

Vingt-deuxième article : **Amélioration de la solubilisation des phosphates naturels de faible réactivité par phosphocompostage à base de fumier**

Par : K. A. Ablede, K. Koudjega et K. K. Ganyo

Pages (pp.) 175-181.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) - *Numéro Spécial Productions Végétales, Animales et Halieutiques, Économie Rurale, Sociologie Rurale, Agronomie, Environnement, Développement Durable & Sécurité Alimentaire de l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) – Octobre 2019*

Le BRAB est en ligne (on line) sur les sites web <http://www.slire.net> & <http://www.inrab.org>

ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Centre de Recherches Agricoles à vocation nationale basé à Agonkanmey (CRA-Agonkanmey)

Programme Information Scientifique et Biométrie (PIS-B)

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél.: (229) 21 30 02 64 / 21 13 38 70 / 21 03 40 59 ; E-mail : brabinrab@yahoo.fr / craagonkanmey@yahoo.fr

Amélioration de la solubilisation des phosphates naturels de faible réactivité par phosphocompostage à base de fumier

K. A. Ablede⁴⁴, K. Koudjega⁴⁵ et K. K. Ganyo⁴⁶

Résumé

La faible réactivité des phosphates naturels constitue un véritable obstacle à leur utilisation comme fertilisants dans les petites exploitations agricoles d'Afrique subsaharienne. Trois types de fumier frais d'origine animale (fientes de volaille, bouse de vache et excréments de porcs) ont été incubés pendant 90 jours en mélange avec du phosphate naturel du Togo (PNT) et du Maroc (PNM) suivant deux ratios [fumier/phosphate = (1,5:1) et (2:1)] en vue d'obtenir du compost enrichi au phosphore. L'objectif de l'étude était d'évaluer le taux de solubilisation des phosphates naturels utilisés. Les résultats après la durée d'incubation ont montré que le phospho-compost à base de fientes de volaille a donné le taux le plus élevé de phosphore libéré, suivi des composts à base d'excréments de porc et de bouse de vache. Le plus important taux de libération de phosphore (2,84% P) a été enregistré au 45^{ème} jour d'incubation avec la combinaison fientes de volaille/PNM mélangée suivant la proportion (2:1). Le meilleur taux de phosphore libéré à partir du PNT (2,02% P) a été aussi obtenu avec de les fientes de volaille suivant le ratio (2:1) tandis que le ratio (1,5:1) n'a donné qu'un taux de 1,14% P. La solubilisation des phosphates naturels du Maroc et du Togo est améliorée lorsqu'ils sont mélangés avec de les fientes de volaille.

Mots-clés : Phosphates naturels du Togo et du Maroc, faible réactivité, phosphocompost, fumier.

Improving solubilisation of low reactive rock phosphates through phosphocomposting with animal manure

Abstract

The low reactivity of rock phosphates constitutes a serious constraint to their use as fertilizer in small scale farms in sub-Saharan Africa. Three types of fresh animal manure (poultry manure, cow dung and pig excrement) were incubated for 90 days with Togo (TRP) and Morocco rock phosphates (MRP) following two ratios [manure/rock phosphate = (1.5:1) and (2:1)] in order to produce enriched-P compost and to evaluate the solubility of rock phosphates used. After 90 days of incubation experiment, the results showed that poultry manure phosphocompost showed the highest P release, followed by pig excrement and cow dung composts. The highest P release (2.84% P) was obtained at day 45 with the combination poultry manure/MRP mixed at the ratio (2:1). The best P release obtained with TRP (2.02% P) was also obtained in mixture with poultry manure at the ratio (2:1) whereas the ratio (1.5:1) released only 1.14% P. Composting Morocco or Togo rock phosphates with manure improves the dissolution of P from the rock phosphates.

Key words: Togo and Morocco rock phosphates, low reactivity, phosphocompost, manure

INTRODUCTION

Le phosphore (P) est l'un des éléments nutritifs essentiels à la croissance et au développement des cultures. Il joue un rôle important dans la nutrition de la plante en permettant le développement racinaire, la vigueur, la floraison et la fructification rapides ainsi que l'amélioration de la résistance de la plante à la sécheresse et au froid (Brady et Weil, 2008). La déficience en P dans la plupart des sols tropicaux acides constitue l'une des principales contraintes biophysiques à l'augmentation des rendements des cultures (Sale et Mokwunye, 1993 ; Chien et Menon, 1995 ; Sanchez *et al.*, 1997). Par conséquent, de grandes quantités d'engrais phosphatés sont requises sur ces sols pauvres et dégradés pour l'obtention de rendements substantiels. Toutefois, les petits producteurs agricoles ne disposent que d'un accès limité aux engrais minéraux à cause notamment de leur coût élevé et de leur faible disponibilité. Pourtant, il existe en Afrique de larges sources de phosphore que sont les

⁴⁴ Dr. Ir. Komlan Adigninou ABLEDE, Direction scientifique (DS), Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA), BP 1163, Lomé, E-mail : komlan.ablede@gmail.com, Tél. : (+228)90263252, République du Togo

⁴⁵ Dr. Ir. Kossi KOU DJEGA, Centre de Recherche Agronomique du Littoral (CRAL-Davié/ITRA), BP 2318, E-mail : koudjeg@gmail.com, Tél. : (+228)90031197, République du Togo

⁴⁶ Dr. Ir. Komla Kyky GANYO, Direction des laboratoires (DL/ITRA), BP 1163, Lomé, E-mail : desireganyo@gmail.com, Tél. : (+228)90072680, République du Togo

phosphates naturels. Malheureusement, les phosphates naturels provenant des gisements présents en Afrique présentent une faible réactivité et, de ce fait, ne sont en général pas appropriés pour une application directe sur les cultures (Vassilev *et al.*, 2001). La réactivité des phosphates naturels est leur aptitude à dissoudre et à libérer le phosphore au profit de la plante. Sur la base du test de solubilité à l'acide citrique ou à l'acide formique, le phosphate naturel de Gafsa (Tunisie) est classé comme étant de réactivité élevée, celui de Khouribga (Maroc) est de réactivité moyenne tandis que ceux du Niger et du Togo ont une faible réactivité. Les phosphates naturels de Hahotoé (Togo) qui renferment jusqu'à 36% phosphore sous forme de P_2O_5 , ne présentent qu'une solubilité de 7% (IFDC, 2003 ; Van Kauwenbergh, 2010).

L'utilisation des phosphates naturels de faible réactivité peut constituer une alternative aux engrais minéraux phosphatés solubles si la difficulté de faible solubilité est résolue. Diverses techniques innovantes permettant d'améliorer la solubilité des phosphates naturels notamment l'acidification partielle, le traitement thermique, l'activation mécanique (compaction des phosphates ou mélanges secs avec des engrais minéraux solubles), les procédés biologiques (utilisation de microorganismes solubilisateurs ou de géotypes de plantes), etc. ont été investiguées (Chien, 2009 ; Loutou, 2015 ; Anand *et al.*, 2016 ; Beura *et al.*, 2016). Bien qu'il existe différentes options pouvant permettre de libérer le phosphore des phosphates naturels et le rendre disponible à la plante, celles adaptées aux petits producteurs agricoles restent très limitées.

Des techniques pratiques et peu coûteuses de solubilisation des phosphates naturels nécessitent d'être développées au niveau des petites exploitations agricoles. Le phospho-compostage peut être une voie simple et pratique d'amélioration et de valorisation du phosphate naturel pour son utilisation dans la fertilisation des cultures. Le phospho-compost offre non seulement l'avantage de fournir du phosphore soluble aux plantes mais aussi constitue une source importante de matière organique pour le sol. Très peu d'études au Togo ont abordé l'influence de la décomposition des déjections animales sur la solubilisation des phosphates naturels.

L'objectif de l'étude était d'améliorer la disponibilité du phosphore à partir des phosphates naturels à travers leur compostage avec différentes sources de matière organique d'origine animale.

MATERIELS ET METHODES

Site d'étude, collecte et caractérisation des matériaux de compostage

L'expérimentation a été réalisée en 2017 à la ferme agro pédagogique (*SINNA garden*) du Department of Crop science de l'Université du Ghana à Accra. Différents types de fumure organique d'origine animale : bouse de vache (**BV**), excréments de porcs (**EP**) et fientes de volaille (**FV**) ont été collectées au centre de recherche animale de l'Université du Ghana sis à Nungua (Accra). Les caractéristiques chimiques notamment, le pH [(1:5); (fumier: eau)], le carbone total (digestion acide de Walkley-Black), l'azote et le phosphore total (digestion de Kjeldahl) ainsi que le phosphore assimilable (Olsen) ont été déterminées dans les différentes sources de fumure organique utilisées. En outre, les caractéristiques (pH, phosphore total et assimilable) des phosphates naturels du Maroc et du Togo ont été également déterminées. Les différentes déjections ont été séchées à l'air, broyées et passées au tamis de 2 mm. Les phosphates naturels (PN) ont aussi été séchés à l'air et les granules de taille inférieure à 2 mm ont été obtenus par tamisage.

Mise en place des traitements et dispositif expérimental

Les déjections animales ont été chacune soigneusement et uniformément mélangées aux phosphates naturels du Togo (PNT) et du Maroc (PNM) suivant deux différentes proportions et les produits mélangés ont été placés dans des pots en plastique (Figure 1). Les mélanges fumier/phosphate naturel étaient faits sur la base des ratios [1,5:1], i.e. 300 g de fumure pour 200 g de phosphate naturel et [2:1], i.e. 400 g de fumure pour 200 g de phosphate naturel. Dix-huit traitements issus de la combinaison de 3 niveaux de *type de fumier* × 2 niveaux de *dose de fumier* × 3 niveaux de *2 types de PN + 1 contrôle sans PN* ont été définis (Tableau 1). Les traitements étaient répartis suivant un dispositif complètement aléatoire avec 3 répétitions.



Figure 1. Mélange de PNT et de fientes de volaille (a) et pots en plastique contenant du phospho-compost (b)

Tableau 1. Traitements de l'expérimentation

Phosphate naturel	Bouse de vache (BV)		Fientes de Volaille (FV)		Excréments de Porcs (EP)	
	300 g	400 g	300 g	400 g	300 g	400 g
0 g PN	Ctrl BV ₃₀₀	Ctrl BV ₄₀₀	Ctrl FV ₃₀₀	Ctrl FV ₄₀₀	Ctrl EP ₃₀₀	Ctrl EP ₄₀₀
200 g PNT	BV × PNT [1.5:1]	BV × PNT [2:1]	FV × PNT [1.5:1]	FV × PNT [2:1]	EP × PNT [1.5:1]	EP × PNT [2:1]
200 g PNM	BV × PNM [1.5:1]	BV × PNM [2:1]	FV × PNM [1.5:1]	FV × PNM [2:1]	EP × PNM [1.5:1]	EP × PNM [2:1]

Ctrl = Contrôle ; PNT = Phosphate Naturel du Togo ; PNM = Phosphate Naturel du Maroc.

Collecte de données

Tous les mélanges fumier/phosphate naturel ont été mis en incubation pendant 90 jours. Des additions d'eau ont été faites aux mélanges pendant toute la durée de l'expérimentation de manière à maintenir un taux d'humidité entre 50 et 60%. Le pH, la température et le taux d'humidité des différents phospho-composts étaient relevés chaque semaine. Des échantillons de phospho-compost ont été prélevés tous les 15 jours en vue de la détermination du phosphore assimilable (Olsen P) pour le suivi de la solubilisation. Vingt-cinq (25) mL d'une solution de 0,5 M NaHCO₃ (ajustée au pH 8,5) ont été ajoutés à 0,5 g d'échantillon de phospho-compost. Le mélange a été agité pendant 30 minutes et filtré à travers du papier filtre Whatman N° 42. La teneur en phosphore du filtrat a été déterminée par spectrophotométrie (Spectroquant Pharo 300 M).

Le pourcentage de phosphore libéré par le phosphate naturel après une durée déterminée du processus de compostage a été calculé en utilisant l'équation suivante :

$$P \text{ libéré (\%)} = \frac{P_{\text{assimilable (phosphate naturel + fumier)}} - P_{\text{assimilable (fumier)}}}{P_{\text{total (phosphate naturel)}}} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Où : P libéré (%) = taux de phosphore assimilable libéré après un temps *t* de compostage ; P_{assimilable (phosphate naturel + fumier)} = Teneur du mélange phosphate + fumier en phosphore assimilable ; P_{assimilable (fumier)} = Teneur du fumier en phosphore assimilable ; P_{total (phosphate naturel)} = Teneur du phosphate naturel en phosphore total.

Analyses statistiques

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel Genstat. Le test de Duncan au seuil de 5% a été utilisé pour la discrimination des moyennes. Le tableur Excel a permis de générer les tableaux et les graphiques.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques chimiques des déjections et phosphates naturels utilisés

Les caractéristiques chimiques des déjections et des phosphates naturels utilisés comme matériaux bruts de compostage sont présentées dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Quelques caractéristiques physico-chimiques des fumures utilisées

Fumier	pH [(1:5)]*	Carbone total (% C)	Azote total (% N)	Phosphore	
				total (% P)	Assimilable(% P)
Bouse de vache	8,8	18,65	1,32	0,81	0,11
Excréments de porcs	8,4	29,07	1,37	2,11	0,15
Fientes de volaille	8,1	35,06	2,76	2,45	0,21

* Ratio fumier/eau

Tableau 3. Propriétés physico-chimiques des phosphates naturels utilisés

Phosphate naturel	pH [1:1]#	Phosphore		Calcium (% Ca)
		Total (% P ₂ O ₅)	assimilable [Olsen] (mg P kg ⁻¹)	
PNT	8,2	35,82	34	51
PNM	7,9	30,41	49	48,7

#ratio phosphate naturel/eau ; PNT = Phosphate naturel du Togo ; PNM = Phosphate naturel du Maroc

Les différentes déjections ont été toutes alcalines avec des valeurs de pH variant entre 8,1 (fientes de volaille) et 8,8 (bouse de vache). La plus forte teneur de phosphore total contenu dans les fumures organiques a été obtenue dans les fientes de volaille (2,45% P) et la plus faible (0,81% P) dans la bouse de vache. Le phosphore assimilable a varié entre 0,11% (bouse de vache) et 0,21% (bouse de vache). Les phosphates naturels utilisés (PNT et PNM) ont contenu 35,82 et 30,41% P₂O₅ de phosphore total et 51 et 48,7% de calcium, respectivement. Même si les teneurs en P total du PNT et du PNM sont un peu plus élevées que celles du phosphate naturel de Gafsa (Tunisie) qui est de 29% P₂O₅ de P total, ce dernier présente une meilleure solubilité dans l'acide formique (22,2% P₂O₅) contre une solubilité de 7% P₂O₅ pour le PNT et de 17,8 P₂O₅ pour le PNM (IFA, 2013).

Variation du pH dans le phospho-compost en fonction du temps d'incubation

La variation du pH dans le phospho-compost a suivi la même tendance quelque soit le type de combinaison phosphate naturel/fumier utilisé comme mélange de matériaux bruts de compostage. Dans les différents types de phospho-compost, il y a d'abord eu une diminution du pH durant les 30 premiers jours d'incubation (Figure 2). La chute du pH est due à l'intense activité des microorganismes qui ont intervenu dans la décomposition des matériaux durant la phase initiale du compostage avec pour conséquence la production et la libération d'acides organiques qui ont provoqué l'acidification du milieu (Stevenson, 1967; Adeleke *et al.*, 2017). A partir de 30-45 jours d'incubation, le pH a de nouveau accru pour se stabiliser autour de 7,5-8 (Figure 2). La remontée du pH est causée par la consommation des acides et la production d'ammonium qui sont des signes de maturation de compost. Des résultats similaires ont été obtenus par Beck-Friis *et al.* (2003) et Kumari *et al.* (2008).

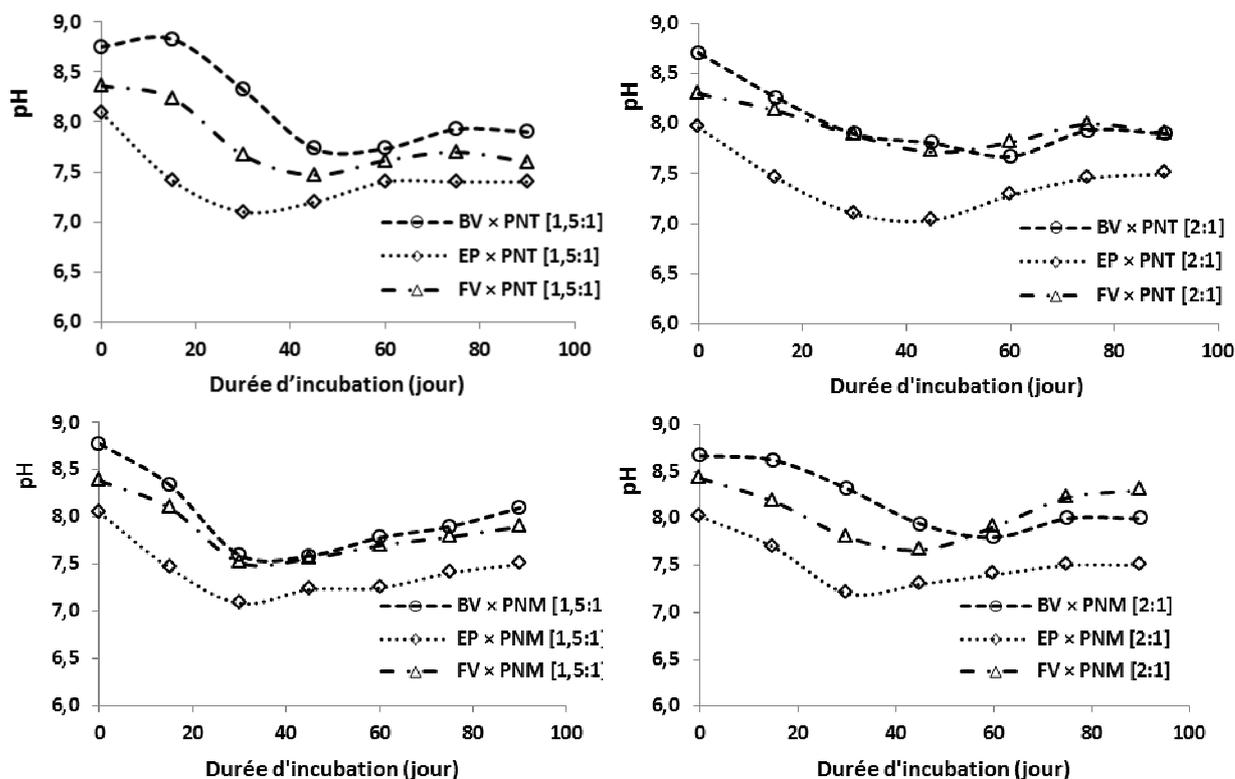


Figure 2. Variation du pH des phospho-composts en fonction de la durée d'incubation

Influence des types de fumier sur la dissolution des phosphates naturels

L'effet des différentes fumures utilisées sur la solubilisation des phosphates naturels a été évalué en termes de pourcentage de phosphore assimilable libéré à partir des différents phospho-composts en fonction du temps d'incubation (Tableau 4). Le phospho-compost à base de fientes de volaille (FV) a fourni, aussi bien avec le phosphate naturel du Maroc (PNM) que le phosphate naturel du Togo (PNT), les meilleurs taux de libération de phosphore avec des pourcentages de 2,84 et 1,74% de P libéré respectivement. Ces résultats ont confirmé ceux rapportés par Agyarko *et al.* (2016).

La bouse de vache a été le type de fumier le moins efficace dans la solubilisation des phosphates naturels. Les taux de phosphore libéré à partir des phosphates ont globalement décliné à partir du 60^{ème} jour d'incubation. Cette situation a mis en exergue la chute et la stabilisation de la quantité d'acides organiques produits au cours de la maturation du compost (Brinton, 1998 ; Kumari *et al.*, 2008).

Concernant les proportions de mélange fumier/phosphate naturel, le ratio [2:1] s'est révélé le plus efficace comparativement à la proportion [1,5:1], surtout à 45 et 60 jours d'incubation avec du phospho-compost à base de fientes de volaille. L'amélioration de la dissolution des phosphates due à l'augmentation de la quantité de fumier dans le mélange peut s'expliquer par la production d'une grande quantité d'acides organiques par les microorganismes suite à l'augmentation de la quantité de substrat disponible pour être dégradé (Horgan *et al.*, 2010).

Tableau 4. Pourcentage de phosphore libéré à partir des différents types de phospho-composts en fonction de la durée d'incubation

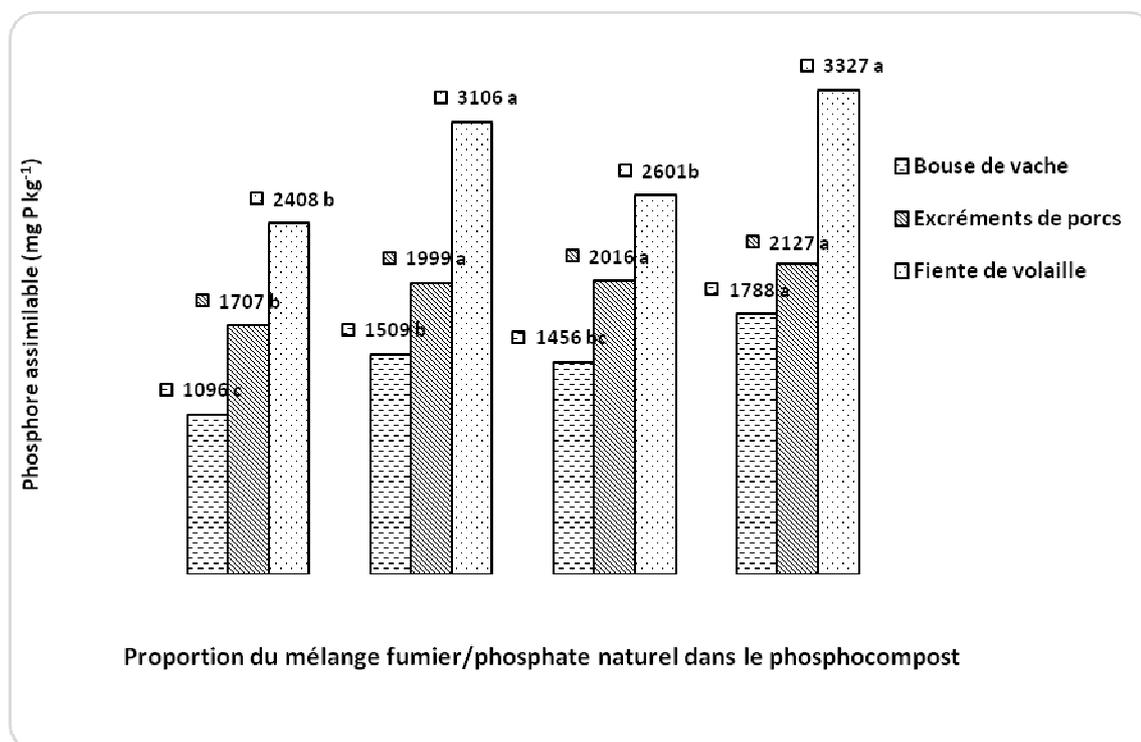
Phospho-compost	Durée d'incubation (jour)					
	15	30	45	60	75	90
BV × PNT [1,5:1]	0,29 ^d	0,03 ^d	0,45 ^d	0,14 ^{cd}	-0,19 ^{de}	-0,30 ^d
BV × PNT [2:1]	0,41 ^{cd}	0,09 ^d	0,56 ^{cd}	-0,21 ^d	0,08 ^{bc}	-0,23 ^{cd}
BV × PNM [1,5:1]	0,41 ^{cd}	0,32 ^c	0,62 ^{cd}	0,29 ^c	0,12 ^b	-0,31 ^d

Phospho-compost	Durée d'incubation (jour)					
	15	30	45	60	75	90
BV × PNM [2:1]	0,65 ^c	0,29 ^c	0,73 ^{cd}	-0,13 ^d	-0,10 ^d	-0,35 ^d
EP × PNT [1.5:1]	0,30 ^d	0,28 ^c	0,76 ^{cd}	-0,22 ^d	-0,09 ^{cd}	-0,16 ^c
EP × PNT [2:1]	0,30 ^d	0,28 ^c	0,76 ^{cd}	-0,07 ^d	-0,09 ^{cd}	-0,08 ^{bc}
EP × PNM [1.5:1]	0,70 ^c	0,48 ^b	1,04 ^c	0,08 ^{cd}	-0,20 ^{de}	-0,11 ^c
EP × PNM [2:1]	1,25 ^b	0,80 ^a	0,73 ^{cd}	-0,26 ^d	-0,23 ^e	-0,16 ^c
FV × PNT [1.5:1]	0,50 ^{cd}	0,42 ^b	0,94 ^c	1,14 ^a	0,30 ^a	0,12 ^a
FV × PNT [2:1]	1,30 ^b	0,43 ^b	2,02 ^b	0,50 ^{bc}	0,01 ^c	0,01 ^b
FV × PNM [1.5:1]	1,27 ^b	0,72 ^a	1,74 ^b	0,67 ^b	0,03 ^{bc}	0,06 ^{ab}
FV × PNM [2:1]	1,74 ^a	0,47 ^b	2,84 ^a	0,17 ^{cd}	0,25 ^a	0,14 ^a
LSD $P=0.05$	0,4	0,6	0,2	0,36	0,13	0,11

BV = Bouse de vache ; EP = Excréments de porcs ; FV = Fientes de volaille ; PNT = Phosphate Naturel du Togo ; PNM = Phosphate Naturel du Maroc.

Au sein de la même colonne, les moyennes suivies de lettres similaires ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan au seuil de 5%.

À la fin du compostage, les différents types de fumier ont influé positivement sur la composition finale en phosphore assimilable des phospho-composts produits (Figure 3). La plus forte teneur en P assimilable ($3327 \text{ mg P kg}^{-1}$) a été enregistrée dans le phospho-compost obtenu avec le mélange fientes de volaille/phosphate naturel du Maroc suivant le ratio [2 :1]. Cette teneur en phosphore a été statistiquement identique au P assimilable du phospho-compost produit à base du mélange fientes de volaille/phosphate naturel du Togo suivant le même ratio. Le phospho-compost à base de bouse de vache renfermait les plus faibles taux de phosphore assimilable.



PNT = Phosphate Naturel du Togo ; PNM = Phosphate Naturel du Maroc

Figure 3. Effet des différents fumiers sur la teneur en phosphore assimilable du phospho-compost

CONCLUSION

Les fientes de volaille et les excréments de porc dans la solubilisation des phosphates naturels à partir du phospho-compostage est efficace après 90 jours d'incubation. Le compostage des phosphates naturels du Togo ou du Maroc avec les fientes de volaille ou les excréments de porc est une méthode permettant de fournir des sources de nutriments localement disponibles et moins chères aux petits producteurs agricoles d'Afrique de l'Ouest. Toutefois, des études complémentaires sont nécessaires en vue de tester l'efficacité des phospho-composts produits sur les cultures.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Programme de Productivité Agricole de l'Afrique de l'Ouest - Projet Togo (PPAAO-Togo) pour l'appui financier apporté dans la réalisation de cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adeleke, R., C. Nwangburuka, B. Oboirin, 2017: Origins, roles and fate of organic acids in soils: a review. *South African Journal of Botany*, 108, 393-406.
- Agyarko, K., A. A. Abunyewa, E. K. Asiedu, E. Heva, 2016: Dissolution of rock phosphate in animal manure soil amendment and lettuce growth. *Eurasian Journal of soil science*, 5(2), pp.84-88.
- Anand, K., B. Kumariand M. A. Mallick, 2016: Phosphate solubilizing microbes: an effective and alternative approach as biofertilizers. *J Pharm Pharm Sci*, 8, pp. 37-40.
- Beck-Friis, B., S. Smars, H. Jönsson, Y. Eklind, H. Kirchmann, 2003: Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: Gaining an understanding of the emission dynamics. *Compost Science & Utilization*, 11(1), 41-50.
- Beura, K., R. Padbhushan, A. K. Pradhan, N. Mandal, 2016: Partial acidulation of phosphate rock for enhanced phosphorus availability in alluvial soils of Bihar, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(3), pp.1393-1397.
- Brady, N.C., Weil, R.R., 2008: *The nature and properties of soils*. (Vol. 13). UpperSaddle River, NJ: Prentice Hall. 740 p.
- Brinton, W.F., 1998: Volatile organicacids in compost: production and odorant aspects. *Compost Science & Utilization*, 6(1), pp.75-82.
- Chien, S. H., Menon, R. G., 1995: Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fert. Res.*, 41: 227-234.
- Chien, S. H., L.I. Prochnow, A. H. Cantarella, 2009: Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in agronomy*, 102, pp. 267-322.
- Horgan, C. J., E. R. Coats, F. J. Loge, 2010: Assessing the effects of solids residence time and volatile fatty acid augmentation on biological phosphorus removal using real wastewater. *Water Environment Research*, 82(3), pp. 216-226.
- IFA (International FertilizerIndustry Association), 2013: Direct application of phosphate rock (DAPR). *Feeding the earth*, 4 p.
- IFDC (International Fertilizer Development Center), 2003: *Direct application of phosphate rock and related technology: latest experiences and practical experiences*, S.S.S. Rajan & S.H. Chien, eds. Proc. Int. Meeting, Kuala Lumpur, 16-20 July 2001. Muscle Shoals, USA, International Fertilizer Development Center. 441 p.
- Kumari, A., K. K. Kapoor, B. S. Kundu, R. Kumari Mehta, 2008: Identification of organic acids produced during rices traw decomposition and theirrole in rock phosphate solubilization. *Plant Soil and Environment*, 54(2), pp. 72-77.
- Loutou, M., 2015 : *Granulats à base de boues de phosphates: transformations thermiques, propriétés physiques et application*. Thèse de Doctorat, soutenue le 21-11-2015 à Toulon en cotutelle avec l'Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc). Faculté des sciences Semlalia, dans le cadre de École doctorale Mer et Sciences. ED 548 (Toulon), en partenariat avec Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence (IM2NP). UMR 7334 (Marseille, Bouches du Rhône) (laboratoire). 110 p.
- Sale, P.W.G., Mokwunye, A.U., 1993: Use of phosphate rocks in the tropics. *Fert. Res.*, 35: 33-45.
- Sanchez P. A., K. D. Shepherd, M.J. Soule, F. M.Place, R. J. Buresh, A. N. Izac, 1997: Soil fertility replenishment in Africa, pp. 1-46. Proceedings, SSSA Special Publication No. 51, Madison, WI: American Society of Agronomy, Indianapolis.
- Stevenson, F.J. 1967: Organic acids in soil. In D.A. McLaren and G.H. Peterson, eds. *Soil biochemistry*, pp. 119-146. New York, USA, Marcel Dekker Inc.
- Van Kauenbergh, S.J., 2010: *World phosphate rock reserves and resources*. Muscle Shoals: IFDC. 60 p.
- Vassilev, N., M.Vassileva, M. Fenice, F. Federici, 2001: Immobilized cell technology applied in solubilization of insoluble inorganic (rock) phosphates and P plant acquisition. *Bioresource Technology*, 79(3), pp.263-271.