]. Le test de germination permet d'apprécier de façon fiable, la maturité d'un compost. Un compost immature ne permet pas une bonne germination des graines et empêche la croissance des cultures. Cette phytotoxicité est attribuée à la présence dans un compost des substances comme: l'ammoniac, les acides organiques à chaîne courte et l'oxyde d'éthylène [18], [20], [21], [22], [23], [24]. Les tests de germination réalisés par d'autres auteurs sur la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) et du cresson (*Lepidium sativum* L.) ont permis d'avoir un pourcentage de 90%. Les composts utilisés étaient considérés à maturité [25], [26]. Nous avons obtenus des pourcentages de germination compris entre 100-122% avec l'apport de 25% de compost. Au regard des résultats enregistrés notre étude, les composts que nous avons élaborés pourraient être sans phytotoxicité.

Tableau 4. Taux de germination de Maïs doux et d'arachide dans le compost C2

Variétés	Sable seul	Sable+25% Compost	Sable+75% compost	compost seul
Maïs doux	100±00a	100±00a	100±57,74a	111±38,49a
Arachide 55-437 CR1	100±00a	122±19,05ab	88,89±19,25b	22,22±19,24c

4 CONCLUSION

La phytotoxicité du compost élaboré à base de la matière organique et du phosphate calciné a été étudié. Les caractéristiques physicochimiques du produit obtenu ont été déterminées. Les résultats montrent un pH proche de la neutralité. Le rapport C/N obtenu est dans le domaine indiqué par la littérature et témoigne de la maturité de ce compost. Ce qui a permis de réaliser la germination des graines d'arachides et du maïs. Au regard des résultats obtenus dans ce travail, on peut dire que le compost préparé en dissolvant le phosphate marchand de Tahoua calciné est sans danger pour les plantes. Aussi, le produit obtenu qui est en réalité un engrais organominéral pourrait avoir un effet bénéfique sur le rendement du maïs et d'arachide.

REFERENCES

- [1] AFD, Mieux comprendre les objectifs de développement durable. Quiz odd, 2018.
- [2] A. H. Zakari, K. B Mahamadou, and A. Toudou, «Les systèmes de productions agricoles du Niger face au changement climatique: défis et perspectives,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 10, no. 3, pp. 1262-1272, 2016.
- [3] M. Salou, Situation des sols au Niger contraintes et besoins; 2013.
- [4] IFDC, Plan de réforme du secteur des engrais au Niger, 2018.
- [5] RECA, Un élément clé dans la fertilisation des sols au Niger: Le phosphore. *Bulletin trimestriel d'information du RECA*, 2010.
- [6] A. Zanguina, I. Natatou, K. Moursalou, T. Gado, and L. L. Jean, «Dissolution du phosphate naturel de Tahoua en milieu acide, » *Bulletin information de la SOACHIM*, no. 007, pp. 85-93, 2010.
- [7] A. Zanguina, Contribution à la caractérisation physico-chimique et à la mise en valeur agronomique du phosphate naturel de Tahoua (Niger): Essai de fabrication de certains engrais minéraux et phospho-compost, Thèse, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger), 2010.
- [8] M. S. Ousmane, Caractérisations physico-chimiques, amélioration de l'efficacité agronomique par phospho-compostage des phosphates naturels du Niger, Thèse, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger), 2018.
- [9] N. Malek, Influence de la matière organique du phosphate noir de DjebelOnk sur le procédé de traitement, Thèse, université A. Mira Bejaia (Algérie), 2007.
- [10] A. M. Arafan, A. Benchanaa, and J. M. Chik, «Etude du traitement thermique des minerais de phosphate: Influence des caractéristiques chimiques et minéralogiques, » *COVAPHOS II*, Marrakech, pp. 10-13, 2006.
- [11] C. Mathieu, and F. Pieltain, Analyse chimique des sols; Editions TEC et DOC, Paris.
- [12] O.N. Belyaeva, and R. Haynes, «Chemical, microbial and physical properties of manufactured soils produced by co-composting municipal green waste with coal fly ash,» *Bioresource Technology*, no. 100, pp. 5203-5209, 2009.
- [13] E. Compaore, L.S. Nanema, S. Bonkougou, M.S. Sedogo, «Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture,» *Journal of Applied Biosciences*, no. 33: 2076-2083, 2010.
- [14] P. Simon, L. Francois, and C. Simon, «Le compostage en fosse en milieu tropical. [Online] Available <http://dakarcompost.ifrance.com/>, 2006.
- [15] S. Sadaka, and A. E.Taweel, «Effect of aeration and C: N ratio on household waste composting in Egypt,» *Compost Science & Utilization*, vol. 11, no. 1, pp. 36-40, 2003.
- [16] G. B. Willson, «Combining raw materials for composting,» *BioCycle*, vol. 30, pp. 82-83, 1989.
- [17] S. Tchegueni, Contribution à la valorisation des déchets agro-alimentaires en compost: caractérisation physico-chimiques des composts et étude de leur minéralisation dans deux sols agricoles de Togo, Thèse, Université de Lomé (Togo), 2011.
- [18] Y. Avnimelech, M. Bruner, I. Ezrony, R. Sela, and M. Kochba, «Stability indexes for municipal solid waste compost,» *Compost Science & Utilization* vol. 4, pp. 13-20, 1996.
- [19] F. Sellami, S. Hachicha, M. Chtourou, K. Medhioub, and E. Ammar, «Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters,» *Bioresour. Technol.*, no. 99, pp. 6900-6907, 2008.
- [20] E.I. Jimenez, and V.P. Garcia, «Evaluation of city refuses compost maturity: a review,» *Biological Wastes*, vol. 27, pp. 115-142, 1989.
- [21] J. C. Tang, N. Maie, Y. Tada, A. Katayama, «Characterizations of the maturing process of cattle manure compost,» *Process Biochemistry*, vol. 41, pp. 380-389, 2006.
- [22] J. A. Alburquerque, J. Gonzalez, D. Garcia, and J. Cegarra, Measuring detoxification and maturity in compost made from «alperujo,» the solid byproduct of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*, vol. 64, pp. 470477, 2006.

- [23] V.I. Manios, P.E. Tsikalas, and H.I. Siminis, «Phytotoxicity of olive tree leaf compost in relation to the organic acid concentration,» *Biological Wastes*, vol. 27, pp. 307-317,1989.
- [24] M. P. Bernal, C. Paredes, M. A. Sanchez, and J. Cegarra, «Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic wastes,» *Bioessource Technology*, vol. 63, pp. 91-99, 1998.
- [25] L. Wu, L.Q. Ma, and G.A. Martinez, «Comparison of Methods for Evaluating Stability and Maturity of Biosolids Compost. J. Environ. Qual.,» vol. 29, pp. 424-429.
- [26] F. Zucconi, A. Pera, M. Forte, and M. De Bertoldi, «Evaluating toxicity of immature compost,» *Biocycle*, vol. 22, pp. 54–57, 1981.