

Influence des phosphates naturels et des mycorhizes à vésicules et à arbuscules sur la croissance et la nutrition minérale de *Zizyphus mauritiana* Lam. dans un sol à pH alcalin

Tiby Guissou^a, Amadou Moustapha Bâ^{a*}, Sita Guinko^b,
Robin Duponnois^c, Christian Plenchette^d

^aLaboratoire de microbiologie forestière, département des productions forestières, Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Centre national de la recherche scientifique et technologique, B.P. 7047, 03 Ouagadougou, Burkina-Faso

^bDépartement de biologie et d'écologie végétale, faculté des sciences et techniques, B.P. 7021, université de Ouagadougou, Burkina-Faso

^cLaboratoire de nématologie, Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom), B.P. 1386, Dakar, Sénégal

^dInra, station d'agronomie, 17 rue Sully, 21034, Dijon cedex, France

(Reçu le 10 mars 1997 ; accepté le 28 mai 1998)

Abstract – Rock phosphate and vesicular-arbuscular mycorrhiza effects on growth and mineral nutrition of *Zizyphus mauritiana* Lam. in an alkaline soil. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) and rock phosphate (RP) was studied on jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.), a multipurpose fruit tree in Sahelian agroforestry systems. Jujubes were inoculated or not by *Glomus manihotis* Howeler, Sieverding & Schenck in an alkaline sandy soil to which were added five levels of RP (12 % of P) : 0.00, 0.31, 0.62, 1.25 et 2.50 g P/kg of soil, equivalent to 0, 775, 1 550, 3 125 et 6 250 kg P ha⁻¹. The jujubes seedlings grew poorly without mycorrhizal colonization and without RP applications (*figures 1a, b*). Non-VAM jujubes were able to utilize P from PN efficiently (*figure 1g*). However, VAM jujubes with RP applications achieved better results in terms of height, biomass, concentrations of P and N in stem plus leaves. Mycorrhizal dependency varied from 78 % to 18 % when RP applications increased (*figure 1d*). Mycorrhizal colonization was comparable at all levels of RP applications and reached at least 80 % (*figure 1e*). There were not additive effects of inoculation and fertilization on total biomass of jujubes at any RP applications. However, mycorrhizal jujubes took up more P and N at 0.62 g P kg⁻¹ of soil and above. These results suggest that VAM are able to absorb P from soil and rock phosphate for a better mineral nutrition of jujubes. (© Inra/Elsevier, Paris.)

***Zizyphus mauritiana* / *Glomus manihotis* / rock phosphate / phosphorus uptake / alkaline soil**

* Correspondance et tirés à part: ISRA/Orstom, BP 1386, Dakar, Sénégal
e-mail : amadouba@belair.orstom.sn

Résumé – L'influence des mycorhizes à vésicules et à arbuscules (MVA) et du phosphate naturel tricalcique (PN) a été étudiée chez le jujubier (*Zizyphus mauritiana* Lam.), arbre fruitier à usages multiples dans les systèmes agroforestiers sahéliens. Des jujubiers inoculés ou non avec *Glomus manihotis* Howeler, Sieverding et Schenck ont été cultivés en pots dans un sol sableux à pH alcalin ayant reçu cinq doses de PN (12 % de P) : 0,00, 0,31, 0,62, 1,25 et 2,50 g de P kg⁻¹ de sol, soit l'équivalent respectivement de 0, 775, 1 550, 3 125 et 6 250 kg de P ha⁻¹. Les jujubiers non mycorhizés et non fertilisés ont montré la plus faible croissance. Les jujubiers non mycorhizés sont capables d'utiliser directement le PN. Cependant, l'utilisation du PN est plus efficace chez les jujubiers mycorhizés. En effet, la hauteur, la biomasse, la concentration en P et N dans les tiges feuillées sont significativement plus élevées chez les jujubiers mycorhizés. La dépendance mycorhizienne diminue de 78 % à 18 % lorsque le PN augmente. En revanche, les doses de PN n'ont pas d'influence sur l'intensité de mycorhization qui est d'au moins 80 %. Il n'y a pas d'effets additifs de l'inoculation et de la fertilisation sur la biomasse totale. Cependant, les jujubiers mycorhizés s'alimentent mieux en P et N à la dose optimale de 0,62 g de P kg⁻¹ de sol. Ces résultats suggèrent que les MVA sont capables de mobiliser le P du sol et du PN pour assurer une meilleure alimentation minérale des jujubiers. (© Inra/Elsevier, Paris.)

***Zizyphus mauritiana* / *Glomus manihotis* / phosphate naturel / nutrition phosphatée / sol alcalin**

1. INTRODUCTION

Les sols tropicaux sont caractérisés par une carence marquée en phosphore biodisponible [19]. En effet, moins de 1 % du phosphore total est assimilable par les plantes [7]. Cette faible disponibilité du phosphore dans la solution du sol limite considérablement la nutrition phosphatée des plantes et partant la productivité agricole et forestière [19]. Pour relever le niveau en P dans la solution du sol, on peut avoir recours à des apports de matière organique, d'engrais solubles et/ou à des phosphates naturels (PN). La quantité de matière organique recyclée dans le sol est généralement très faible et les engrais phosphatés non subventionnés sont inaccessibles aux paysans [17]. Dans ces conditions, l'utilisation des PN est à promouvoir en raison de l'importance des gisements d'Afrique de l'Ouest. Les réserves de PN de Kodjari du Burkina-Faso sont estimées à plus de 100 millions de tonnes [22]. Cependant, ce PN est peu disponible pour les plantes. Il a été démontré qu'il est mieux utilisé par les plantes agricoles en présence de mycorhizes à vésicules et à arbuscules (MVA) [18].

Dans un contexte de baisse de la fertilité des sols, l'utilisation des PN connaît un regain d'intérêt en Afrique de l'Ouest [21]. Des opérations de phosphatage de fond à grande échelle sont actuellement conduites en milieu paysan pour reconstituer des réserves en P des sols agricoles. Les conditions d'utilisation des PN restent cependant peu connues en sylviculture même si quelques résultats encourageants sont déjà disponibles [2, 4, 12]. De plus, on sait que les PN ne sont pas solubilisés dans des sols à pH faiblement acide à alcalin répandus en Afrique de l'Ouest. C'est pourquoi, il nous a paru intéressant d'étudier dans un sol alcalin l'influence des PN et des MVA sur la croissance et la nutrition minérale de *Zizyphus mauritiana* Lam., arbre fruitier à usages multiples communément appelé jujubier et dont l'importance est considérable dans les systèmes agroforestiers sahéliens.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cette expérience a été réalisée dans un sol à pH alcalin et pauvre en phosphore assimilable. Le sol a été tamisé (2 mm) et désinfecté par auto-

clavage (1 h à 120 °C) pour éliminer la microflore native. La composition physico-chimique du sol est comme suit : 6 % d'argile, 6 % de limon, 86 % de sable, 0,6 % de matière organique, 0,3 % de carbone total, 0,05 % d'azote total, rapport C/N de 7,98 ppm de phosphore total, 2,18 ppm de phosphore assimilable (Bray-1), pH (H₂O 1:2) de 7,4 et pH (KCl 1:2) de 6,6.

Le phosphate naturel tricalcique est originaire du gisement de Kodjari (Province de la Tapoa, Burkina-Faso). Il a été utilisé sous sa forme pulvérulente ou Burkina Phosphate (B.P. à 12 % de P et 90 % du broyat est de granulométrie inférieure à 90 µm) et mélangé au sol à cinq doses : 0,00, 0,31, 0,62, 1,25 et 2,50 g de P kg⁻¹ de sol, soit l'équivalent respectivement de 0,775, 1.550, 3125 et 6250 kg de P/ha sur 30 cm de profondeur. Le mélange a été distribué à raison de 2,2 kg par sachet en polyéthylène.

Nous avons utilisé un champignon endomycorhizien *Glomus manihotis* Howeler, Sieverding & Schenck (isolat IR 15) isolé dans une plantation d'*Acacia mangium* au Burkina-Faso et multiplié sur du mil [3]. L'inoculum est constitué d'un mélange de sable, de fragments de racines de mil, de spores et d'hyphes. L'inoculation a consisté à apporter 20 g de ce mélange en poids sec par sachet, soit environ 1 000 propagules viables [10]. Les jujubiers non inoculés ont reçu 2 mL d'eau de lavage de l'inoculum filtré avec du papier Whatman n°1 et la même quantité d'inoculum autoclavé.

Des graines de *Zizyphus mauritiana* Lam. (provenance Lery, lot N° 1774) fournies par le Centre national des semences forestières (CNSF, Burkina-Faso) ont été désinfectées avec de l'acide sulfurique à 95 % pendant 15 min. Elles ont été rincées abondamment à l'eau distillée stérile et laissées tremper pendant 24 h. Les graines sont prégermées dans des boîtes de Pétri sur du coton hydrophile stérile pendant 3 j à 30 °C. Elles sont ensuite repiquées à raison de deux graines par sachet. Au bout d'une semaine, une seule plantule a été conservée dans chaque sachet.

Le dispositif expérimental est de type factoriel à deux facteurs (fertilisation et inoculation) en randomisation totale. Le facteur fertilisation est à cinq niveaux et le facteur inoculation à deux niveaux. Nous avons en tout dix traitements répétés chacun douze fois. L'essai a été conduit pendant 4 mois à l'abri de la pluie, à la température et à la lumière du jour (photopériode d'environ 12 h, température moyenne jour de 35 °C et intensité lumineuse maximale de 196 watts/m²). Des variables de croissance (hauteur et biomasse totale) et de nutrition minérale (P, N et K totaux

des tiges feuillées) ont été mesurées en fin d'expérience. L'intensité de mycorhization a été évaluée selon la méthode de [13]. La dépendance mycorhizienne du jujubier a été évaluée suivant la formule de [20]. L'azote a été déterminé par la méthode de Kjeldahl, le phosphore par la méthode de [16] et le potassium par spectrophotométrie de flamme (analyses réalisées au laboratoire du Pr. S Guinko). Les données ont été soumises à une analyse de variance et les moyennes ont été comparées avec le test de Newman Keuls au seuil de probabilité de 5 % [6].

3. RÉSULTATS

Comme indiqué dans le *tableau I*, l'addition de PN n'a pas modifié le pH du sol juste après le mélange. Cependant, le P total et le P assimilable augmentent avec la dose de PN.

L'analyse de variance indique que l'interaction entre les facteurs fertilisation et inoculation est significative ($p < 5 \%$) pour toutes les variables mesurées. Chez les jujubiers non inoculés, la hauteur et la biomasse totale augmentent significativement avec la dose de PN (*figures 1a, b*). Le rapport racine/tige est au-dessus de 1 (*figure 1c*). Les concentrations en N et K dans les tiges feuillées des jujubiers n'augmentent pas avec la dose de PN (*figures 1f, h*). Cependant, la concentration en P augmente de façon marquée avec la plus forte dose de PN (*figure 1g*).

Tableau I. Variations de la teneur en P du sol en fonction des doses de PN.

| Doses de B.P. (g de P/kg sol) | pH _{eau} | P total (ppm) | P assimilable Bray-1 (ppm) |
|----------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 7,46 | 98 | 2,18 |
| 0,31 | 7,48 | 263 | 2,62 |
| 0,62 | 7,47 | 480 | 5,68 |
| 1,25 | 7,47 | 710 | 10,92 |
| 2,50 | 7,48 | 870 | 18,77 |

Chez les jujubiers inoculés, la hauteur et la biomasse totale n'augmentent pas significativement avec la dose de PN (figures 1a, b). Le rapport racine/tige est en dessous de 1 quelle que soit la dose de PN (figure 1c). La dépendance mycorhizienne varie de 78 % à 18 % et diminue d'autant plus que la dose de PN augmente (figure 1d). Le taux de mycorhization des jujubiers est en revanche à peu près le même quelle que soit la dose de PN (figure 1e). Les témoins non inoculés ne sont pas contaminés.

Il apparaît que la hauteur et la biomasse des jujubiers mycorhizés sont bien supérieures à celles des jujubiers non mycorhizés (figures 1a, b). En revanche, le rapport racine/tige des jujubiers mycorhizés diminue significativement en particulier aux trois plus faibles doses de PN (figure 1c). Les concentrations en N et P augmentent nettement dans les tiges feuillées des jujubiers mycorhizés comparés aux jujubiers non mycorhizés. En revanche, la concentration en K est la même que les jujubiers soient mycorhizés ou non (figure 1h).

4. DISCUSSIONS

En application directe, le PN de Kodjari a un effet bénéfique sur la plupart des plantes cultivées dans des sols acides [14]. Cependant, ce phosphate a une faible réactivité dans les sols faiblement acides à alcalins comme la plupart des PN [9]. La réactivité de ce PN dépend également de ses caractéristiques intrinsèques (minéralogie, dose...), des minéraux du sol (P assimilable, Ca...), du statut mycorhizien et de la microflore rhizosphérique [2, 4, 5, 18, 22].

L'intensité de l'infection mycorhization n'est pas affectée par les plus fortes doses de PN. Pourtant, il est vérifié qu'une partie significative de ce PN est solubilisée et utilisée par les jujubiers mycorhizés. Ceci suggère que *G. manihotis* serait tolérant aux fortes doses de PN bien que cet isolat ait été isolé dans un sol carencé en P assimilable [3]. Des résultats comparables ont été obtenus

sur *Leucaena leucocephala* fertilisée avec de fortes doses de PN et inoculée avec *Glomus aggregatum* [14].

Nos résultats indiquent que la biomasse totale des jujubiers non inoculés augmente avec la dose de PN comparés aux jujubiers non inoculés et non fertilisés. La concentration en P des tiges feuillées est significativement accrue à la plus forte dose de PN. Ces résultats suggèrent que les jujubiers non inoculés sont capables d'utiliser directement le P disponible du sol et du PN. En effet, le phosphore assimilable du mélange sol et PN augmente avec la dose de PN. Ceci indique qu'une fraction du P du PN est solubilisé dans un sol pourtant peu favorable à sa dissolution. De plus, il est bien établi que la plante peut excréter des acides organiques qui augmentent la dissolution des PN dans le sol [8]. Cependant, les résultats obtenus sur la capacité des plantes à utiliser directement les PN restent encore assez contradictoires. Certaines plantes comme *Vigna unguiculata*, *Faidherbia albida*, *Lotus pedunculata* utilisent directement les PN [4, 8, 11] alors que d'autres comme *Leucaena leucocephala* et *Citrus limonia* ne les mobilisent pas [1, 15].

La croissance du jujubier est très faible en l'absence de MVA et de PN. Ceci confirme que le jujubier est une espèce hautement dépendante des MVA [10]. Cette dépendance mycorhizienne diminue lorsque la dose de PN augmente. L'utilisation du PN est plus efficace chez les jujubiers inoculés que chez les jujubiers non inoculés quelle que soit la dose utilisée. C'est l'absorption du P du sol et du PN et dans une moindre mesure le N qui contribuent à la croissance des jujubiers mycorhizés. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par de nombreux travaux [1, 4, 15]. L'hypothèse la plus couramment admise est que les MVA ont une plus grande capacité d'absorption du P que les plantes non mycorhizés grâce au réseau d'hyphes extramatricielles qu'elles développent et qui leur permet d'explorer un volume de sol plus important [7]. Parmi les jujubiers inoculés, il apparaît que la crois-

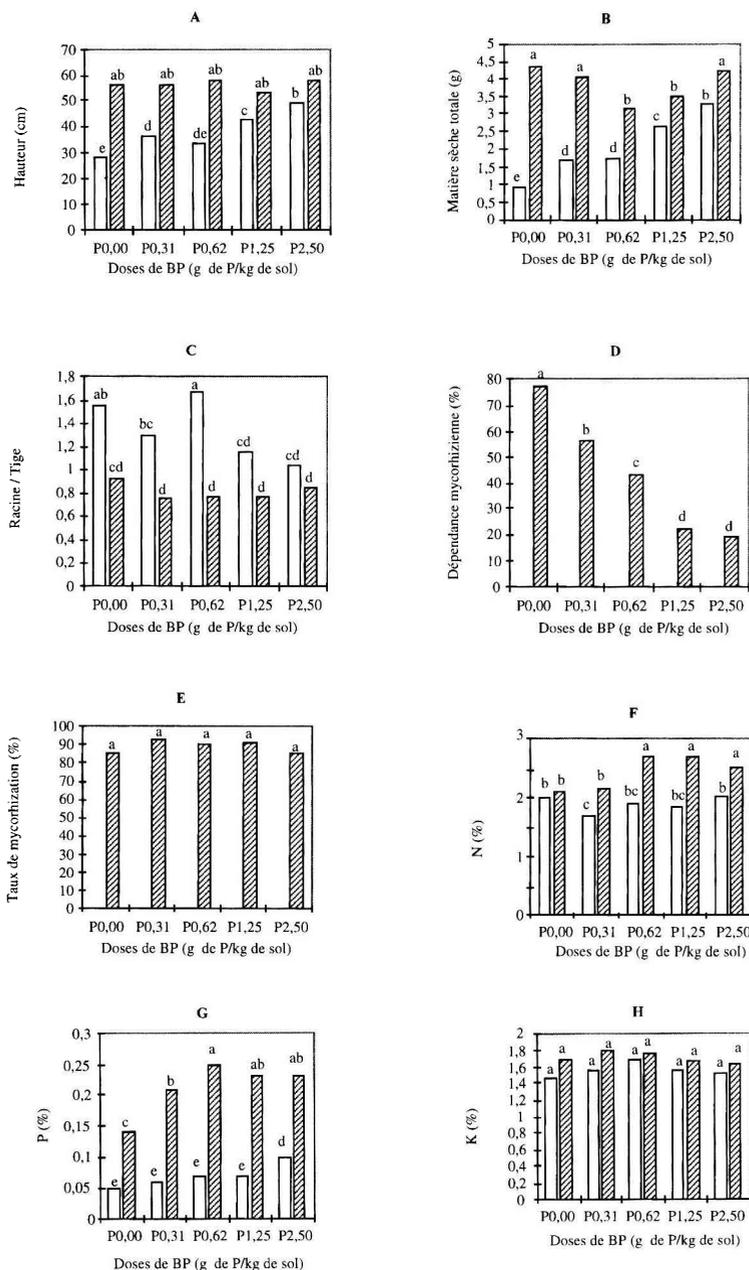


Figure 1. Effets de l'inoculation avec *Glomus manihotis* et de la fertilisation avec différentes doses de phosphate naturel sur la hauteur **a.** la biomasse ; **b.** le rapport racine/tige ; **c.** la dépendance mycorhizienne ; **d.** le taux de mycorhization ; **e.** la concentration en N ; **f.** **p.** et K ; **h.** des jujubiers âgés de 4 mois. Les colonnes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %. P_{0,00} : sans apport de PN ; P_{0,31} : 0,31 g kg⁻¹ ; P_{0,62} : 0,62 g kg⁻¹ ; P_{1,25} : 1,25 g kg⁻¹ ; P_{2,50} : 2,50 g kg⁻¹. *Zizyphus mauritiana* inoculée (▨) ou non (□) avec *Glomus manihotis*.

sance ne varie guère mais que l'absorption du P et N dans les tiges feuillées est maximale à la dose de 0,62 g de P kg⁻¹ de sol. Autrement dit à cette dose de PN les concentrations en P et N augmentent dans les tiges feuillées sans une amélioration de la croissance des jujubiers inoculés. Ces résultats suggèrent que les jujubiers mycorhizés montrent une consommation de luxe du P et N disponibles. L'accroissement de la concentration en P dans les tiges feuillées des jujubiers mycorhizés et non fertilisés est de l'ordre de 1,8 alors que celui des jujubiers mycorhizés et fertilisés est de l'ordre de 2,5. Le P absorbé dans les tiges feuillées des jujubiers mycorhizés provient pour une grande part du P libéré du PN. Cependant, la détermination du coefficient réel d'utilisation du PN au moyen du ³²P est nécessaire pour différencier le P du sol de celui du PN.

En conclusion, nos résultats indiquent qu'il n'y a pas d'effets additifs des MVA et du PN (0,62 g de P kg⁻¹ de sol) sur la croissance des jujubiers. En revanche, les jujubiers mycorhizés absorbent plus efficacement le P du sol et du PN que les jujubiers mycorhizés et non fertilisés. Il est donc permis d'avancer l'hypothèse que l'utilisation des MVA et du PN pourrait améliorer la valeur fourragère et la production fruitière des jujubiers en plantation.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Fondation Internationale pour la science (FIS) pour son appui financier.

RÉFÉRENCES

[1] Antunes V., Cardoso E.J.B.N., Growth and nutrient status of citrus plants as influence by mycorrhiza and phosphorus application, *Plant Soil* 131 (1991) 11–19

[2] Bâ A.M., Bazié M., Guissou T., Effet du phosphate naturel sur de jeunes *Acacia albida* Del. en présence ou non de mycorhizes, in : CIRAD-Forêt (éd.), Les Pares à *Faidherbia*, Cahiers Scientifiques 12 (1996a) 237–244.

[3] Bâ A.M., Dalpé Y., Guissou T., Les Glomales d'*Acacia holosericea* et d'*Acacia mangium* : diversité et abondance relative des champignons mycorrhiziens à arbuscules dans deux types de sols de plantations au Burkina-Faso, *Bois For. Trop.* 250 (1996b) 5–18.

[4] Bâ A.M., Guissou T., Rock phosphate and vesicular-arbuscular mycorrhiza effects on growth and nutrient uptake of *Faidherbia albida* (Del.) seedlings in an alkaline sandy soil, *Agrofor. Syst.* 34 (1996) 129–137.

[5] Bâ A.M., Duponnois R., Dianou D., Guissou T., Sanon K.B., Mobilisation du phosphore des phosphates naturels par des microorganismes du sol associés à *Ziziphus mauritiana* Lam. et *Vigna unguiculata* (L) Walp. in : Renard G., Neef A., Becker K., von Oppen M. (éds.), Soil Fertility Management in West African Land Use Systems, Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, 1997, pp. 79–84.

[6] Beaux M.F., Gouet H., Gouet J.P., Morleghem P., Philippeau G., Tranchefort J., Verneau M., in : ITCF (éd.), Stat-ITCF. Manuel d'utilisation, Céréalières de France, 1991.

[7] Bolan N.S., A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants, *Plant Soil* 134 (1991) 189–207.

[8] Bolan N.S., Elliott J., Gregg P.E.H., Weil S., Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere, *Biol. Fertil. Soils* 24 (1997) 169–174.

[9] Easterwood G.W., Sartain J.B., Street J.J., Fertilizer effectiveness of three carbonate apatites on an acid ultisol, *Commun. in Soil Sci. Plant. Anal.* 20 (1989) 789–800.

[10] Guissou T., Bâ A.M., Ouadja J.M., Guinko S., Duponnois R., Responses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Tamarindus indica* L. and *Ziziphus mauritiana* Lam. to arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-deficient sandy soil, *Biol. Fertil. Soils* 26 (1998) 194–198.

[11] Islam R., Ayanaba A., Sanders F.E., Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to inoculation with VA-mycorrhizal fungi and to rock phosphate fertilization in some unsterilized nigerian soils, *Plant Soil* 54 (1980) 107–117.

[12] Kabré A., Mycorrhization de *Pinus caribaea* (morelet) var. *Hondurensis* dans différents sols du Sénégal, thèse, université de Nancy, France, 1982.

[13] Kormanik P.P., Mc Graw A.C., Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots, in : Schenck N.C. (éd.), *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*, St. Paul, Minesota, The American Phytopathological Society, 1982, pp 37–45.

[14] Lompo F., Sedogo M.P., Hien V., Impact agromonomique du phosphate et de la dolomie du Burkina-Faso, in : Gerner H., Mokwunye A.U. (éds.), L'utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable en Afrique de l'Ouest, IFDC, 1995, pp. 60–72.

[15] Manjunath A., Huc N.V., Habte M., Response of *Leucaena leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an oxisol, *Plant Soil* 114 (1989) 127–133.

[16] Murphy J., Riley J.P., A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Anal. Chim. Acta* 27 (1962) 31–35.

[17] Nye P.H., Kirk G.J.D., The mechanism of rock phosphate solubilization in the rhizosphere, *Plant Soil* 100 (1987) 127–134.

[18] Pichot J., Truong B., Action des endomycorhizes sur la croissance et la nutrition phosphatée de l'agrotis en vases de végétation et sur le phosphate isotopiquement diluable du sol, *Agron. Trop.* 31 (1976) 375–378.

[19] Pieri C., Fertilité des terres de savanes, bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles

au Sud du Sahara, Ministère de la Coopération et Cirad-Irat, 1989.

[20] Plenchette C., Furlan V., Fortin A., Responses of endomycorrhizal plants grown in a calcined montmorillonite clay to different levels of soluble phosphorus, Effect on growth and mycorrhizal development, *Can.J.Bot.* 61 (1983) 1377–1383.

[21] Snrech S., Les phosphates rocheux au secours de l'agriculture africaine ?, Club du Sahel, Bulletin d'Info. 15 (1996) 26–29.

[22] Truong B., Pichot J., Beunard P., Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture, *Agron. Trop.* 33 (1977) 136–145.