

Étude de la solubilisation des phosphates naturels de Tahoua (Niger) au cours de la biodégradation des résidus agroalimentaires

**Mahamane Sani OUSMANE^{1,2*}, Adamou ZANGUINA¹, Sanonka TCHEGUENI³, Sidi LAOUALI⁴,
Nomao DAN LAMSO⁴ et Ibrahim NATATOU¹**

¹ *Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Technique, Laboratoire de Physico-chimie des Matériaux, BP 11662 Niamey, Niger*

² *Université d'Agadez, Faculté des Sciences et Technique, BP 199 Agadez, Niger*

³ *Université de Lomé, Faculté des Sciences, Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (G.T.V.D.), BP 1515 Lomé, Togo*

⁴ *Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté d'Agronomie, Département de Sciences du Sol, BP 11662 Niamey, Niger*

* Correspondance, courriel : msanioumane@gmail.com

Résumé

Cette étude propose une ébauche de mise en valeur des phosphates naturels difficilement solubles par compostage des résidus agroalimentaire. Pour ce faire, trois types de composts ont été réalisés : un compost simple C à base de 100 % de matière organique, ainsi que deux phosphocompost C₅ et C₁₀ constitué respectivement de 95 % de matière organique + 5 % de la poudre du phosphate naturel de Tahoua et 90 % de la matière organique + 10 % de la poudre du phosphate naturel de Tahoua. L'analyse des paramètres physico-chimiques (phosphore total, phosphore assimilable, azote total) révèle que l'ajout du minerai de phosphate naturel dans la matière organique a augmenté la teneur en phosphore total et en phosphore assimilable des composts. Le phosphocompost C₅ donne une meilleur teneur en phosphore assimilable (301,29 mg / kg) que le phosphocompost C₁₀ (273,90 mg / kg) et le compost C (91,30 mg / kg). Il donne aussi une meilleur teneur en azote total qui est de 1,37 %. Des essais agronomiques à la micro-dose sur la production du mil ont été effectués à base de ces composts. Les résultats montrent un rendement grain trois fois plus élevé dans les traitements avec les phosphocomposts C₅ (1506 kg / Ha) et C₁₀ (1392 kg / Ha) que celui du témoin (450 kg / Ha).

Mots-clés : *solubilisation, phosphocompost, phosphate, rendement, résidus agroalimentaires.*

Abstract

Study of Tahoua (Niger) natural phosphates solubilization during the composting of agroalimentary residues

This study propose an upgrading way of natural hardly soluble phosphates by composting of agroalimentary residues. For this, three types of composts have been realized : compost C containing 100 % of organic matter, phosphocompost C₅ including 95 % of organic matter + 5 % of Tahoua's natural phosphate and phosphocompost C₁₀ including 90 % of organic matter + 10 % of natural phosphate of Tahoua. Analysis of

physicochemical parameters (total phosphorus, available phosphorus, total nitrogen) reveals that the addition of the natural phosphate's ore in the organic matter increased the content of total phosphorus and the available phosphorus of the composts. The phosphocompost C₅ gives the best content of available phosphorus (301.29 mg / kg) than phosphocompost C₁₀ (273.90 mg / kg) and compost C (91.30 mg / kg). It gives also the best content of total nitrogen (1.37 %). Some agronomic tests by microdose on millet production have been done. The results show a three times bigger yield in treatments with phosphocomposts C₅ (1506 kg / Ha) and C₁₀ (1392kg / Ha) than in the treatment without compost (450 kg / Ha).

Keywords : *solubilization, phosphocompost, phosphate, yield, agroalimentary residues.*

1. Introduction

Le Niger, à l'instar des autres pays sahéliens, est confronté à une forte dégradation de son potentiel productif du fait de la situation climatique défavorable. Le facteur limitant de l'agriculture pluviale reste l'eau, les pluies sont variables d'une année sur l'autre [1]. L'érosion éolienne et hydrique, les tendances démographiques exercent aujourd'hui une pression considérable sur les terres cultivables [2]. La carence de la plupart des sols en phosphore est un obstacle sérieux que doit surmonter l'agriculture Nigérien pour parvenir à des meilleurs rendements [3]. Face à cette situation, le Niger importe des engrais phosphatés solubles manufacturés, qui sont généralement recommandés pour corriger les insuffisances en phosphore [3 - 5] et augmenter la fertilité du sol à court terme. Cependant, ces engrais ne sont pas à la portée des paysans dont les revenus sont très limités. Il faut aussi signaler que leur utilisation entraîne à long terme une diminution de la matière organique et une acidification des sols entraînant une réduction du rendement [6, 7]. L'utilisation des engrais organiques à faible coût, est une solution alternative à cette problématique. Le compost est un bon engrais organique du fait qu'il contient des substances nutritives ainsi que de la matière organique et qu'on peut fabriquer à faible coût [8]. Selon leur origine, les composts peuvent avoir des qualités fertilisantes différentes. Les composts des déchets agroalimentaires sont exempts de germes pathogènes, de métaux lourds, donc sont de meilleure qualité par rapport aux composts des déchets urbains [9, 10]. Le compostage de la fraction organique des résidus agroalimentaires génère des acides humiques. L'ajout du phosphate naturel pendant le compostage permet d'obtenir du phosphocompost qui est un engrais organominéral. Lors du processus réactionnel, les acides humiques réagissent avec du phosphate naturel pour rendre le phosphore plus biodisponible et assurer une nutrition optimale des plantes. Cette étude est une contribution à la technique d'amélioration de l'efficacité agronomique des phosphates naturels de Tahoua par phosphocompostage. Au cours de ce travail, il a été expérimenté les trois formulations des composts sur la production du mil qui est la denrée alimentaire de base au Niger.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

- La paille de riz séchée et broyée : elle est la source principale de carbone ;
- La jacente d'eau fraîche découpée en petits morceaux, récoltée au bord du fleuve Niger comme source d'azote ;
- Du fumier sec de bovins domestiques comme source d'azote et de potassium ;
- La poudre de phosphate naturel de Tahoua (granulométrie < 125 µm) obtenue à partir du minerai brut après un broyage et un tamisage fin séparant la matière phosphatée des impuretés constituées en majorité d'argile et d'une gangue siliceuse. Les caractéristiques du produit sont indiquées au **Tableau 1**.

Tableau 1 : Composition chimique des phosphates naturels de Tahoua [11]

Eléments majeurs	%	Eléments traces	%
CaO	43,12	Ti	0,050
P ₂ O ₅	31,24	Nd	0,043
Fe ₂ O ₃	8,68	Sr	0,043
Al ₂ O ₃	1,84	Zn	0,014
Na ₂ O	0,26	As	0,007
K ₂ O	0,12	Ni	0,006
Y ₂ O ₃	0,16	U	0,003
MgO	0,20	Ba	0,002
MnO	0,10	Cr	0,002
Si ₂ O	8,00	Pb	0,008
		Cu	0,005
		Cd	0,003

2-2. Préparation des phosphocomposts

Pour élaborer le tas de compost C, contenant 100 % de matière organique, nous avons mélangé 38,88 % de paille séchée, 33,33 % de la jacente d'eau fraîche et 27,77 % de fumier de vache. Pour les phosphocomposts (C₅ et C₁₀) nous avons gardé qualitativement la même composition de la matière organique que celle du compost pur. Cependant on a procédé à des ajouts du minerai de phosphate naturel de Tahoua dans les proportions suivantes :

- C₅ : 5 % de la poudre de phosphate naturel sont ajoutés à 95 % de matière organique constituée de 36,94 % de paille séchée, 31,66 % de jacente d'eau et 26,38 % de fumier de vache ;
- C₁₀ : 10 % de la poudre de phosphate naturel sont ajoutés à 90 % de la matière organique contenant 35 % de paille séchée, 30 % de jacente d'eau et 25 % de fumier de vache.

Le **Tableau 2** présente les quantités en kg de la matière utilisées.

Tableau 2 : Composition des mélanges utilisés au cours du compostage

Composition	Paille (kg)	Fumier (kg)	Jacente (kg)	Phosphate (kg)	eau (%)
Compost pur C	90	64	77	-	56
Compost C ₅	67,99	49,25	60	9,25	52
Compost C ₁₀	68,75	49,25	60,50	19,50	50

Les mélanges sont mis en fermentation aérobie pendant 5 mois suivi de retournements réguliers toutes les deux semaines jusqu'à la maturation.

2-3. Analyses des paramètres physico-chimiques

2-3-1. Appareillage

Les appareils suivants sont utilisés au cours de ce travail :

- un spectrophotomètre d'absorption moléculaire pour le dosage du phosphore total et du phosphore assimilable ;

- une balance analytique pour la mesure des masses ;
- un four Carbolite pour la détermination du taux de matière organique.

Leurs caractéristiques sont indiquées au **Tableau 3**.

Tableau 3 : Caractéristiques des appareils utilisés

Appareils	Modèle	Producteur	Pays d'origine
Balance	Precisa 205 A	SWISS Quality	Switzerland
Spectrophotomètre	Jenway 6300	IMLAB	France
Four à calcination	Carbolite	Carbolite Gero	Allemagne

2-3-2. Mesure du pH et de la température

Une suspension de compost a été préparée en mélangeant 5 g de compost et 25 mL d'eau distillée. Après 10 minutes d'agitation et 30 minutes de repos, le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre de type HANNA. La mesure de la température est effectuée tout au long du processus du compostage à l'aide d'un thermomètre à affichage numérique jusqu'à la stabilisation.

2-3-3. Matière organique (MO)

Le taux de décomposition de la matière organique est déterminé par calcination de 5 g de compost sec à 550°C dans un four Carbolite pendant 4h (NF ISO 14235, NF U 44-160) [12].

2-3-4. Carbone organique total (COT)

La méthode de détermination du carbone organique total utilisée est celle de Walkley et Black [13]. Elle 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 (0,5 N) en présence de la ferroïne.

2-3-5. Dosage d'azote total NTK

La méthode utilisée est celle de Kjeldahl [13]. La matière organique azotée de l'échantillon est minéralisée sous l'action oxydante de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence du catalyseur kjeldahl. L'azote des composés organiques et minéraux est transformé en sulfate d'ammonium. Dans un distillateur d'azote, l'ion ammonium est ensuite déplacé par la soude 45 % et entraîné à la vapeur puis fixé par l'acide borique 2 % et enfin doser par l'acide sulfurique 0,025 N en présence de l'indicateur coloré.

2-3-6. Phosphore total et le phosphore assimilable

La détermination du phosphore passe d'abord par sa mise en solution, la formation et la réduction du complexe phosphomolybdate, puis son dosage par colorimétrie. La réduction du complexe se fait par l'acide ascorbique et s'accompagne d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des ions phosphates dans la solution. Sous l'action des acides minéraux concentrés on effectue une minéralisation pour la détermination du phosphore total et une extraction par des solutions chimiques pour le phosphore assimilable. Pour le dosage du phosphore total, la méthode de Dabin modifiée a été utilisée à la longueur d'onde de 882 nm à

l'aide d'un spectrophotomètre (JENWAY 6300) [13]. Pour le phosphore assimilable, la solution chimique d'extraction utilisée est un mélange de 1 mL de fluorure d'ammonium (1 N) et de 25 mL d'acide chlorhydrique (0,5 N) dissout dans 500 mL d'eau déminéralisée. Le dosage a été effectué en mesurant le pourcentage de la transmittance à la longueur d'onde de 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (JENWAY 6300) [13].

2-4. Effet des composts élaborés sur le rendement du mil cultivé sur un sol de la faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey (Niger)

Le site expérimental est un sol ferrugineux tropical de texture sableuse et pauvre en éléments nutritifs. C'est un ancien champ de culture de manioc (plante qui épuise le sol), sans apport de fertilisant et inexploité depuis 2012. C'est la variété améliorée du mil HKP (Hayni Kirey Précoce) qui a été utilisée dans cette étude. L'essai a été mené pendant la saison hivernale 2015 sur des parcelles de 20 m². Pour une meilleure reproductibilité des résultats, le dispositif expérimental est un bloc complet comportant 3 répétitions de chacun des traitements suivants:

- T₀ = Témoin (sans aucun apport de fertilisant) ;
- T₁ = 100 g de compost C par poquet appliqué à la micro-dose ;
- T₂ = 100 g de phosphocompost C₅ par poquet appliqué à la micro-dose ;
- T₃ = 100 g de phosphocompost C₁₀ par poquet appliqué à la micro-dose.

La micro-dose d'engrais organique appliquée au niveau de chaque parcelle élémentaire est équivalente à 1 tonne / hectare, à l'exception des parcelles témoin (0 tonne / hectare). L'efficacité agronomique (E.A) de ces amendements a été évaluée selon la **Formule** suivante :

$$E. A (\%) = \frac{\text{rendement } T_i - \text{rendement } T_0}{\text{rendement } T_0} \times 100 \quad (1)$$

3. Résultats et discussion

3-1. Paramètres physico-chimiques

Les résultats de ces analyses sont consignés dans le **Tableau 4**. L'évolution de la température observée dans les trois composts est pratiquement la même (**Figure 1**). Pendant les cinq premiers jours, la température augmente assez brusquement pour atteindre le maximum (53 à 55°C) au sixième jour. Puis la température redescend pour se stabiliser au tour de 30°C signifiant la fin de la dégradation active de la matière organique. Cette évolution peut être attribuée aux différentes phases de décomposition de la matière organique à savoir les phases d'échauffement, de refroidissement et de la maturation. Celle-ci est comparable à l'évolution obtenue lors du compostage des déchets agroalimentaires de Lomé [14].

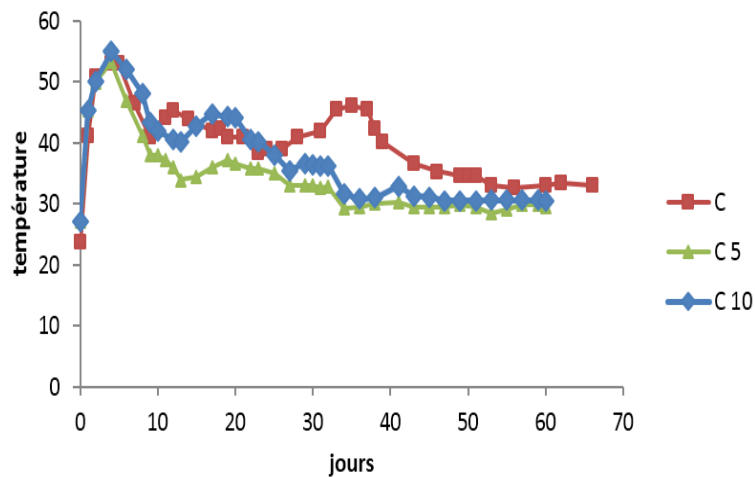


Figure 1 : Évolution de la température au cours du compostage

Le pH des composts C_5 et C_{10} sont respectivement 8,07 et 8,5 tandis que celui du compost C (compost témoin) est de 9,38. Ces pH montrent que les composts obtenus sont basiques. L'ajout de la poudre du phosphate naturel diminue le pH des composts. Cette diminution serait due au pouvoir complexant des cations métalliques du minerai de phosphate par les groupements carboxyliques et hydroxyles des acides humiques présents dans le milieu avec libération des protons H^+ selon le mécanisme suivant :

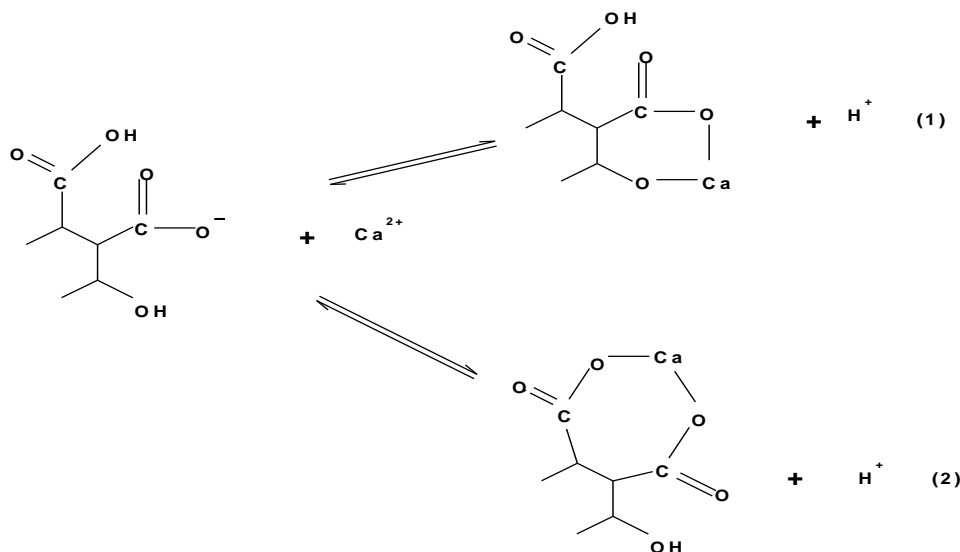


Figure 2 : Mécanisme de complexation des ions métalliques par les groupements fonctionnels des substances humiques [15]

Le taux de décomposition de la matière organique est de 29,38 % dans le compost C contre 41,54 % et 44,16 % respectivement dans les composts C_5 et C_{10} . La teneur en matière organique obtenue dans ces composts augmente par ajout du minerai de phosphate naturel (**Figure 3**). L'intérêt de la matière organique sur l'alimentation minérale des plantes a été démontré. En effet, sa présence est primordiale pour maintenir la fertilité du sol et pour réduire les pertes de substances nutritives [14]. Elle est considérée comme un indicateur du potentiel de durabilité des écosystèmes de culture des savanes d'Afrique de l'Ouest [13]. Le taux du carbone organique total est de 20,45 % pour le compost C contre 19,75 % et 14,30 % respectivement pour le compost C_5 et C_{10} . La teneur en azote total est de 1,37 % et 0,97% respectivement dans les composts C_5 et C_{10} .

tandis que celle du compost C est de 1,34 %. La teneur en carbone organique total et celle d'azote total NTK ont permis de calculer le rapport C / N (carbone / azote) qui est un critère d'évaluation du degré de maturité d'un compost [16]. Les rapports C / N de 15,26 ; 14,41 et 14,74 respectivement dans le compost C, C₅ et C₁₀ se situent dans le domaine indiqué dans la littérature [14]. D'un point de vue théorique, ces valeurs peuvent montrer la maturité de ces composts. En effet au cours de la biodégradation de la matière organique, le rapport C / N diminue pour arriver généralement à des valeurs comprises entre 8 et 20 à la maturité [14]. La teneur en phosphore total en mg / kg de P₂O₅ est de 340,59 dans le compost C, 826,89 dans le compost C₅ et 1492,05 dans le compost C₁₀. La teneur en phosphore assimilable en mg / kg de P₂O₅ est de 301,29 et 273,90 respectivement pour les composts C₅ et C₁₀ tandis que celle du compost C est de 91,30. IL ressort de ces résultats que l'ajout du minerai de phosphate naturel dans la matière organique a augmenté la teneur en phosphore total des composts. Cette augmentation a amélioré la teneur en phosphore assimilable (*Figures 4, 5 et 6*). Le plus grand taux en phosphore assimilable (301,29 mg / kg) est obtenu avec le compost C₅. Dans le compost C₁₀ on observe une rétrogradation du taux de phosphore assimilable (273,9 mg / kg). Ce phénomène de rétrogradation peut être expliqué par le fait que le mélange optimal pour le phosphocompostage du phosphate naturel de Tahoua est de 5 %. Plus le taux du phosphate est grand, plus la solubilité diminue. La biodisponibilité du phosphore serait attribuée à l'oxydation biologique de la matière organique et au processus d'humification qui favorisent la dissolution des phosphates naturels [17].

3-2. Effet des composts élaborés sur le rendement du mil

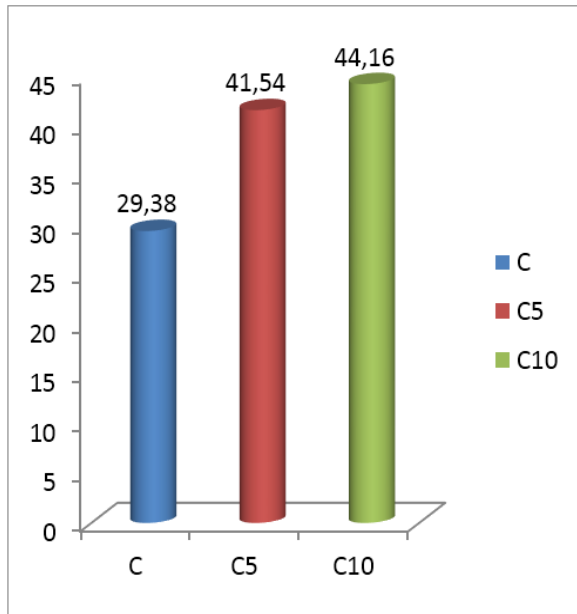
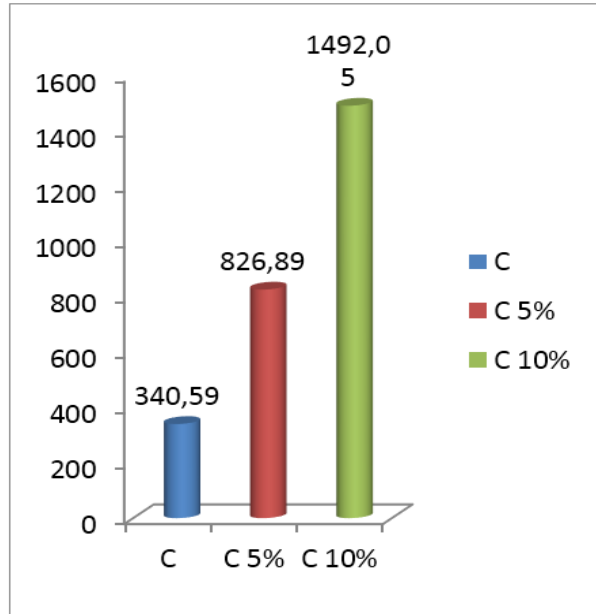
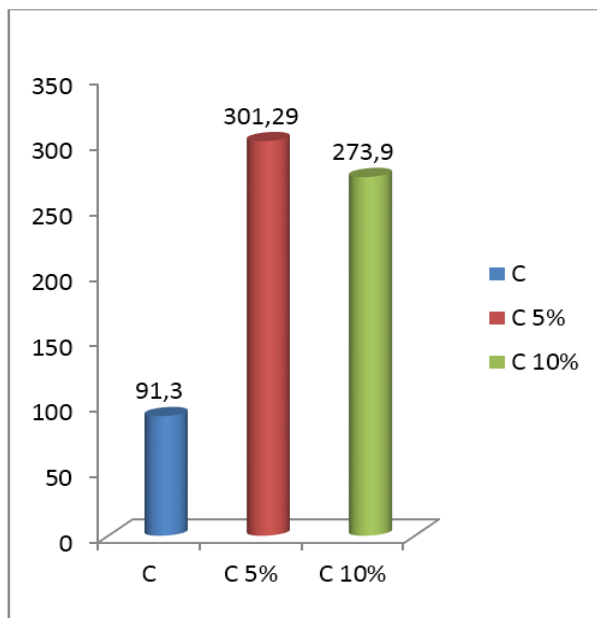
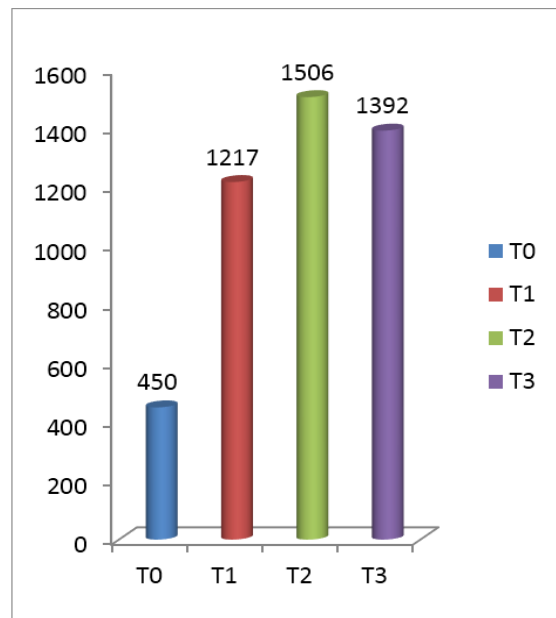
Les *Figures 7 à 10* montrent les photographies des différents traitements après 47 jours d'expérimentation. S'agissant de l'épiaison elle est apparue après 43 jours pour les traitements à la micro-dose T₁, T₂ et T₃ et 64 jours pour le témoin T₀ après semis. La récolte est intervenue après 91 jours après semis. L'apport des composts dans le sol à la micro-dose a significativement augmenté les rendements grains (1506 kg / ha pour le traitement T₂, 1392 kg / Ha pour T₃, 1217 kg / Ha pour T₁ contre 450 kg / Ha pour le témoin T₀). L'efficacité agronomique de ces composts est de 235,2 % pour le traitement T₂, 209,5 % pour T₃ et 170,7 % pour T₁. Ces résultats sont consignés dans le *Tableau 5*. On constate que la dissolution des phosphates naturels au cours de la biodégradation de la matière organique a augmenté l'efficacité agronomique des composts. Les rendements de production en grains de mil obtenus dans les traitements avec les phosphocomposts C₅ et C₁₀ sont supérieurs à celui du compost C. Ces rendements sont au moins trois fois plus élevés que celui du témoin T₀ (*Figure 11*). Ces résultats s'expliquent par le fait que les amendements organiques utilisés contiennent en quantité non négligeable des éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, éléments indispensable à la croissance et au développement de la plante [18]. La minéralisation de la forme organique du phosphore et les effets de la matière organique sur le phosphore du sol (la libération des quantités du phosphore sous forme disponible par le processus de décomposition de la matière organique) ont contribué à l'augmentation de la forme disponible du phosphore au cours de l'incubation. En effet, la stimulation de l'activité microbienne par la présence de la matière organique augmente la biodisponibilité du phosphore des sols [19, 20]. Ces résultats montrent l'effet bénéfique des phosphocomposts sur le rendement du mil.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des composts

Echantillons	C	C ₅	C ₁₀
pH	9,38 ± 0,02	8,07 ± 0,01	8,50 + 0,02
MO (%)	29,38	41,54	44,16
COT (%)	20,45	19,75	14,30
NTK (%)	1,34	1,37	0,97
C / N	15,26	14,41	14,74
P ₂ O ₅ total (mg / kg)	340,59	826,89	1492,05
P ₂ O ₅ assimilable (mg / kg)	91,30	301,29	273,90

Tableau 5 : Effets des composts sur la production du mil

Echantillons	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Rendements grains (kg / Ha)	450	1217	1506	1392
Efficacité Agronomique (%)	-	170,7	235,2	209,5

**Figure 3 : Taux de la matière organique dans les échantillons de composts****Figure 4 : Taux de phosphore total dans les échantillons de composts****Figure 5 : Taux de phosphore assimilable dans les échantillons de composts****Figure 6 : Rendement grain des différents traitements**

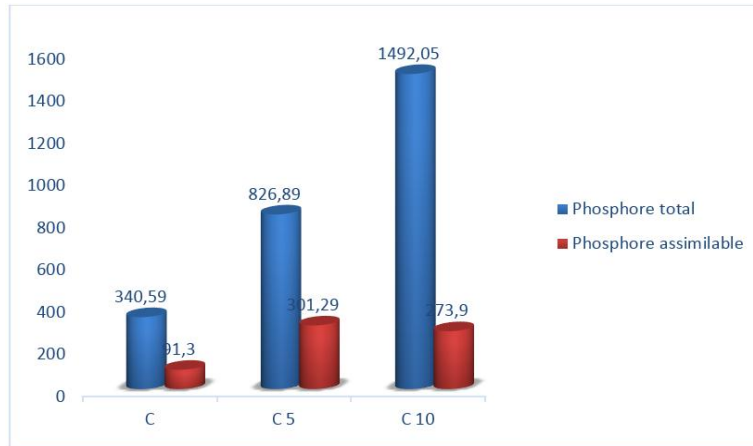


Figure 7 : *Étude comparée de l'évolution des phosphores totaux et assimilable*



Figure 8 : *Photo du traitement T0 après 47 jours de semence (témoin)*



Figure 9 : *Photo du traitement T1 après 47 jours de semence (pur)*



Figure 10 : *Photo du traitement T2 après 47 jours de semence (C5)*



Figure 11 : *Photo du traitement T3 après 47 jours de semence (C10)*

4. Conclusion

La dissolution du minerai de phosphate naturel au cours du compostage a été réalisée. L'ajout du minerai de phosphate dans la matière organique a augmenté la valeur fertilisante des composts. Les résultats obtenus ont permis de déterminer la teneur en matière organique, en azote, en phosphore total et assimilable. Les meilleurs résultats en substances nutritives (301,29 mg / kg pour le phosphore assimilable, 1,37 % pour NTK) sont obtenus avec le phosphocompost ayant 5 % de la poudre de phosphate. L'application agronomique sur le rendement du mil de ces produits a permis de confirmer ces résultats. En effet le meilleur rendement (1506 kg / Ha) est obtenu avec le phosphocompost C₅ soit trois fois plus élevé que celui du témoin (450 kg / Ha). Il ressort de ces travaux que le phosphocompostage est une technique prometteuse pour augmenter la solubilité des phosphates naturels et améliorer la biodisponibilité du phosphore. Il s'agit là d'une alternative crédible pour les agriculteurs de l'espace sahélien où le sol est lessivé pour espérer l'autosuffisance alimentaire.

Références

- [1] - Réseau National des chambres d'Agriculture du Niger, Phosphates / la recherche insiste depuis 40 ans sur ce facteur limitant de l'agriculture, note d'information, N°20 (2012)
- [2] - Z. HAMIDOU, S. MAHAMANE, H. NACRO, N. H. BISMARCK, V. B. BOUBIE, F. LOMPO, A. BATIONO, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (2014) 1620 - 1632
- [3] - FAO, Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable, édition de F. Zapata et R. N. Roy, Rome, (2004)
- [4] - B. MUEHLIGVERSEN, A. BUERKERT, A. BATIONO, *Expl. Agric.*, 39 (2003) 307 - 325
- [5] - M. TRAORE, H. B. NACRO, W. F. DOAMBA, R. TABO, A. NIKIEMA, *Tropicultura*, 33 (2015) 19 - 25
- [6] - B. KOULIBALY, O. TRAORÉ, D. DAKUO, P.N. ZOMBRÉ, D. BONDÉ, *Tropicultura*, 28 (2010) 184 - 189
- [7] - N. B. DERLA, J. JEAN-YVES, B. SEINY, F. CHRISTIAN, <hal-00142215>, (2003)
- [8] - M. INCKEL, T. TERSMETTE, T. VELDKAMP, *Agrodok*, N° 8 (2005)
- [9] - S. TCHEGUENI, A. K. KOFFI, M. BODJONA, M. KORIKO, M. HAFIDI, G. BABA, G. TCHANGBEDJI, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6 (3) (2012) 1381 - 1389
- [10] - K. E. KOLEDZI, G. BABA, G. TCHANGBEDJI, G. K. AGBEKO, G. MATEJKA, G. FEUILLADE, J. BOWEN, *Asian j. appl. Sci.*, 4 (4) (2011) 378 - 391
- [11] - I. NATATOU, Z. ADAMOU, K. IKHIRI, A. BOOS, J. GUILLE, F. RASTEGAR, M. BURGARD, *Ann. Chim. Sci. Mat.*, 30 (1) (2005) 67 - 76
- [12] - A. F. NOR NF U 44-160, Amendements organiques et Supports de culture -Détermination de la matière organique totale - Méthode par calcination, (1985)
- [13] - C. MATHIEU et F. PIETTAIN, Analyse chimique des sols : méthodes choisies, Ed. Tec & Doc, Paris, France, (2003)
- [14] - 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)
- [15] - M. KORIKO, A. ZANGUINA, G. TCHANGBEDJI, M. EL MERAY, I. NATATOU, M. HAFIDI, M. SARAKHA, *J. Soc. Ovest-Afr. Chim.*, 030 (2010) 41 - 47
- [16] - M. P. BERNARD, C. PAREDES, J. CEGARRA, A. ROIG, M. A. SANCHEZ-MONEDERO, *Bioressour. Technol.*, 63 (1998) 91 - 99

- [17] - M. KORIKO, Extraction, caractérisation, réactivité chimique des substances humiques naturelles avec les phosphates de Hahotoe-Kpogamé et leurs propriétés photodégradantes, *Thèse*, Université de Lomé, Togo, (2010)
- [18] - I. K. BALAGIZI, A. CHIFIZI, E. M. BAGULA, J. M. CIZUNGU, T. M. ADHAMA, P. M. MASILYA, M. ISUMBISHO, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*
- [19] - S. TCHEGUENI, S. KOKOU, B. MAGNOUDEWA, D. KOKOU, K. A. KOFFI, G. TCHANGBEDJI, G. BABA, *Eur. J. Sci.*, 10 (6) (2014) 1857 - 7881
- [20] - M. TAKEDA, T. NAKAMOTO, K. MIYAZAWA, T. MURAYAMA, H. OKADA, *Appl. Soil. Ecol.*, 42 (2) (2009) 86 - 95