

*Original article**Agronomy*

Effectivité comparée d'une inoculation endomycorhizienne à *Glomus* spp. et du super phosphate triple sur haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) dans un oxisol de l'ouest Cameroun

Roger Noël IROUME^{1*}; Madeleine Zemboudem Ngueukeye²; Gustave EYAME³; Roberty Pamphile ESSAMA⁴

¹Laboratoire de génétique, amélioration et biotechnologies végétales, Département d'Agriculture, F.A.S.A., Université de Dschang, B.P. 222 Dschang, Cameroun.

²Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, B.P. 337 Yaoundé, Cameroun.

³Délégation Provinciale du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural pour le Sud à Ebolowa, B.P. 488 Ebolowa, Cameroun.

⁴Département d'Agriculture, F.A.S.A, Université de Dschang B.P. 222 Dschang, Cameroun.

*Auteur correspondant : E-mail. iroumeroger759@hotmail.com

RESUME

La dégradation des sols par les pratiques agricoles usuelles suscite beaucoup d'intérêt pour l'agriculture durable. Cette étude est conduite à l'Université de Dschang en vue d'examiner la pratique des inoculations endomycorhiziennes comme une alternative biologique à la fertilisation phosphatée du haricot vert sur les sols ferrallitiques. Trois modalités de traitements, la dose recommandée de phosphore de 72 kg P₂O₅/ha, un inoculant artificiel à *Glomus* spp et un témoin sans inoculant et sans phosphore, sont testées selon un plan expérimental en bloc aléatoire à 3 et 4 répétitions respectivement en champ et sur sol stérilisé en pots. Les plantes inoculées ou fertilisées produisent une masse de matière sèche, un nombre et un poids de gousses par plante plus grands que le témoin en champ. L'inoculant accroît la masse de matière sèche à mi-cycle (52 jours après semis) de 8 à 41%, tandis que le phosphore le fait de 17 à 116%. Les feuilles des plantes inoculées et fertilisées renferment respectivement 8 et 39% plus de P que les témoins. L'effet du P n'est pas mis en évidence sur sol stérilisé, alors que l'inoculation augmente le nombre (339%) et le poids de gousses/plante (473%). Ces résultats traduisent un effet positif, bien que plus faible comparativement à celui de P, de l'inoculation endomycorhizienne dans les conditions étudiées.

Mots clés : Endomycorhize, phosphore, croissance, rendement, *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

There is increasing interest for sustainability of agricultural practices owing to continuous degradation of soil. This study was conducted at the University farm in Dschang to evaluate the effectiveness of endomycorrhizal inoculation as a biological alternative to phosphate fertilization of green beans on ferralitic soils. Three treatments levels, the recommended rate of phosphorus (72 kg P₂O₅/ha), an artificial *Glomus* spp inoculum, and a control, were tested following a randomized complete block design with 3 and 4 replicates, respectively in the field and in green-housed-potted plants on a sterilized soil. Higher dry matter growth, pod number and weight/plant were observed on inoculated and fertilized plots under field conditions. Both inoculation and P application increased dry matter weight at mid-cycle (52 days after sowing.) in ranges of 8 to 41% and 17 to 116% respectively. Phosphorus uptake was increased 8 and 39% in inoculated and fertilized plants respectively. Potted-plants on sterilized soil showed no significant response to phosphorus but exhibited a high response to mycorrhizal inoculation with increases of 339% and 473% respectively for pod number and weight relative to the control. These results demonstrated a positive effect of mycorrhizal inoculation though generally lower as compared to phosphorus fertilization.

Key words: Mycorrhizae, phosphorus, growth, yield, *Phaseolus vulgaris* L.

INTRODUCTION

L'espace cultivable est continuellement réduit. Cette situation contraint les agriculteurs à des pratiques qui vont à l'encontre du maintien de la fertilité des sols [1], notamment la réduction de la

durée de la jachère et l'utilisation quasi-indiscriminée des engrais chimiques. Ce modèle d'exploitation a permis incontestablement d'accroître la productivité agricole et de faire de la

région de l'ouest Cameroun le grenier des grands centres urbains.

Malgré les bénéfices procurés, l'absence d'un accompagnement en matière de contrôle de l'acidification des sols risque de compromettre la durabilité de la productivité des terres. Dans un tel contexte, le problème de fixation du phosphore, bien connu dans les sols tropicaux, est susceptible d'être amplifié, particulièrement dans les sols dominants de type ferrallitique, et réduire ainsi la biodisponibilité des apports assurés par les engrais.

Le phosphore est un élément majeur de la nutrition végétale, non renouvelable dans le sol, et dont seule la fraction biodisponible influence les prélèvements par les cultures et les rendements [2]. Toutefois que la biodisponibilité du phosphore du sol limite les rendements indispensables à la satisfaction des besoins alimentaires, la pratique agricole utilisée doit être considérée comme non durable [2].

Compte tenu du coût élevé des engrais et du risque de rétrogradation des quantités apportées pour la couverture des besoins des plantes, une recherche d'alternatives pouvant accroître la biodisponibilité instantanée des réserves de P du sol revêt un intérêt pratique certain pour l'ouest Cameroun. Les mycorhizes, association mutualiste entre certains champignons microscopiques du sol et les racines des plantes supérieures, améliorent l'utilisation par les plantes des ressources en minéraux du sol, notamment le phosphore, en explorant et prélevant dans divers pools au delà de la rhizosphère épuisée [3-7]. Des inoculations endomycorhiziennes utilisant des isolats de *Glomus etunicatum* ont provoqué un accroissement de 50% du rendement des caféiers issus de plants précolonisés et ont réduit des apports phosphatés en plantation de 207 à 100 g de P₂O₅/plant sur sols pauvres au Brésil [8].

L'utilisation agricole des biotechnologies mycorhiziennes au Cameroun est naissante et en phase d'expérimentation sur différentes cultures, et conditions d'environnement et de sol. Cette étude examine la pratique des inoculations endomycorhiziennes comme une alternative biologique pour la fertilisation phosphatée des cultures sur les sols ferrallitiques d'altitude de l'ouest Cameroun. Elle compare spécifiquement les effets d'une inoculation endomycorhizienne à *Glomus* spp. et des apports d'un engrais phosphaté sur la nutrition phosphatée, la croissance et le rendement du haricot vert, une

culture d'un grand intérêt économique de cette région.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal

La plante test utilisée dans tous les essais est la variété de haricot vert « Super Violet Foncé (SVF) » en exploitation à la Société de production de légumes (Proleg SA) installée à Bandjoun, ouest Cameroun. Elle est caractérisée par un cycle de culture de 55 à 60 jours, des gousses de forme parfaite, de section ronde, de longueur 16-17 cm. Les grains sont de couleur noire et le végétal a un type de port étalé à maturité.

Conditions pédoclimatiques

Les expériences ont été menées sur un sol ferrallitique typique à la ferme d'application et de recherche de l'université de Dschang, Cameroun (alt.= 1400 m ; 5°10 N ; 10° E). L'analyse des échantillons de sol de l'horizon de surface (0-20cm) du site des essais donne les caractéristiques suivantes : sable/limon/argile = 11/47/42 ; pH de l'eau = 5,1 ; pH de KCl = 4,7-4,8 ; C.O. (%) = 4 ; M.O. (%) = 6,9 ; SBE (Ca+Mg+K+Na en méq/100 g) = 5,68 ; C.E.C. = 20,8 ; P-Bray 2 en mg/kg de sol = 16,63). Les précipitations mensuelles pendant la période des essais en champ (mai-juillet 2002) étaient de 671 millimètres, tandis que les minima et maxima des températures moyennes journalières étaient de 16,4 et 27,2 °C, avec une moyenne de 21,5 °C. Toutes les données climatiques ont été récoltées à la station météorologique de l'Institut de Recherche Agronomique pour le Développement à Dschang.

Traitements et méthodes expérimentales

Les traitements comparés sont constitués d'une inoculation endomycorhizienne à *Glomus* spp., de la dose d'engrais phosphaté de 72 kg P₂O₅ utilisée en culture industrielle de haricot vert par la société Proleg S.A. dans l'ouest Cameroun, et d'un témoin sans inoculant et sans phosphore. L'inoculum utilisé est un complexe de plusieurs *Glomus* spp. Sélectionnés des sols du Cameroun par l'Unité de Microbiologie Appliquée et des Biofertilisants de l'Université de Yaoundé I. Il est concentré à 20 spores/g, et administré à la dose de 5g/poquet monograine.

Un plan expérimental en blocs aléatoires complets a été utilisé avec 3 répétitions en champ et 4 dans un essai en pots sur sol stérilisé. Dans les essais en champ, chaque bloc de 14,5 × 1,8 m, allongé

perpendiculairement à une pente d'environ 7%, a été subdivisé en 3 unités expérimentales (chacune mesurant 4 × 1,8 m) espacées les unes des autres de 1 m, auxquelles ont été affectées au hasard les trois traitements. Les blocs étaient distants de 1,5 m les unes des autres pour limiter les interférences parcellaires. Le semis a été effectué manuellement le 09 mai 2002, aux écartements de 0,8 m entre les lignes et 0,07 m sur la ligne, soit 5 rangs de 28 plants/unité expérimentale. Au cours des essais, les parcelles ont été sarclées 4 fois et protégées par cinq traitements mixtes fongicide/insecticide. Les fongicides utilisés ont été alternativement le mancozeb (ivory 80, 80% m.a., dose = 72 kg/ha), l'oxyde de cuivre (nordox super 75, dose = 2,35 kg/ha), ou le chlorpyrifos-éthyl (pyriforce 600 EC, dose = 0,5 l/ha) pendant la phase de développement végétatif. A partir de la floraison, la poursuite des traitements a été faite au deltaméthrine (Décis 25 EC, dose = 1 l/ha). Tous les traitements ont débuté dès l'observation des premiers symptômes d'*Ascochyta* à 15 jours après semis.

Dans les essais en pots, chaque bloc comprenait 12 pots contenant chacun 1 kg de terre préalablement stérilisé à l'autoclave à une température de 121°C pendant 2 heures, et refroidi dans la chambre de l'autoclave pendant 24 heures afin d'éliminer toute trace de l'inoculum mycorhizien indigène. Une répétition de chacun des trois traitements est constituée de deux pots, chacun semé d'une graine. Les plantes ont été arrosées régulièrement tout au long du cycle avec de l'eau de robinet et protégées par application de fongicide. Avant chaque traitement fongicide, la surface du pot a été préalablement couverte par un film plastique afin d'éviter que l'action du fongicide porte atteinte à l'activité des champignons mycorhiziens. La terre utilisée dans les pots a été un mélange d'échantillons de surface (0–20 cm) prélevés au hasard dans les trois blocs délimités pour la conduite de l'essai en champ.

La fumure azoto-potassique a été appliquée uniformément à toutes les unités expérimentales aux doses recommandées soit 111 kg N/ha et 120 kg K₂O/ha. Toutes les formules de fumure minérale ont été constituées à partir de l'urée (46 % N), du superphosphate triple (46 % P₂O₅), ou du sulfate de potasse (50 % K₂O).

Des échantillons de feuilles ont été prélevés dans différents traitements à 45 jas (délai de floraison) pour le dosage de phosphore. Chaque échantillon

a été constitué de 15 feuilles entièrement déroulées précédant le bourgeon apical, soit 5 plantes/traitement/bloc.

Les engrais ont été localisés dans des sillons de 5 cm de profondeur creusés à 3 cm le long des lignes de semis dans les essais en champ. La dose complète de phosphore et de potasse ainsi qu'un quart de la dose d'azote ont été apportés au semis. Les trois autres fractions d'azote ont été appliquées respectivement 15, 30 et 45 jours après semis (jas).

Dans les essais en pots, les apports d'engrais correspondant à chaque traitement ont été traduits en quantité suffisante pour 1 kg de terre. En raison de la difficulté de mesurer de très petites quantités nécessaires pour chaque pot, toute la dose à appliquer à tout l'essai a été diluée dans un volume de 480 ml d'eau puis distribuée aux différents pots à l'aide d'une seringue graduée de 60 ml à raison de 10 ml/pot. Les délais d'apport des engrais ont été les mêmes que pour les essais en champ.

Les inoculations mycorhiziennes, dans tous les essais, ont été faites en poquet par dépôt de 5 g d'inoculum au fond du trou de semis. La graine a ensuite été placée en contact direct avec l'inoculum, puis recouverte d'une mince couche de terre.

Estimation de la mycorhization de la rhizosphère

L'état de la mycorhization de la rhizosphère du haricot vert est décrit selon Trouvelot *et al.* [9] pour caractériser le pouvoir infectieux de l'inoculum utilisé et juger des potentialités du système symbiotique établi à produire les effets escomptés. La fréquence, critère qualitatif reflétant l'importance de l'infection racinaire, et l'intensité de mycorhization, exprimant la proportion du cortex colonisé par rapport à l'ensemble du système racinaire, sont estimées.

Evaluation de la croissance

Les évaluations ont été faites à 7 jours d'intervalle de 10 à 52 jours après semis sur deux plantes prélevées au hasard à 30 cm de la bordure dans deux des trois lignes centrales de chaque unité expérimentale alternativement dans les lignes 2 et 4. La hauteur de la plante a été mesurée entre le collet et la base de la dernière feuille déroulée précédant le bourgeon apical. Le nombre de feuilles déroulées/plante a été obtenu par dénombrement du nombre de feuilles présentes sur la plante à chaque période d'observation ainsi

que des nœuds déjà défoliés, en comptant deux fois le nœud cotylédonaire qui porte généralement deux feuilles simples et opposées. Des observations similaires ont été effectuées sur les plants conduits en pots sur substrat stérilisé. Les masses de matière sèches de la plante entière, des racines, de la tige, et des feuilles ont été mesurées uniquement dans les essais en champ. Elles ont été obtenues par pesée à l'aide d'une balance de précision 0,01 g, après un échantillonnage destructif, un séchage des plants à une température 75°C jusqu'à poids constant, et un refroidissement dans un dessiccateur.

Evaluation du rendement

La mesure du rendement et de ses composantes est effectuée pendant la période de formation des gousses. Des récoltes quotidiennes ont été faites sur 10 plantes choisies au hasard au-delà de 30 cm de la bordure dans la ligne centrale de chaque unité expérimentale. A chaque récolte, le nombre total de gousses fraîches de calibre marchand a été dénombré, et le poids frais total enregistré. Les gousses ont été ensuite réparties en classes de qualité fin (6,5-8 mm de diamètre) et extra-fin (5,5-6,5 mm de diamètre), puis jocket (extra-fin sans défauts). Les calibrages ont été réalisés à l'aide d'une grille de diamètre de mailles appropriées. A la fin de la période de récolte, le nombre de gousses et les poids cumulés/plant des gousses des différents calibres marchands ont été calculés.

Dosage du phosphore total des feuilles

Un gramme (1 g) de broyat sec/traitement a été minéralisé par calcination à 450°C afin de détruire les composés organiques puis attaqué à l'acide nitrique afin de solubiliser les éléments. Le dosage du phosphore s'est fait par spectrophotométrie d'absorption moléculaire à 430 nm. La teneur de l'extrait en P a été calculée selon la formule $P \text{ (ppm)} = \text{Ced} \times 1/D \times 1/Re$ où D = dilution ; Ced = concentration de l'extrait dilué ; et Re=rapport d'extraction (g /ml).

Analyse des données

Les courbes de croissance des plantes ont été construites pour chaque traitement. Les valeurs des variables de croissance à mi-cycle (52 jas, début de fructification) et toutes les variables de production ont été soumises à une analyse de la variance. Les contrastes spécifiques, identifiés a priori entre traitements, ont été testés selon la méthode des contrastes. Les moyennes des

traitements ont été séparées par le test de comparaison multiple de Duncan au seuil de quasi-certitude $\alpha = 0,05$. Les teneurs des feuilles en phosphore ont été comparées par la méthode des ratios.

RESULTATS

Mycorhization de la rhizosphère

La rhizosphère du haricot vert est colonisée en champ dans les parcelles inoculées ou non (Tableau 1). Le taux d'infection à 97 jours après inoculation (jai) (fréquence = 72% ; intensité = 27%) est plus élevé par rapport au témoin (fréquence = 45% ; intensité = 15,8%). Sur sol stérilisé, seules les plantes inoculées sont colonisées et montrent des fréquences de mycorhization de 60 % et une intensité de 22% dès 30 jai. A 90 jai la fréquence et l'intensité enregistrées sont respectivement de 95% et 55,8%. L'inféctivité de l'inoculant utilisé et le statut mycotrophique du haricot vert sont confirmés. Il est mis en évidence que les sols étudiés sont infestés par un inoculum mycorhizogène indigène et que la technique utilisée pour stériliser le substrat sol de toute trace de champignons natifs est effective.

Analyse de la croissance

L'analyse de la croissance est conduite dans cette étude pour décrire les différences entre les effets de la fertilisation phosphatée et ceux d'une inoculation endomycorhizienne à *Glomus* spp. à différentes périodes au cours du cycle de développement du haricot vert.

Nombre de feuilles/plant

Le nombre de feuilles formées par les plants de haricot vert varie peu d'un traitement à un autre au cours des 31 ou 38 premiers jours de croissance, respectivement dans les essais en champ ou sur sol stérilisé en pots (Figures 1a et 1 b). Les changements manifestés au delà de ces délais et jusqu'à la fin de la période d'observation décrivent une supériorité relative à partir de 31 jas de l'effet de l'engrais phosphaté par rapport à l'inoculation endomycorhizienne et au témoin non fertilisé et non inoculé. L'effet de l'inoculation, observé dès le 38^e jour après semis, montre une réponse positive du nombre de feuilles formées/plant par rapport au témoin (Figures 1a et 1b). Au terme de la période d'observation (52 jas), le nombre de feuilles/plant augmente de 8 et 17% respectivement chez des plantes inoculées et celles fertilisées à l'engrais phosphaté dans les

conditions de plein champ (Figures 1a et 1b). Dans les essais sur sol stérilisé, un accroissement (11%) par rapport au témoin est relevé uniquement quand les pots ont reçu de l'engrais. Les valeurs enregistrées à la fin de l'expérience sont en général réduites de plus de moitié, par rapport aux conditions de plein champ, chez les plants cultivés en pots sur sol stérilisé sous serre. Toutes les différences constatées ne sont pas statistiquement significatives (Figures 1a et 1b).

Hauteurs des plants

La hauteur des plants de haricot vert fertilisés par un apport de superphosphate triple diffère très peu de celle des plants inoculés ou des témoins

jusqu'à 31 ou 21 jas, respectivement en champ et sur sol stérilisé (Figures 1c et 1d). Des changements progressifs apparaissent ensuite et mettent en évidence une croissance caulinaire plus importante des plants fertilisés au phosphore par rapport aux plants inoculés ou témoins. La hauteur des plants à la fin de l'expérience est de 3 à 17 % supérieure à celle du témoin quand on apporte de l'engrais phosphaté respectivement en champ et sur substrat stérilisé. Elle augmente de 4 % pour les plants inoculés uniquement dans les conditions de plein champ (Figures 1c et 1d).

Tableau 1 : Etat de la mycorhization de la rhizosphère du haricot vert après inoculation ou non en champ et sur sol stérilisé

Variables d'infection mycorhizienne	Traitements				Ratio Eff. Inoculant/ Eff. engrais
	Témoin (sans phosphore, sans inoculant)	Inoculant mycorhizien	Engrais phosphaté		
Essai en champ					
Fréquence (%) 97 jai	45,5 (42,4) b ¹	72,2a (58,6) ² a	45,5 (42,4) b	1,38	
Intensité (%) 97 jai	15,8 (23,2) b	27,4 (31,4) a	21,2 (27,3) ab	1,15	
Essai en pots sur sol stérilisé					
Fréquence (%) 30 jai	0 b	60,0 (51,2) a	0 b		
60 jai	0 b	88,3 (70,2) a	0 b		
90 jai	0 b	95,0 (77,3) a	0 b		
97 jai	0 b	61,1 (51,2) a	0 b		
Intensité(%) 30 jai	0 b	22,1 (27,3) a	0 b		
60 jai	0 b	46,6 (42,9) a	0 b		
90 jai	0 b	55,8 (48,3) a	0 b		
97 jai	0 b	35,1 (32,6) a	0 b		

¹Les valeurs dans la ligne suivies par une même lettre de l'alphabet ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Duncan. ²Les valeurs entre parenthèses sont la base des comparaisons et les valeurs de la fréquence ou de l'intensité de

mycorhization transformées par $\arcsinus\sqrt{\text{pourcentage}}$. jai = jours après inoculation

Production de matière sèche végétative

La matière sèche totale (feuilles, tiges, racines) et celle des feuilles, est peu modifiée par rapport au témoin par l'engrais phosphaté ou l'inoculation endomycorhizienne jusqu'au 24^e jour après semis. Il en est de même de la matière sèche des tiges et racines jusqu'au 40^e jour (Figure 2). Au delà de ces délais, toutes les mesures de la biomasse des plantes fertilisées au phosphore ou inoculées sont plus élevées que celles des témoins (Figures 2 c et 2 d). Les valeurs de matière sèche des racines et des tiges sont quasi-comparables à toutes les périodes observées jusqu'au terme de l'essai chez les plantes inoculées ou cultivées avec engrais phosphaté. La matière sèche finale accumulée dans les tiges et les racines est respectivement supérieure de 88 et 53 % chez les

plantes fertilisées à l'engrais et de 38 et 22 % chez les plantes inoculées par rapport au témoin (Figures 2c et 2d).

La croissance de la matière sèche totale et celle des feuilles du haricot vert est plus importante dans les parcelles fertilisée à l'engrais phosphaté ou inoculée que dans le témoin. L'effet de l'engrais phosphaté, en général plus grand, se manifeste plus précocement (31 jas) que celui de l'inoculant mycorhizien (38 jas) (Figures 2a et 2b). La matière sèche totale et celle des feuilles augmentent respectivement de 116 et 95% et de 38 et 41% par rapport au témoin chez des plants cultivés avec engrais et chez ceux soumis à l'inoculation (Figures 2a et 2b).

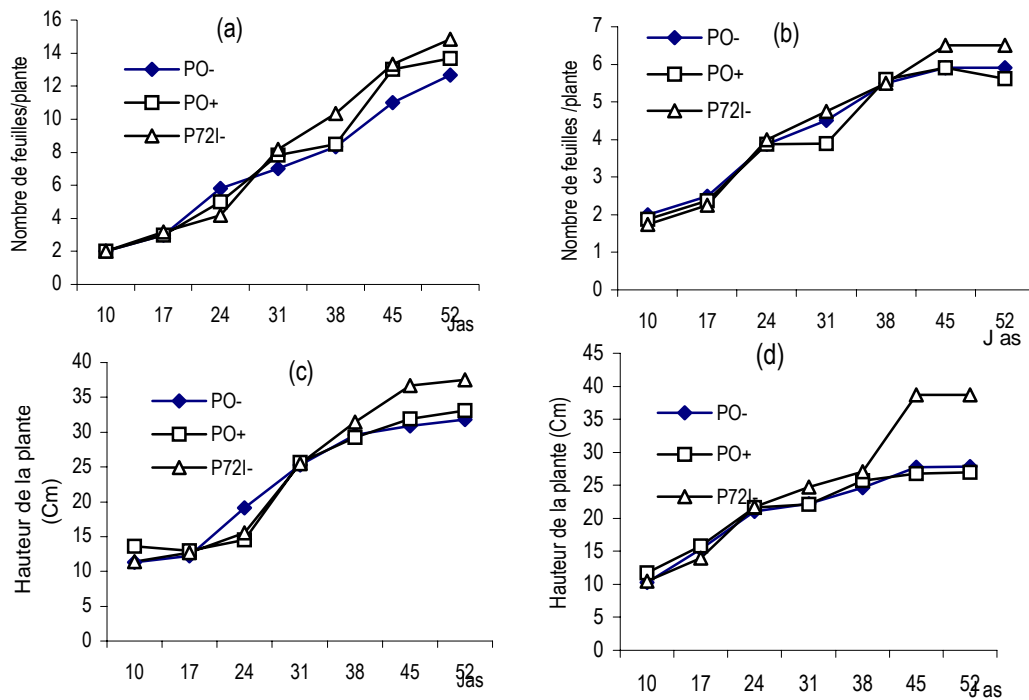


Figure 1 : Evolution en fonction du temps de la croissance du haricot vert en champ et sur sol stérilisé. a. nombre de feuilles/plante en champ ; b. nombre de feuilles/plante sur sol stérilisé ; c ; hauteur de la plante en champ ; d. hauteur de la plante sur sol stérilisé. PO- = Témoin sans phosphore et sans inoculant ; PO+ = sans phosphore et avec inoculant ; P72I- = avec Phosphore (72 kg P₂O₅) et sans inoculant. Les valeurs finales des variables sur les courbes suivies par une même lettre de l'alphabet ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Duncan. Les valeurs entre parenthèses sont les taux d'accroissement par rapport au témoin.

Effets sur le rendement en gousses vertes commercialisables

Les plantes fertilisées à l'engrais phosphaté ou inoculées produisent en moyennes plus de gousses de calibre marchand que le témoin dans les conditions de plein champ (Tableau 2). Comparativement au témoin, les valeurs obtenues sont supérieures de 49 et 82 % respectivement pour les plants inoculés et fertilisés à l'engrais. Dans l'essai conduit en pots sur sol stérilisé, le nombre de gousses/plant enregistre une baisse de 87 à 93 % par rapport aux relevés effectués en champ. Dans ces conditions, seules les plantes inoculées produisent significativement plus de gousses que le témoin (339 %). L'effet de l'engrais phosphaté n'est pas mis en évidence.

Les effets obtenus sur le poids cumulé de gousses fraîches par plant ont des tendances comparables. L'application de l'engrais phosphaté et de l'inoculum mycorhizien aux plants de haricot vert accroît le poids de gousses/plant

respectivement de 83 et 36 % dans les conditions de plein champ (Tableau 2). L'effet de l'inoculum seul est manifesté dans l'essai en serre et est traduit par une augmentation de 473 % par rapport au témoin du rendement moyen par plant.

Effets sur la nutrition phosphatée

La nutrition phosphatée est appréciée par la teneur en P total de la dernière feuille entièrement déroulée de la plante au 45^e jas (délai de floraison). On note que les feuilles des plantes fertilisées à l'engrais phosphaté ou inoculées par *Glomus* spp. renferment relativement plus de P que les plantes témoins (Tableau 3). Un ratio des dosages de P de 0,78 est estimé entre les feuilles des plants inoculés et celles des plants ayant reçu de l'engrais. Ce résultat suggère un niveau plus élevé d'absorption de phosphore par les plants fertilisés à l'engrais par comparaison à ceux inoculés par *Glomus* spp.

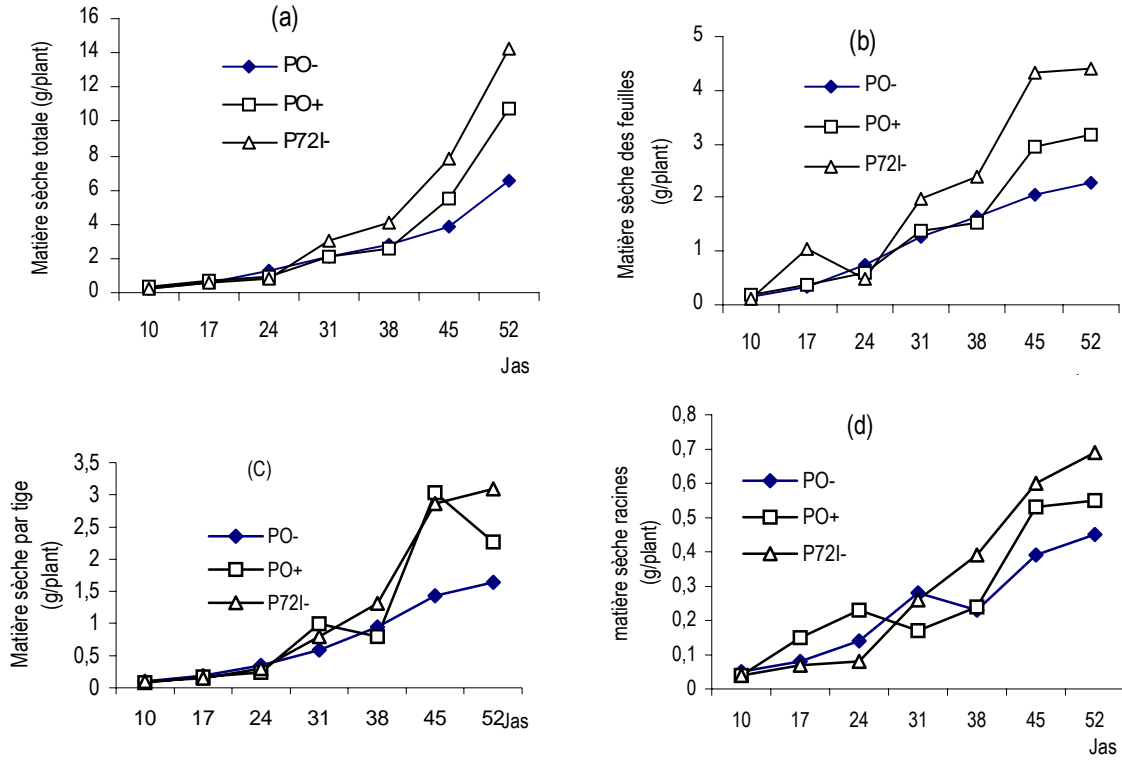


Figure 2 : Evolution en fonction du temps de la matière sèche de la plante de haricot vert dans un essai en champ au cours de la saison culturale de 2002 à Dschang.
 a. matière sèche totale ; b. matière sèche des feuilles ; c. matière sèche de la tige ; d. matière sèche des racines. PO- = Témoin sans phosphore et sans inoculant ; PO+ = sans phosphore et avec inoculant ; P72I- = avec Phosphore (72 kg P₂O₅) et sans inoculant. Les valeurs finales des variables sur les courbes suivies par une même lettre de l'alphabet ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Duncan. Les valeurs entre parenthèses sont les taux d'accroissement par rapport au témoin

Tableau 2 : Comparaison des effets de l'inoculant mycorhizien et du superphosphate triple sur la production du haricot vert à Dschang (Ouest Cameroun)

Variables de production	Traitements			Ratio Inoculant/Eff. engrais	Eff.
	Témoin phosphore, inoculant)	(sans inoculant mycorhizien sans)	Engrais phosphaté		
Essai en champ					
Nombre de gousses/plante	12,9b ¹	19,1ab (49 %) ²	23,4a (82 %)	0,82	
Poids de gousses/plante (g)	27,8 a	37,8a (36 %)	50,8a (83 %)	0,55	
Essai en pots sur sol stérilisé					
Nombre de gousses/plante	1,7b	7,3a (339 %)	1,7b (0 %)	4,39	
Poids de gousses/plante (g)	2,0b	11,4a (473 %)	4,3b (115 %)	2,66	

¹Les valeurs dans la ligne suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Duncan. ²Les valeurs entre parenthèses sont les taux d'accroissement par rapport au témoin.

Tableau 3. Comparaison des effets de l'inoculant mycorhizien et du super phosphate triple sur la teneur en phosphore de la dernière feuille entièrement déroulée à 45 j.a.s. du haricot vert dans un essai en champ à Dschang (Ouest Cameroun)

Traitement	Phosphore total (g /kg de matière sèche)
Témoin (sans inoculant, sans phosphore)	3.19
Inoculant mycorhizien (5 g /plante)	3.47 (8 %) ¹
Engrais phosphaté (72 kg de P ₂ O ₅ /ha)	4.43 (39 %)
Ratio : Inoculant /engrais phosphaté	0.78

¹Les valeurs entre parenthèses sont les taux d'accroissement par rapport au témoin.

DISCUSSION

Les blocs de Fisher sont utilisés dans tous les essais. Et les tests réalisés par analyse de la variance ne permettent pas d'une manière générale de détecter les différences aussi importantes que 116 % entre traitements. De tels résultats s'observent quand l'interaction entre blocs et traitements n'est pas négligeable. Dans ces conditions, le résidu utilisé pour éprouver la variation entre traitements est enflé et compromet l'aptitude des tests à détecter des différences réelles quand bien même elles existent. Les données récoltées au cours des essais révèlent à l'observation des écarts non constants entre traitements d'un bloc à un autre. Ce constat indique qu'une interaction existe entre les blocs et les traitements qui serait à l'origine d'une erreur de seconde espèce quasi-généralisée au cours des tests. Il n'y a pas cependant un changement de l'ordre de classement des traitements dans les différents blocs. L'interaction résulterait par conséquent d'un effet d'échelle des différences sans grande signification biologique pour le classement des traitements.

Les résultats obtenus révèlent dans l'ensemble que les plants de haricot vert inoculés par *Glomus* spp. ou fertilisés à l'engrais phosphaté ont une plus grande production de la matière sèche végétative que les plants cultivés sans engrais et sans inoculant. La croissance caulinaire et le nombre de feuilles formées sont peu affectées par l'inoculant. Les différents effets enregistrés sur la croissance sont reflétés par une plus grande production de gousses vertes commercialisables tant chez les plantes inoculées que chez celles ayant reçu de l'engrais phosphaté dans les conditions de plein champ. Dans l'essai en pots

sur sol stérilisé, cette tendance est confirmée pour les plantes inoculées mais pas pour celles fertilisées à l'engrais. L'amélioration de la croissance et de la production des plantes inoculées ou fertilisées à l'engrais dans l'essai en champ est associée à une meilleure alimentation phosphatée par rapport aux plantes témoins. L'absence de réponse à l'engrais phosphaté sur sol stérilisé pourrait être attribuée à une biodisponibilité limitante du phosphore apporté par l'engrais. Les résultats obtenus dans cette étude sont contraires à ceux obtenus dans un essai en pots sur un sol sableux de l'Afrique de l'ouest. Dans ces conditions, une addition de P au sol, a stimulé l'effet des mycorhizes sur la croissance et l'absorption de P, K, Ca, Mg, et Zn chez le sorgho et le niébé [10]. En effet, la stérilisation du sol conduit à une élimination totale de l'activité des champignons mycorhiziens indigènes du sol qui auraient joué un rôle dans l'accessibilité des plantes aux fractions peu disponibles de phosphore. Cette hypothèse ne peut malheureusement pas être confirmée dans cette étude, le P absorbé par les plantes cultivées sur sol stérilisé n'ayant pas été dosé. Il est aussi possible que la température de stérilisation ait conduit à une décomposition de la matière organique avec pour résultat la libération de l'aluminium complexé par les produits carbonés et une amplification de fixation des phosphates dans le sol.

Les observations faites à différentes périodes au cours du cycle du haricot vert montrent que l'effet de l'engrais sur l'augmentation de la matière sèche végétative se manifeste en général une semaine plus tôt que celui de l'inoculant. On peut expliquer ce résultat par une biodisponibilité

instantanée plus grande du phosphore apporté par les engrais minéraux. En effet les mycorhizes jouent un rôle de médiateur de transport qui n'est effectif qu'après l'établissement de la symbiose et de son développement jusqu'à un seuil minimum estimé entre 20 et 30 % de colonisation de la rhizosphère [11]. Dans l'ensemble, la croissance, la production de gousses vertes, et la teneur des feuilles en P sont plus élevées quand les plantes sont fertilisées à l'engrais que quand elles sont inoculées.

Cette étude confirme les effets positifs des inoculations endomycorhiziennes sur la nutrition phosphatée, la croissance, et la production des plantes. Les effets enregistrés ne permettent pas de conclure que l'utilisation de ces biotechnologies dans le contexte des sols ferrallitiques d'altitude de l'ouest Cameroun pourrait remplacer entièrement les apports phosphatés sous forme d'engrais minéraux. Les réponses obtenues indiquent cependant qu'une réduction des apports minéraux de P est possible. Des inoculations endomycorhiziennes utilisant des isolats de *Glomus etunicatum* ont provoqué un accroissement de 50 % du rendement des caféiers issus de plants précolonisés et réduits des apports phosphatés de 207 g à 100 g de P₂O₅/plant au Brésil [8].

Il est établi que la teneur du phosphore dans la solution du sol est un facteur important de régulation de la colonisation des racines par les champignons mycorhiziens. Les quantités libres dans la solution du sol du phosphore apporté par l'engrais à un instant donné dépendent de la réaction spécifique du sol. De faibles ou de fortes concentrations dans la solution du sol sont susceptibles d'inhiber la colonisation mycorhizienne [6, 8, 12, 13]. La germination en laboratoire des spores de *Glomus etunicatum* Berk. & Gerd. et de *Scutellospora heterogama* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders est stimulée par une addition dans le milieu de culture de 12,5 µg de P g⁻¹ de sol et réduite pour des doses supérieures [12]. La croissance des hyphes fongiques est également ralentie dans ces conditions quand les additions de P deviennent supérieures à 37,5 µg g⁻¹ de sol [12]. Ces auteurs observent par ailleurs que *Scutellospora heterogama* est plus sensible aux additions de P dans le milieu de culture que *Glomus etunicatum*. Déterminer les quantités de phosphore libres dans la solution du sol après addition des doses croissantes d'engrais phosphaté ainsi que l'étude

des relations entre la teneur en phosphore de la solution du sol et la colonisation des racines par les champignons mycorhiziens seraient des préalables à une gestion raisonnable de l'intégration des biotechnologies mycorhiziennes dans les politiques de fertilisation phosphatée des cultures. Des essais de substitutions des fractions de la dose recommandée d'engrais phosphaté pour chaque culture par des inoculations endomycorhiziennes constitueraient également une piste utile.

Cette étude montre que l'introduction des inoculations endomycorhiziennes dans les sols ferrallitiques réduirait des apports d'engrais minéral phosphaté en culture de haricot vert. Considérant la complexité des interactions entre le phosphore de la solution du sol et l'ineffectivité ou l'effectivité des inoculants endomycorhiziens, les conditions d'intégration de ces biotechnologies dans les pratiques de gestion de la culture de cette plante méritent d'être d'avantage examinées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Dr. D. Nwaga de l'Unité de Microbiologie Appliquée et des Biofertilisants, Département de Biologie et Physiologie végétales de l'Université de Yaoundé I, Cameroun pour l'inoculum utilisé dans cette étude et Dr. A. Mvondo Zé, Chef du laboratoire des sols et environnement, Département des Sciences du sol de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang, pour la revue du manuscrit.

REFERENCES

1. Grangeret-Owona I. 1997. L'agriculture Bamiléké vue à travers sa gestion de la fertilité agronomique, dissertation originale en vue du grade de Docteur en Sciences agronomiques et Ingénierie biologique, Faculté des Sciences Agronomiques, Gembloux. 300p.
2. Compaoré E., Fardeau J.-C., Morel J.-L. and Sedogo M.P. 2001. Le phosphore biodisponible des sols: une clé de l'agriculture durable en Afrique de l'ouest. *Cahiers Agricultures* 10 : 81-85
3. Abott L. K and Robson A.D. 1984. The effect of VA mycorrhizae on plant growth. In : L. I. Conway., D. Powell and B. J. Joseph (Eds). *VA mycorrhiza*, Boca Roton, Fla. C R C Press: 113-130.

4. Dodd J.C. 2000. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro- and natural ecosystems. *Outlook on Agriculture* 29 : 55-62.
5. Gaber J. B, Raymond L.F. and Milford S. B. 1990. Nutrition of mycorrhizal soybean evaluated by the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). *Agron. J.* 82 : 302-304.
6. Gervy R. 1986. Mycorrhizes et nutrition NP. *Fertilisants et Agriculture* 91 : 29-32.
7. Gianinazzi-Pearson, V. 1986. Les mycorrhizes : moyen d'améliorer l'utilisation des engrais phosphates. *Fertilisants et Agriculture* 92 : 1-11.
8. Siqueria J.O., Saggin-Junior O.J., Flores-Aylas W.W. and Guimaraes P.T.G. 1998. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza* 7: 293-300.
9. Trouvelot A, Kouch J.L. and Gianinazzi-Pearson V. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche des méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In : V. Gianinazzi-Pearson et S. Gianinazzi (Eds). *Physiology and genetical aspects of mycorrhizae*. INRA, Paris : 217-221.
10. Bagayoko M, George E., Römheld V. and Buerkert A. 2000. Effects of mycorrhizae and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cowpea and sorghum on a West African soil. *Journal of Agricultural Science* 135 : 399-407.
11. Cooper K.M. 1984. Physiology of VA mycorrhizal associations. In: Schenck (ed). *Method and principles of mycorrhizal research* : 156-178.
12. De Miranda J.C.C. and Harris P.J. 1994. Effects of soil phosphorus on spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 128 : 103-108.
13. Sylvia D.M. and Neal L.H. 1990. Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. *New Phytol.* 115 : 308-310.