

Réponse du jujubier (*Zizyphus mauritiana* Lam.) à la mycorhization et aux apports de phosphates naturels de Kodjari dans un sol acidifié avec de la tourbe

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

^a Laboratoire de microbiologie forestière, Inera/Dpf-Cnrst, BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso

^b Isra/Drpf, BP 2312, route de Hann, Dakar, Sénégal

^c Université de Ouagadougou, FAST, BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso

^d Inra, Station d'agronomie, 17, rue Sully, 21034 Dijon cedex, France

^e Laboratoire de bio-pédologie, IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal

* Correspondance et tirés à part

Reçu le 30 mars 1999
 Accepté le 23 septembre 1999

Fruits, 2000, vol. 55, p. 187-194
 © 2000 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS
 All rights reserved

RESUMEN ESPAÑOL, p. 194

Response of mycorrhizal plants of jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.) grown in soils supplied with Kodjari rock phosphates and acidified with peat.

Abstract — Introduction. In Burkina Faso, the deficiency of soils in phosphorus (P) is one of the limiting factors for plant growth. Nowadays, rock phosphates (rp) are commonly used to restore soil fertility in these soils. However, this rp has a low solubility, therefore its dissolution by peat was envisaged in an alkaline soil acidified. Mycorrhizal or non-mycorrhizal plants of jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.) were tested in this experiment. **Materials and methods.** Jujubes were inoculated or not with an arbuscular mycorrhizal (AM) fungus, *Glomus manibotis* Howeler, Sieverding & Schenck. Plants were grown in a P-deficient (2.18 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Bray-I) soil acidified with peat to which were added five levels of rp (12 % of P_2O_5): 0.00, 0.31, 0.62, 1.25 and 2.50 $\text{g P}\cdot\text{kg}^{-1}$ of soil. After 4 months, growth and mineral variables were measured. **Results.** Acidification of alkaline soil by peat lead to a dissolution of a portion of rp. Available P was utilized more efficiently by AM-jujubes. All levels of rp application had no effect on mycorrhizal root colonization. On the other hand, mycorrhizal dependency of jujubes decreased as rp applied levels increased. **Discussion and conclusion.** At the applied level of 0.31 $\text{g P}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil, AM-jujubes took up 4-fold higher available P from rp than soils. Nevertheless, absorption of P did not improve total biomass of AM-jujubes. These results were discussed at the light of literature data. © Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Burkina Faso / *Zizyphus mauritiana* / growth / mycorrhizae / fertilizer application / phosphorus / application rates

Réponse du jujubier (*Zizyphus mauritiana* Lam.) à la mycorhization et aux apports de phosphates naturels de Kodjari dans un sol acidifié avec de la tourbe.

Résumé — Introduction. Au Burkina Faso, la carence en phosphore (P) des sols est un des facteurs qui limite la croissance des plantes. Une fertilisation à base de phosphates naturels (Pn) peut permettre d'améliorer la fertilité de ces sols. Cependant, les Pn étant peu solubles, leur utilisation a été testée par mélange à un sol à pH alcalin, acidifié avec de la tourbe. Le jujubier (*Zizyphus mauritiana* Lam.) mycorhizé ou non a été utilisé comme plante test. **Matériel et méthodes.** Les jujubiers ont été inoculés ou non avec un champignon formant des mycorrhizes à arbuscules (MA), *Glomus manibotis* Howeler, Sieverding & Schenck. Les plants ont été cultivés dans un sol acidifié avec de la tourbe et déficient en P assimilable (2,18 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Bray-I) auquel cinq doses de Pn (12 % de P_2O_5) ont été apportées à raison de 0,00 ; 0,31 ; 0,62 ; 1,25 et 2,50 $\text{g de P}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol. Après 4 mois de culture, des variables de croissance et de nutrition minérale ont été mesurées. **Résultats.** L'addition de tourbe a acidifié le sol alcalin et a provoqué la dissolution d'une fraction du Pn. Le P ainsi libéré a été absorbé efficacement par des jujubiers mycorhizés. Des apports croissants de Pn n'ont pas eu d'effets sur le taux de mycorhization des jujubiers. En revanche, ils ont diminué la dépendance mycorhizienne des jujubiers. **Discussion et conclusion.** À la dose de 0,31 $\text{g de P}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol, les jujubiers mycorhizés ont prélevé au moins quatre fois plus de P provenant du Pn que du sol. Cette accumulation de P ne s'est cependant pas traduite par une augmentation de la biomasse totale des jujubiers mycorhizés. Ces résultats sont discutés à la lumière de données de la littérature. © Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Burkina Faso / *Zizyphus mauritiana* / croissance / mycorhize / fertilisation / phosphore / dose d'application

1. introduction

Dans les sols tropicaux, moins de 1 % du phosphore total est assimilable par les plantes [1]. Cette faible disponibilité du phosphore (P) limite la production agricole [2]. Dans le contexte actuel de baisse de fertilité des sols ouest-africains, l'utilisation des engrais minéraux solubles est très coûteuse et donc peu accessible aux paysans [3, 4].

La découverte d'importants gisements de phosphates naturels en Afrique de l'Ouest a permis d'utiliser ces derniers dans des opérations de phosphatage de fond pour reconstituer des réserves en P des sols agricoles [5]. Les gisements de phosphates naturels de Kodjari, encore appelés « Burkina phosphate », ont des réserves estimées à plus de 100 Mt [6]. Ces phosphates naturels sont réputés peu réactifs même dans les sols acides [7]. En application directe, ils ont un effet peu marqué sur des plantes cultivées [8].

Ces phosphates naturels sont également utilisés dans des sols à pH alcalin, en particulier par des jeunes arbres associés à des champignons mycorrhiziens à arbuscules [9, 10]. Cependant, une bonne partie du P absorbé dans les tiges feuillées de ces jeunes arbres provient du sol et très peu de ces phosphates.

Pour améliorer la dissolution des phosphates naturels de Kodjari, nous avons acidifié le sol à pH alcalin avec de la tourbe. Le jujubier (*Zizyphus mauritiana* Lam.) a été choisi comme plante test en raison de sa capacité à mobiliser ce type de phosphate lorsqu'il est associé à des champignons mycorrhiziens à arbuscules [10].

2. matériel et méthodes

Le sol utilisé a été prélevé sous un pied d'*Azizelia africana* Sm., sur 20 cm de profondeur, à Dindéresso (sud-ouest du Burkina Faso) et tamisé (2 mm). C'est un sol sableux pauvre en matière organique et en phosphore assimilable [11].

Une acidification du sol sableux ($\text{pH}_{\text{eau}} = 7,5$) a été réalisée par mélange (3 : 1, v/v) de ce substrat avec de la tourbe (provenance Allemagne, $\text{pH}_{\text{eau}} = 3,56$; matière organique = 36 % ; azote total = 0,4 %). L'ensemble a été autoclavé à 120 °C pendant 1 h. Après autoclavage, la composition physico-chimique de ce substrat a été évaluée à : 6,7 % d'argile ; 6,5 % de limon ; 86,6 % de sable ; 4 % de matière organique ; 2,31 % de carbone (C) total et 0,04 % d'azote (N) total, le rapport [C/N] étant égal à 58 ; 98 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de P total ; 2,18 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de P extractible Bray I ; $\text{pH}_{\text{eau}} = 5,0$.

Le phosphate naturel tricalcique utilisé dans cette expérience est originaire du gisement de Kodjari (province de la Tapoa, Burkina Faso). Il a été utilisé sous sa forme pulvérulente connue sous le nom de « Burkina phosphate » (BP), à 12 % de P_2O_5 , 0,03 % de solubilité dans l'eau et un degré de finesse < 90 μm . Cinq doses de BP ont été testées : 0,00 ; 0,31 ; 0,62 ; 1,25 et 2,50 g de $\text{P}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol, soit l'équivalent respectivement de 0 ; 775 ; 1 550 ; 3 125 et 6 250 kg de $\text{P}\cdot\text{ha}^{-1}$ sur 30 cm de profondeur. Les différentes doses de BP ont été mélangées séparément avec le substrat de culture (tableau I). Le mélange a été distribué à raison de 2,2 kg par sachet en polyéthylène.

Des graines de jujubiers, *Zizyphus mauritiana* Lam., provenant de Lery (province du Sourou, Burkina Faso), lot n° 1774, ont été fournies par le Centre national de semences forestières (CNSF, Burkina Faso). Elles ont été prétraitées, mises à germer dans des boîtes de Pétri [10] et repiquées à raison de deux germinations par sachet. Les plants ont été arrosés à l'eau du robinet une fois par jour. Après 1 semaine de culture, une seule plantule a été conservée dans chaque sachet.

L'expérimentation a utilisé des champignons mycorrhiziens à arbuscules (CMA) de l'espèce *Glomus manibotis* Howeler, Sieverding & Schenck (isolat IR 15), isolée dans une plantation d'*Acacia mangium* au sud-ouest du Burkina Faso [12] et multipliée sur du mil pendant 4 mois de culture. L'inoculum a été constitué d'un mélange de sable, de fragments de racines de mil, de spores et d'hyphes. L'inoculation a consisté

Tableau I.

Variation des caractéristiques du phosphore Bray-I dans un sol acidifié avec de la tourbe en fonction de l'apport de différentes doses de phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso), ou « Burkina phosphate » (BP).

Burkina phosphate (g de P kg ⁻¹ de sol)	pH _{eau}		P assimilable (µg.g ⁻¹)	
	Avant acidification	Après acidification	P Bray-I avant acidification	Après acidification
0,00	7,46	5,03	2,18	2,18
0,31	7,48	4,96	2,62	4,80
0,62	7,47	4,99	5,68	6,65
1,25	7,47	4,96	10,92	12,23
2,50	7,48	5,02	18,77	20,52

à apporter 20 g de ce mélange en poids sec par sachet. L'utilisation de la méthode du nombre le plus probable [13] a permis d'estimer que ces 20 g d'inoculum contenaient 1 828 propagules viables. 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 auto-clavé.

Les sachets plastiques ont été disposés sur des châssis placés à 30 cm du sol selon un dispositif factoriel à deux facteurs constitués par les traitements fertilisation et inoculation. Le facteur fertilisation a donc été à cinq niveaux (P_{0,31}, P_{0,62}, P_{1,25}, P_{2,50} et témoin non fertilisé P_{0,00}) et le facteur inoculation à deux niveaux (utilisation de *G. manihotis* et témoin non inoculé). Le dispositif complètement randomisé a été de 10 traitements (cinq doses de BP × deux modalités : avec ou sans champignons), chacun représenté par 12 répétitions. L'essai a été conduit à l'abri de la pluie, à la température et à la lumière du jour (photopériode d'environ 12 h, température moyenne de 35 °C jour / 25 °C nuit et intensité lumineuse maximale de 196 W.m⁻², humidité relative de 16–89 %).

L'expérience a été arrêtée après 4 mois de culture et des variables de croissance (hauteur, masse totale et calcul du rapport [poids de racines / poids de tige] des plants) et de nutrition minérale (concentration en phosphore, azote et potassium dans les tiges feuillées) ont été mesurées. La masse sèche (ms) a été déterminée après séchage

dans une étuve pendant 6 d¹ à 70 °C. La dépendance mycorhizienne (Dm) de *Z. mauritiana* a été calculée suivant la formule : $Dm (\%) = 100 \times [(ms \text{ des plants mycorhizés} - ms \text{ des plants non mycorhizés}) / ms \text{ des plants mycorhizés}]$ [14]. La teneur en phosphore des tiges feuillées des plants a été déterminée par colorimétrie au bleu de molybdène [15], l'azote total par la méthode de Kjeldahl et le potassium par spectrophotométrie de masse². Le taux de mycorhization a été estimé suivant la méthode décrite par Bâ et Guissou [9]. L'analyse de variance des données et la comparaison des moyennes des traitements (test de Newman-Keul, $p < 0,05$) ont été réalisées avec le logiciel Stat-Itcf [16].

3. résultats

Le phosphore apporté avec le phosphate naturel de Kodjari a augmenté la teneur en phosphore Bray I du substrat (tableau I) mais n'a pas modifié les autres caractéristiques du mélange.

L'interaction entre les facteurs « fertilisation » et « inoculation » a été significative ($p < 0,05$) pour toutes les variables mesurées.

Aucune colonisation n'ayant été observée sur les racines des jujubiers non inoculés (figure 1), il n'y a donc pas eu de contaminations entre les traitements. Chez les

¹ d = day : unité recommandée pour « jour ».

² Les analyses ont été réalisées au laboratoire d'écologie végétale du professeur S. Guinko (université de Ouagadougou, Burkina Faso).

Figure 1. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : taux de mycorhization observé sur des jujubiers de 4 mois après apport de différentes doses de phosphore par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Pas de différences significatives entre les traitements.

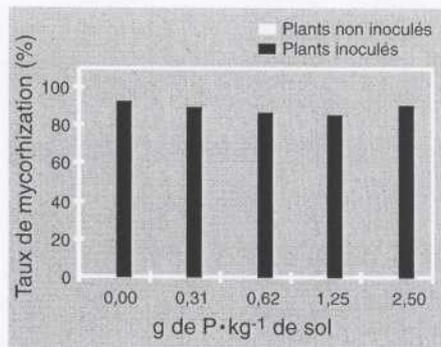


Figure 2. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : hauteur de jujubiers de 4 mois après apport de différentes doses de phosphore par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Les valeurs assorties d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

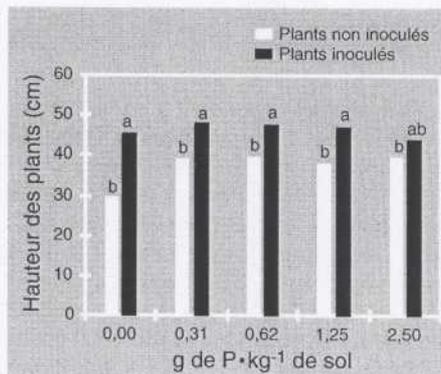
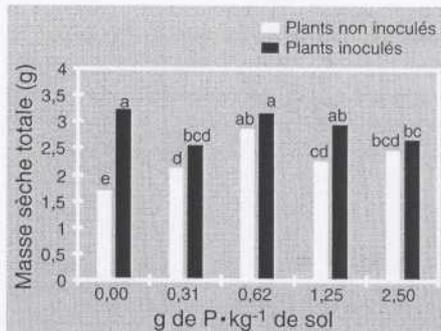


Figure 3. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : masse sèche totale de jujubiers de 4 mois après apport de différentes doses de phosphore par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Les valeurs assorties d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.



jujubiers inoculés par *G. manihotis*, le taux de mycorhisation a été comparable quelle que soit la dose de BP apportée (figure 1).

À l'exception de la plus forte dose $P_{2,50}$, les jujubiers inoculés par *G. manihotis* ont présenté des croissances en hauteur significativement supérieures aux plants non inoculés, quelle que soit la dose de BP apportée (figure 2). Au sein d'un même traitement (plants inoculés ou non inoculés), et quelle que soit la dose de BP appor-

tée, aucune différence significative de croissance n'a, en revanche, été observée.

La masse sèche totale a été très faible chez les jujubiers non inoculés et non fertilisés (figure 3). Cependant, chez les plants inoculés et non fertilisés, elle a été significativement augmentée de 87 %. Que les plants soient mycorhizés ou non, l'apport de BP ne semble pas avoir d'effet sur la masse sèche totale des jujubiers (figure 3). Par ailleurs, à l'exception de la dose $P_{0,00}$ appliquée aux plants non mycorhizés, aucune différence significative de la masse sèche totale n'a été constatée entre les jujubiers mycorhizés et non mycorhizés (figure 3).

Tous les traitements ont favorisé le développement du système racinaire des jujubiers par rapport au système aérien. Cela s'est donc traduit, pour tous les traitements, par un rapport [poids de racines / poids de tige] supérieur à 1 (figure 4).

La dépendance mycorhizienne (D_m), exprimant la contribution du champignon mycorhizien dans l'amélioration de la croissance des jujubiers, varie de 46 à 6 % lorsque le phosphore biodisponible augmente de $2,18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ à $20,52 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dans le substrat (figure 5). La D_m des jujubiers est, à cet effet, inversement corrélée au P biodisponible ($r = -0,73$; $p < 0,01$) (figure 5).

La concentration en P dans les tiges feuillées des jujubiers mycorhizées et non fertilisées a été comparable à celle des jujubiers non mycorhizés et non fertilisés (figure 6). Elle a été très faible chez les jujubiers non mycorhizés et fertilisés. Cependant, elle a augmenté significativement dans les tiges feuillées des jujubiers mycorhizés ayant reçu la plus faible dose de BP (figure 6).

Les concentrations en azote (figure 7) et potassium (figure 8) des jujubiers inoculés ont été comparables à celles des jujubiers non mycorhizés quelle que soit la dose de BP appliquée. Elles ont été nettement inférieures chez les jujubiers mycorhizés et non fertilisés que chez les jujubiers non mycorhizés et non fertilisés (figures 7, 8).

4. discussion et conclusion

La réactivité du BP et sa disponibilité pour les plantes sont très faibles comparativement à celles d'autres phosphates naturels [7]. Elles dépendent de ses caractéristiques intrinsèques (degré de substitution des ions carbonates, finesse du produit, etc.), de certaines propriétés du sol (acidité, phosphore biodisponible, calcium échangeable, etc.) et de la présence de microorganismes rhizosphériques (CMA, bactéries acidifiantes, etc.) [6, 8–10, 17, 18]. Dans nos conditions expérimentales, la tourbe a acidifié le sol. Celui-ci est passé d'un pH 7,46 à un pH 5,03. L'acidification du sol a provoqué la dissolution du BP et une fraction non négligeable de P a été ainsi libérée au prorata de la dose de BP.

Le taux de mycorhization des jujubiers n'a pas été affecté par les teneurs croissantes en P biodisponible alors qu'il est couramment admis qu'il tend à diminuer dans ces conditions [19–23]. Cela suggère que la souche de *Glomus manihotis* serait tolérante à des fortes doses de BP alors qu'elle a été isolée dans un sol faiblement acide et pauvre en P assimilable [12]. Des résultats comparables ont été obtenus chez des acacias et des jujubiers inoculés avec la même souche de CMA [9, 10]. On peut également envisager l'hypothèse de Sylvia et Neal [24] selon laquelle, dans un sol déficient en N et P, la fertilisation phosphatée n'a pas d'effets dépressifs sur le taux de mycorhization.

La croissance du jujubier a été très faible en l'absence de CMA et de BP. Cependant, la Dm des jujubiers non fertilisés est passée de 78 % en sol alcalin [10] à 46 % dans nos conditions expérimentales où ce sol a été acidifié avec de la tourbe. Cette baisse de la Dm pourrait résulter de l'enrichissement du sol avec la tourbe. De plus, des apports croissants de BP ont non seulement augmenté le P biodisponible mais également diminué la Dm qui est passée de 46 à moins de 10 %. Cette diminution de la Dm est donc consécutive à une augmentation du P biodisponible, comme l'atteste la relation inverse entre ces deux variables.

La concentration en P a été à peu près la même entre les jujubiers inoculés et non

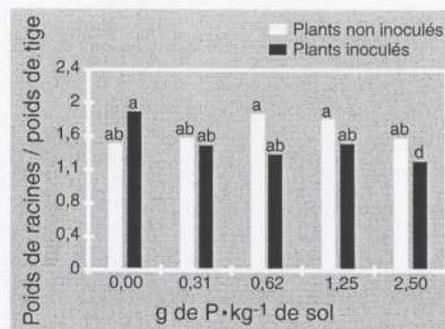


Figure 4. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : rapports [poids de racine / poids de tige] mesurés sur des jujubiers de 4 mois après apport de différentes doses de phosphore par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Les valeurs assorties d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

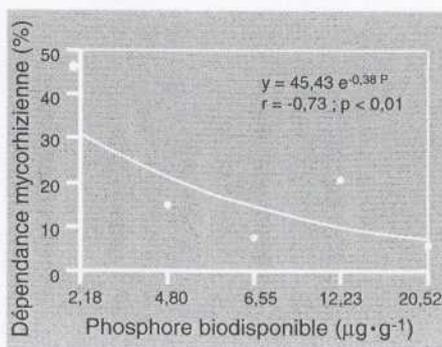


Figure 5. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : mesure de la dépendance mycorhizienne (Dm) de jujubiers de 4 mois, après apport de différentes doses de phosphore par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Dm (%) = $100 \times [(ms \text{ des plants mycorhizés} - ms \text{ des plants non mycorhizés}) / ms \text{ des plants mycorhizés}]$.

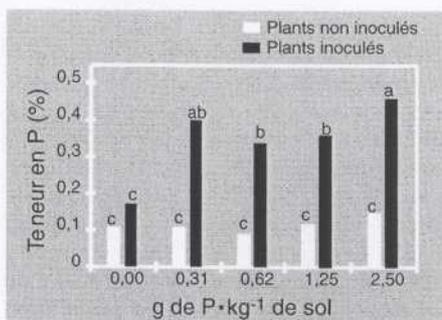


Figure 6. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : taux de phosphore dans les tiges feuillées de jujubiers de 4 mois, après apport de différentes doses de phosphore par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Les valeurs assorties d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

inoculés. Elle n'a pas augmenté chez les jujubiers non inoculés et fertilisés à des doses croissantes de BP. Cela suggère que les jujubiers non inoculés n'absorbent pas efficacement le P du sol et celui du BP. Ces résultats sont en accord avec ceux que nous avons déjà obtenus sur des jujubiers et des acacias non mycorhizés dans un sol à pH alcalin [9–11], chez *Leucaena leucocephala* [25] et *Citrus limonia* [26]. En revanche, les jujubiers mycorhizés ont absorbé plus efficacement le P libéré du sol et du BP. En

Figure 7. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : taux d'azote dans les tiges feuillées de jujubiers de 4 mois, après apport de différentes doses de phosphate par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Les valeurs assorties d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

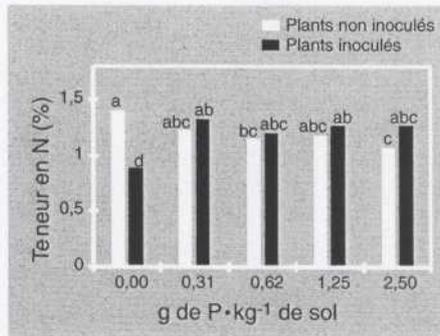
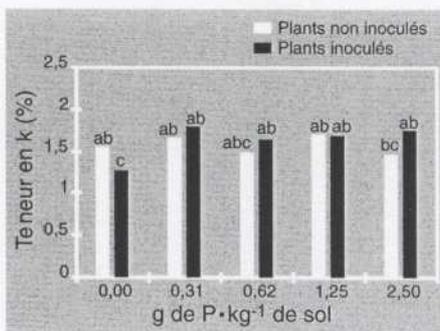


Figure 8. Effets de l'inoculation de *Zizyphus mauritiana*, avec *Glomus manihotis* : taux de potassium dans les tiges feuillées de jujubiers de 4 mois, après apport de différentes doses de phosphate par des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso). Les valeurs assorties d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.



effet, l'accroissement de la concentration en P dans les tiges feuillées des jujubiers mycorhizés et non fertilisés a été de l'ordre de 0,6 alors que celui des jujubiers mycorhizés et fertilisés à la dose optimale de 0,31 g de P·kg⁻¹ de sol a été de l'ordre de 4. Le P absorbé dans les tiges feuillées des jujubiers mycorhizés pourrait donc provenir, en grande partie, du P libéré par le phosphate naturel. Pour une absorption maximale du P dans les tiges feuillées de jujubiers mycorhizés, il faut apporter 0,62 g de P·kg⁻¹ de sol alcalin [10] et seulement la moitié dans le même sol acidifié avec de la tourbe. De plus, la quantité de P libérée du BP a augmenté dans le sol acidifié. L'addition de tourbe pourrait donc avoir solubilisé une partie non négligeable du BP et le P ainsi libéré aurait pu avoir été absorbé efficacement par les jujubiers mycorhizés. Cependant, cette augmentation de l'absorption du P n'a pas eu d'effets significatifs sur la production de biomasse des jujubiers mycorhizés. Ceux-ci pourraient donc avoir une consommation de luxe du P biodisponible et/ou il existerait un facteur qui limiterait leur croissance. Des résultats comparables

ont été obtenus sur des jujubiers et acacias [9–11]. En revanche, la mycorhization et la fertilisation n'ont pas amélioré la nutrition en N et K des jujubiers. D'ailleurs, les concentrations en ces éléments sont faibles dans les tiges des jujubiers mycorhizés et non fertilisés. Il pourrait s'agir d'un effet de dilution de N et K dans les tiges des jujubiers non mycorhizés et non fertilisés qui ont le moins poussé.

En conclusion, nos résultats montrent que l'addition de tourbe a acidifié le sol alcalin et solubilisé une fraction non négligeable de BP, libérant ainsi du P mobilisé efficacement par des jujubiers mycorhizés. Le P accumulé n'est apparemment pas toxique et pourrait conférer aux jujubiers un avantage adaptatif dans des conditions écologiques où les sols sont souvent carencés en P [27].

remerciements

Ce travail a été financé par la Fondation internationale pour la science à Stockholm (Suède), l'Académie africaine pour la science à Nairobi (Kenya) et l'Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (Aupelf-Uref) dans le cadre d'une allocation de recherche octroyée à M. Guissou par le Fonds francophone de la recherche.

références

- [1] Bolan N.S., A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants, *Plant Soil* 134 (1991) 89–207.
- [2] 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, Montpellier, France, 1989, 444 p.
- [3] Mahamane I., Bationo A., Seyni F., Hamidou Z., Acquis récents des recherches sur les phosphates naturels du Niger, in : Renard G., Neef A., Becker K., von Oppen (éd.), *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems*, Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, 1997, pp. 73–78.

- [4] Muehlig-Versen B., Buerkert A., Bationo A., Marschner H., Crop residue and phosphorus management in millet based cropping systems on sandy soils of the Sahel, in : Renard G., Neef A., Becker K., von Oppen (éd.), Soil Fertility Management in West African Land Use Systems, Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, 1997, pp. 31–40.
- [5] Snrech S., Les phosphates rocheux au secours de l'agriculture africaine ? Club du Sahel, Bull. Inf. 15 (1996) 26–29.
- [6] 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 (1978) 136–145.
- [7] Easterwood G.W., Sartain J.B., Street J.J., Fertilizer effectiveness of three carbonate apatites on an acid ultisol, Sci. Plant Anal. 20 (1989) 789–800.
- [8] Compaoré E., Grimal J.-Y., Morel J.-L., Fardeau J.C., Efficacité du phosphate naturel de Kodjari (Burkina Faso), Cah. Agric. 6 (4) (1997) 251–256.
- [9] Bâ A.M., Guissou T., Kodjari rock phosphate and vesicular-arbuscular mycorrhiza effects on growth and nutrient uptake of *Acacia albida* (Del.) seedlings in an alkaline sandy soil, Agroforest. Syst. 34 (1996) 129–137.
- [10] Guissou T., Bâ A.M., Guinko S., Duponnois R., Planchette C., 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, Ann. Sci. Forest. 55 (1998) 925–931.
- [11] 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-Forêts (Éd.), Les parcs à *Faidherbia*, Cah. Sci. 12 (1996) 237–244.
- [12] 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 plantation au Burkina Faso, Bois For. Trop. 250 (1996) 5–18.
- [13] Guissou T., Bâ A.M., Ouadba J.M., Guinko S., Duponnois R., Responses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth, *Tamarindus indica* L. and *Zizyphus mauritiana* Lam. to arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-deficient sandy soil, Biol. Fert. Soils 26 (1998) 194–198.
- [14] Planchette C., Fortin J.A., Furlan V., Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions, Plant Soil 70 (1983) 199–209.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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, Agron. Trop. 31 (1976) 375–378.
- [18] Dianou D., Bâ A.M., Réponse de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. à l'inoculation de rhizobactéries et de champignon mycorrhizien en présence de phosphate naturel, Ann. Univ. Ouagadougou 7 (1999) 107–122.
- [19] Thomson B.D., Robson A.D., Abott L.K., Mycorrhizas formed by *Giagaspora calospora* and *Glomus fasciculatum* on subterranean clover in relation to soluble carbohydrate concentration in roots, New Phytol. 114 (1990) 217–225.
- [20] Lambais M.R., Cardoso E.J.B.N., Response of *Stylosanthes* to endomycorrhizal fungi inoculation as affected by lime and phosphorus applications. II. Nutrition uptake, Plant Soil 150 (1993) 109–116.
- [21] Tawaraja K., Saito M., Morioka M., Wagatsuma M., Effect of phosphorus application to arbuscular mycorrhizal onion on the development and succinate dehydrogenase activity of internal hyphae, Soil Sci. Plant Nutr. 40 (1994) 667–673.
- [22] Planchette C., Morel C., External phosphorus requirement of mycorrhizal and non-mycorrhizal barley and soybean plants, Biol. Fert. Soils 21 (1996) 303–308.
- [23] Khaliq A., Sanders F.E., Effects of phosphorus application and vesicular arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth and phosphorus nutrition of maize, J. Plant Nutr. 20 (1997) 1607–1616.
- [24] Sylvia D.M., Neal L.H., Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza, New Phytol. 115 (1990) 303–310.
- [25] Manjunath A., Hue 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.
- [26] Antunes V., Cardoso E.J.B.N., Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application, Plant Soil 131 (1991) 11–19.
- [27] Koide R.T., Nutrient supply, nutrient demands and plant response to mycorrhizal infection, New Phytol. 117 (1991) 365–386.

Respuesta del azufaifo (*Zizyphus mauritania* Lam.) a la micorrización y a la fertilización con fosfatos naturales de Kodjari en un suelo acidificado con turba.

Resumen — Introducción. En Burkina Faso, la carencia de fósforo (P) de los suelos es uno de los factores limitadores de crecimiento de las plantas. Una fertilización a partir de fosfatos naturales (Pn) podría mejorar la fertilidad de estos suelos. Sin embargo, al ser poco solubles los Pn, se probó su utilización mezclándolos con un suelo de pH alcalino, acidificado con turba. El azufaifo (*Zizyphus mauritania* Lam.), micorrizado o no, fue empleado como planta de ensayo. **Material y métodos.** Los azufaifos fueron inoculados o no con un hongo micorrizógeno arbuscular (MA), *Glomus manibotis* Howeler, Sieverding & Schenck. Las plantas fueron cultivadas en un suelo acidificado con turba y pobre en P asimilable ($2,18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Bray-I) al que se aplicaron cinco dosis de Pn (12 % de P_2O_5) a razón de 0,00; 0,31; 0,62; 1,25 et 2,50 g de $\text{P}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo. Tras 4 meses de cultivo, se midieron las variables de crecimiento y nutrición mineral. **Resultados.** La aplicación de turba acidificó el suelo alcalino y provocó la disolución de una fracción del Pn. El P así liberado fue absorbido eficazmente por los azufaifos micorrizados. El incremento de las dosis de Pn no tuvo efecto alguno en la tasa de micorrización de los azufaifos aunque disminuyó la dependencia micorrizica de las plantas. **Conclusión y discusión.** Con una dosis de $0,31 \text{ g de P}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo, los azufaifos micorrizados extrajeron al menos cuatro veces más de P proveniente del Pn que del suelo. Esta acumulación no produjo un aumento de la biomasa total de los azufaifos micorrizados. Estos resultados se analizan en función de la bibliografía existente. © Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Burkina Faso / *Zizyphus mauritania* / crecimiento / mycorrhizae / aplicación de abonos / fósforo / dosis de aplicación