



Impacts des conditions pédoclimatiques et du mode cultural sur la réponse du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) à l'inoculation endomycorhizienne avec *Rhizophagus irregularis*

Ibou DIOP^{1,2}, Aboubacry KANE^{1,2}, Tatiana KRASOVA- WADE², Kadidia B. SANON³, Pascal HOUNGNANDAN⁴, Marc NEYRA⁵, Kandioura NOBA¹

¹Département de Biologie Végétale, Faculté des sciences et techniques, Université Cheikh Anta Diop, BP 5005, Dakar-Fann, Sénégal

²Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM, IRD/ISRA/UCAD), Bel-Air BP 1386, CP 18524, Dakar-Sénégal

³Laboratoire de Microbiologie, INERA/DPF BP 7047 Ouagadougou 03, BURKINA FASO.

⁴Laboratoire d'Écologie Microbienne, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Abomey-Calavi, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou, Bénin

⁵IRSTEA Lyon, Équipe EMHA, Écologie Microbienne des Hydrosystèmes Anthropisés UR MALY/MAEP, Milieux Aquatiques, Écologie et Pollutions, 3 bis quai Chauveau, CP 220, F-69336 Lyon cedex 09.

* Ibou DIOP : d_ibou@yahoo.fr, Aboubacry KANE: abou@refer.sn, Tania KRASOVA-WADE: Tania.wade@ird.fr, Kadidia. B SANON: sbkady@gmail.com, Pascal HOUNGNANDAN: phoungnandan@yahoo.com, Marc NEYRA: marc.neyra@irstea.fr, Kandioura NOBA: kandioura.noba@ucad.edu.sn,

Correspondant: Ibou DIOP : Adresse : Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM, IRD/ISRA/UCAD), Bel-Air BP 1386, CP 18524, Dakar-Sénégal, Tel: (+221) 770726359, Fax: (+221) 338493302, E-mail: d_ibou@yahoo.fr
Original submitted in on 3rd June 2013 Published online at www.m.elewa.org on 30th September 2013.

RESUME

Objectif : *Vigna unguiculata* L. Walp. est une espèce d'intérêt économique et écologique au Sénégal. Cependant, son rendement reste faible suite à la baisse de la fertilité des sols et de la pluviométrie. L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence des conditions pédoclimatiques et du mode cultural sur la réponse du niébé à l'inoculation avec *Rhizophagus irregularis*.

Méthodologie et Résultats : L'étude a été réalisée dans deux sites à pluviométries contrastées (Diokoul et Darou Mousty). Des expérimentations en culture pure de niébé ont été réalisées à Diokoul. A Darou Mousty, la culture pure a été comparée à une culture associée au mil. Après 30 jours de culture, les paramètres de croissance et de mycorhization ont été mesurés et les teneurs en éléments minéraux des sols déterminées. Les résultats montrent des effets positifs significatifs ($P \leq 0,05\%$) de l'inoculation sur les paramètres de mycorhization, les biomasses aérienne et racinaire des plantes et sur les teneurs en P et N des sols notamment à Diokoul (zone soudano-sahélienne).

Conclusion et application : L'inoculation avec des champignons endomycorhiziens améliore la croissance des plantes. Les résultats montrent également une réponse à l'inoculation en culture pure plus marquée en zone soudano-sahélienne (Diokoul) qu'en zone sahélienne (Darou Mousty). En culture associée, un effet dépressif

de l'inoculation sur la croissance du niébé a été noté, attestant ainsi l'influence du mode cultural sur la réponse à l'inoculation endomycorhizienne. En culture pure, l'inoculation avec *R. irregularis* peut être une alternative pour améliorer la croissance et la productivité du niébé.

Mots clés : *Vigna unguiculata* (L.) Walp, *Rhizophagus irregularis*, mode cultural, conditions pédoclimatiques. Inoculation, Sénégal

Impacts of pedoclimatic conditions and cropping system on the response of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) to inoculation with endomycorrhizal *Rhizophagus irregularis*

ABSTRACT

Objective: *Vigna unguiculata* L. Walp. is a species of economic and ecological interest in Senegal. However, its efficiency is low due to declining soil fertility and rainfall. The objective of this study was to determine the influence of soil and climatic conditions and crop mode on the cowpea response to inoculation with *Rhizophagus irregularis*.

Methodology and Results: The study was conducted at two sites with contrasting rainfall (Diokoul and Darou Mousty). Experiments with pure crop of cowpea were performed Diokoul. At Darou Mousty, the pure crop farming was compared with farming associated with millet. After 30 days, the growth parameters and mycorrhizal were measured and mineral contents of soil determined. The results show significant ($P \leq 0.05\%$) inoculation of mycorrhizal parameters, root and shoot biomass of plants. Positive effects were seen on the levels of N and P soil in Diokoul (Sahelian zone).

Conclusion and Application: The inoculation with endomycorrhizal fungi enhances plant growth. The results also show a more pronounced response to inoculation in pure crop farming in the Sudano-Sahelian zone (Diokoul) in Sahel (Darou Mousty). In intercropping, a depressive effect of inoculation on the growth of cowpea was noted. In pure cropping, inoculation with *R. irregularis* can be an alternative to improve the growth and productivity of cowpea.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, *Rhizophagus irregularis*, cultural mode, soil and climatic conditions. Inoculation, Senegal

INTRODUCTION

Le niébé (*Vigna unguiculata* (L.)Walp) est une légumineuse traditionnellement cultivée au Sénégal. Son mode cultural varie suivant les zones agro-écologiques du pays (Almeida, 1986). Dans la vallée du fleuve Sénégal, la culture du niébé est pratiquée sur les berges du fleuve après la décrue (culture de décrue). Dans les autres régions, sa culture est essentiellement sous pluviale. En culture de décrue comme en culture sous pluviale, le niébé est généralement en culture pure ou en association avec le mil, le maïs, le sorgho ou l'arachide (Almeida, 1986). C'est une légumineuse à graines dont les jeunes feuilles, les gousses et les graines constituent des sources de protéines, de vitamines et d'éléments minéraux pour l'alimentation humaine et animale (Cissé & Hall, 2003). De plus, dans certaines régions d'Afrique de l'Ouest et du Centre, la commercialisation des fanes de niébé stockées

est une source de revenus pour les paysans durant la saison sèche. Sa culture contribue également à la restauration de la fertilité des sols grâce à son haut potentiel de fixation biologique de l'azote (Bado, 2002; Graham & Vance, 2003). Cependant, le rendement moyen à l'hectare de la culture du niébé reste relativement instable. Il varie entre 50 à 550 kg/ha en Afrique et est fonction des conditions climatiques, des variétés, des systèmes de culture et du niveau d'utilisation des intrants et des pesticides (Cissé & Hall, 2003). Ces rendements sont jugés faibles comparativement au rendement potentiel pouvant atteindre 1000kg/ha et 3000 kg/ha respectivement pour les variétés sénégalaises Mélékh et Mouride (Cissé & Hall, 2003). En culture pure, mode cultural le plus fréquent au Sénégal, le rendement national est estimé à 543kg/ha. Les faibles rendements observés sont dus, entre autre,

aux faibles pluviométries et à un appauvrissement des sols en éléments minéraux essentiels (phosphore et l'azote). Toutefois, le niébé a l'avantage de former une double symbiose avec les bactéries du genre rhizobium et les champignons mycorhiziens arbusculaires (MA) du sol. Les champignons mycorhiziens sont des microorganismes omniprésents dans différents écosystèmes terrestres (Öpik *et al.*, 2006) où ils jouent un rôle écologique important en assurant à la majorité des plantes terrestres une amélioration de la nutrition hydrominérale (Augé, 2004; Marulanda *et al.*, 2006; Yaseen *et al.*, 2011). Ces microorganismes symbiotiques sont des biofertilisants naturels de plus en plus utilisés pour augmenter la productivité des plantes. Cependant, les niveaux de performances diffèrent et dépendent de l'aptitude des souches mycorhiziennes à accroître la croissance et la santé des végétaux (Avio *et al.*, 2008). Ainsi, suivant les conditions pédoclimatiques (Johnson *et al.*, 1997) et la souche utilisée (Facelli *et al.*, 2010), les champignons MA peuvent aussi aider les plantes inoculées à mieux absorber le phosphore du sol dans les conditions de

cultures associées (Cavagnaro *et al.*, 2004; Facelli *et al.*, 2010).

Par ailleurs, le développement et la productivité du niébé dépend beaucoup des conditions pédoclimatiques telles que la température, la texture du sol, la pluviométrie, les éléments minéraux, etc. A titre d'exemple, le niébé se développe mieux sur des sols sableux ou l'aération permet un développement des racines et par conséquent un bon développement de la plante (Cissé *et al.*, 1996). Il atteint également un optimum de développement à des pH neutres et à des températures voisines de 28°C (Craufurd *et al.*, 1997). Cette étude a donc pour objectif de déterminer la réponse du niébé à l'inoculation endomycorhizienne avec *R. irregularis* dans deux sites à conditions pédoclimatiques contrastées et suivant le mode cultural. De façon spécifique, il s'agira : (1) d'évaluer les effets de l'inoculation endomycorhizienne sur la croissance du niébé en culture pure dans les deux sites ; et (2) de déterminer sur un des sites (Darou Mousty), l'effet du mode cultural (culture pure vs culture associée) sur la réponse du niébé à l'inoculation endomycorhizienne.

MATERIELS ET METHODES

Sites de l'étude : L'étude a été réalisée au Sénégal, dans deux sites à pluviométries contrastées. Darou Mousty dans la région de Louga (nord du Sénégal) qui se caractérise par un climat sahélien à pluviométrie moyenne annuelle variant entre 250 et 500 mm par an et Diokoul, dans la région de Kaolack (centre du Sénégal) à climat soudano-sahélien avec une pluviométrie variant entre 500 et 900 mm par an. Les sols des parcelles expérimentales des deux sites sont ferrugineux tropicaux faiblement lessivés. Ces sols de type Dior ont des proportions sensiblement identiques en sables totaux avec 77,41% et 76,57%, en limons et en argiles avec 22,58 et 23,43% respectivement pour Diokoul et Darou Mousty. Les pH eau, sont légèrement acides et tournent autour de 5 dans les deux sites de l'étude. Le taux de phosphore assimilable est plus élevé à Diokoul (5,62mg/kg) qu'à Darou Mousty (3,75 mg/kg) alors que le contraire a été noté avec le phosphore total (avec 54mg/kg à Darou Mousty contre 41mg/kg de sol à Diokoul). Cependant les taux d'azote total (0,08%), de

carbone organique (0,79%) et le rapport C/N (9,42) sont proches dans les deux sites.

Matériel végétal : Les graines de niébé utilisées sont de la variété « Mélakh » sélectionnée par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA/ISRA) de Bambey (Sénégal), et nous ont été fournies par le service semencier de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA, Sénégal). Mélakh est une variété hâtive à cycle court de 55 et 60 jours et principalement cultivée dans les zones à pluviométrie faible à moyenne.

Inoculum endomycorhizien : La souche endomycorhizienne *Rhizophagus irregularis* (DAOM181602) utilisée, provient de la collection du Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM, IRD/ISRA/UCAD). Elle a été multipliée en serre sur le mil (*Pennisetum glaucum*) qui est une plante mycotrophe. L'inoculum est obtenu après 4 mois de culture sur du sable grossier de plage préalablement stérilisé à 120 °C pendant 2h et est constitué d'un mélange de sable et de propagules endomycorhiziennes (spores, hyphes, fragments de racines mycorhizées).

Dispositif expérimental et inoculation : En culture pure comme en culture associée, le dispositif expérimental est composé de quatre blocs de quatre parcelles élémentaires chacun, soient seize parcelles élémentaires d'une superficie de 64 m² chacune. Les parcelles élémentaires sont séparées les unes des autres par des allées de 1 m de large. Dans la parcelle élémentaire, la distance entre les poquets sur une même ligne et entre deux lignes est de 40 cm. Le semis du niébé a été effectué en début de saison des pluies (mois de juillet) en raison de deux graines par poquet. A Diokoul, le facteur inoculation (inoculé et non inoculé) a été étudié en culture pure. A Darou Mouty, en plus du facteur inoculation, le facteur mode cultural (culture pure et culture associée de *Pennisetum glaucum*) a été étudié sur deux parcelles expérimentales différentes. En culture pure comme en culture associée, huit des seize parcelles élémentaires ont été inoculées avec *R. irregularis* et les huit autres ont servi de témoin. L'inoculation endomycorhizienne a été réalisée au semis en raison de 20 g d'inoculum par poquet.

Échantillonnage de plants et coloration des racines : Les prélèvements ont été effectués au trentième jour après semis (stade début floraison). Pour chaque traitement, vingt quatre plants à raison de trois par parcelle élémentaire ont été échantillonnés de façon aléatoire dans chaque parcelle expérimentale. Les parties aériennes et racinaires de douze plants ont été séparées et séchées à l'étuve 30°C pendant 48 h pour évaluer leurs biomasses sèches. Les racines des douze autres plants ont été soigneusement prélevées, rincées et colorées suivant la méthode de (Phillips & Hayman, 1970) afin d'évaluer les paramètres de mycorhization.

RESULTATS

Effets des interactions des facteurs étudiés sur les paramètres de croissance du niébé

Interaction inoculation et site expérimental : Le tableau 1 présente les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) des effets des deux facteurs (inoculation et site) et de leur interaction sur les paramètres mesurés. Ces résultats montrent que les effets de l'inoculation sont très significatifs sur l'intensité de mycorhization et peu significatifs sur la fréquence de mycorhization et les

Échantillonnages et analyses des sols : Les échantillonnages de sol ont été effectués dans chaque parcelle expérimentale avant et après la culture du niébé. Avant semis, le sol a été prélevé en dix endroits de la parcelle à l'horizon 0-40 cm pour faire un échantillon composite d'environ 2 kg. Trente jours après la culture des échantillons de sol ont été prélevés, pour chaque traitement, dans la rhizosphère de douze plants de niébé au même horizon (0-40 cm). Les sols en provenance de la rhizosphère des plants d'un même traitement ont été mélangés pour constituer un échantillon composite à partir duquel ont été prélevés des aliquots pour les analyses chimiques. Les analyses des caractéristiques physiques et chimiques notamment les teneurs en azote, en phosphore et en carbone des sols des deux sites ont été effectuées par le laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) certifié ISO 9001 version 2000 et l'Institut National de Pédologie du Sénégal (INP).

Paramètres évalués : Les biomasses aérienne et racinaire sèches des plants ont été déterminées. Les paramètres de mycorhization (fréquence et intensité de mycorhization) ont été évalués par la méthode de (Trouvelot *et al.*, 1986). Les teneurs des sols en azote, en phosphore et en carbone ont été également déterminées.

Analyse statistique : Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel XLSTAT version 2010. Le test de Student-Newman-Keuls a permis de comparer les moyennes des variables mesurées au seuil de probabilité de 5 % ($p \leq 0,05$). Une analyse de variance ANOVA à deux facteurs a été faite avec le même logiciel d'analyse statistique.

biomasses des plants ($p < 0,05$). Par contre, les effets du facteur site sont hautement significatifs ($p < 0,0001$) sur les biomasses des plants, peu significatifs sur l'intensité de mycorhization ($p < 0,05$) et pas significatifs sur la fréquence de mycorhization. L'interaction inoculation / site révèle des effets peu significatifs sur la fréquence de mycorhization et la biomasse racinaire et non significatifs sur les autres paramètres mesurés.

Tableau 1 : Effets des facteurs inoculation et sites et de leur interaction sur les paramètres mesurés

Traitements	BA (mg)	BR (mg)	BT (mg)	BR/BA	FM (%)	IM (%)
Inoculation	0,029	0,019	0,024	0,063	0,019	0,001
Sites	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,289	0,016

Diop et al. J. Appl. Biosci. 2013. Impacts des conditions pédoclimatiques et du mode cultural sur la réponse du niébé à l'inoculation endomycorhizienne avec *Rhizophagus irregularis*

Inoculation x Sites	0,064	0,014	0,051	0,083	0,031	0,333
---------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

*, **, *** et NS indiquent le niveau de significativité à $p < 0,05$, $0,001$, $0,0001$ et non significatif

Interaction inoculation et mode cultural sur les paramètres mesurés dans le site de Darou Mousty : A Darou Mousty, les résultats des effets des facteurs inoculation et mode cultural et de leur interaction sur les paramètres mesurés sont représentés dans le tableau 2. Les facteurs inoculation et mode cultural ont, séparément, des effets hautement significatifs sur les biomasses aérienne et totale des plants, peu significatifs

sur la biomasse racinaire, le rapport BR/BA et les paramètres de mycorhization à l'exception du mode cultural dont l'effet sur la fréquence de mycorhization est non significatif. L'interaction entre les deux facteurs est peu significatif sur les biomasses et la fréquence de mycorhization et non significatif sur le rapport BR/BA et l'intensité de mycorhization.

Tableau 2 : Effets des facteurs inoculation et mode cultural et de leur interaction sur les paramètres mesurés dans le site de Darou Mousty

Traitements	BA (mg)	BR (mg)	BT (mg)	BR/BA	FM (%)	IM (%)
Inoculation	<0,0001	0,011	<0,0001	0,013	0,021	0,002
Mode cultural	<0,0001	0,011	<0,0001	0,030	1,000	0,016
Inoculation x mode cultural	0,003	0,005	0,003	0,248	0,049	0,315

*, **, *** et NS indiquent le niveau de significativité à $p < 0,05$, $0,001$, $0,0001$ et non significatif

Influence de l'inoculation endomycorhizienne sur les paramètres de croissance et de mycorhization des plants de niébé : A Diokoul, les fréquences de mycorhization sont élevées (>70 %) quelque soit le traitement (inoculé ou non inoculé) et ne présentent pas de différence significative entre elles. Cependant, il y a une augmentation significative de l'intensité de

mycorhization des racines des plants inoculés comparativement aux plants témoins. En culture pure, l'inoculation du niébé avec le champignon MA, *R. irregularis* a entraîné, comparativement aux témoins, des augmentations significatives des biomasses aérienne (+51%), racinaire (+52%) et totale (+51,47%) des plants (Tableau 3).

Tableau 3 : Effet de l'inoculation endomycorhizienne sur la croissance et la mycorhization de plants de niébé en culture pure dans le site de Diokoul

Traitements	Diokoul					
	BA (mg)	BR (mg)	BT (mg)	BR/BA	FM (%)	IM (%)
Non inoculés	314,6a	30,2a	344,8a	0,10a	75a	18,5a
Inoculés	476,2b	46,1b	522,3b	0,11a	76a	23,2b

Sur une colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student Newman-Keuls ($p < 0,05$). BA : Biomasse aérienne, BR : Biomasse racinaire, BT : Biomasse totale, FM : Fréquence de mycorhization, IM : intensité de mycorhization

A Darou Mousty, en culture pure, l'inoculation endomycorhizienne a eu un effet positif significatif sur les fréquences et les intensités de mycorhization des racines des plants en culture pure avec des augmentations de 34,8% et 38,9% respectivement. Contrairement à Diokoul, l'inoculation avec *R. irregularis* n'a pas amélioré

significativement les biomasses aérienne, racinaire et totale des plants de niébé en culture pure à Darou Mousty, bien que des augmentations de 20,1%, 3% et 16,4% respectivement pour les biomasses aérienne, racinaire et totale soient enregistrées (Tableau 4).

Tableau 4 : Effet de l'inoculation avec *Glomus irregulare* sur la croissance et la mycorhization de plants de niébé en culture pure et associée au mil dans le site de Darou Mousty

Traitements	BA (mg)	BR (mg)	BT (mg)	BR/BA	FM (%)	IM (%)
Culture pure (niébé)						

Diop et al. J. Appl. Biosci. 2013. Impacts des conditions pédoclimatiques et du mode cultural sur la réponse du niébé à l'inoculation endomycorhizienne avec *Rhizophagus irregularis*

Non inoculés	70,6a	13,4a	84,4a	0,16a	69a	21,35a
Inoculés	84,8a	13,8a	98,2a	0,24a	93b	29,65b
Culture associée (niébé/mil)						
Non inoculé	159,8b	26,1b	181,4b	0,17a	80a	18,5a
Inoculé	83a	13,4a	96,4a	0,14a	82a	22,95a

Pour chaque type de culture, sur une colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student Newman-Keuls ($p < 0,05$). BA : Biomasse aérienne, BR : Biomasse racinaire, BT : Biomasse totale, FM : Fréquence de mycorhization, IM : intensité de mycorhization

En culture associée (niébé/mil), l'augmentation de la fréquence (2,5%) et de l'intensité (24,1%) de mycorhization est non significative. De plus, l'inoculation avec *R. irregularis* a eu un effet dépressif significatif sur les biomasses aérienne (-92,5%), racinaire (-61,2%) et totale (-88,2%) des plants. Par contre, le rapport biomasse racinaire /biomasse aérienne (BR/BA) a légèrement augmenté.

Effet de l'inoculation endomycorhizienne sur les propriétés chimiques des sols : Le tableau 5 présente les résultats obtenus sur les teneurs en éléments minéraux essentiels des sols après culture des parcelles

témoins et inoculées à Diokoul. L'inoculation avec *R. irregularis* a entraîné une amélioration des teneurs en phosphore total et assimilable, en azote et en carbone du sol. Contrairement à Diokoul, l'effet de l'inoculation endomycorhizienne sur les teneurs en éléments minéraux essentiels du sol n'est pas significatif aussi bien en culture pure qu'en culture associée à Darou Mousty (Tableau 6). Cependant, on note une augmentation du taux d'azote total (+42%) et une baisse du taux de carbone (-11%). Dans la parcelle en culture associée, l'inoculation n'a pas eu d'effet significatif sur le taux d'azote total du sol.

Tableau 5 : Effet de l'inoculation endomycorhizienne sur les teneurs en éléments minéraux du sol dans la parcelle de niébé en culture pure à Diokoul

Traitements	Phosphore total (mg/kg)	Phosphore assimilable (mg/kg)	Azote total (%)	Carbone total (%)
Non inoculés	34	4,02	0,06	0,66
Inoculés	40	4,42	0,08	1,06

Tableau 6 : Effet de l'inoculation endomycorhizienne sur les teneurs en éléments minéraux du sol dans les parcelles de niébé en culture pure et en culture associée à Darou Mousty

Traitements	Phosphore total (mg/kg)	Phosphore assimilable (mg/kg)	Azote total (%)	Carbone total (%)
Culture pure				
Non inoculés	50	3,62	0,07	1,19
Inoculés	50	3,76	0,1	1,06
Culture associée				
Non inoculés	50	2,95	0,07	0,92
Inoculés	52	3,48	0,07	0,99

DISCUSSION

Ce travail a permis d'évaluer et de comparer la réponse du niébé à l'inoculation endomycorhizienne avec *R. irregularis* dans deux sites, l'un en zone sahéenne et le second en zone soudano-sahéenne. En zone

sahéenne, en plus de l'effet du facteur inoculation sur la culture, le facteur mode cultural a également été étudié. Les résultats montrent que l'inoculation avec *R. irregularis* améliore significativement la biomasse

aérienne du niébé au champ en zone soudano-sahélienne (+51%). Des résultats similaires avaient été observés sur le niébé mais en conditions semi-contrôlées par Haro *et al.* (2012) et également sur d'autres espèces végétales (Bâ *et al.*, 2001; Avio *et al.*, 2006). Cet effet positif de l'inoculation au champ sur la croissance des plants de niébé serait dû en grande partie à une meilleure amélioration de la nutrition phosphatée. En effet, les plantes inoculées, sont capables d'absorber le phosphore au-delà de plusieurs centimètres de la zone d'absorption de la racine grâce à une meilleure exploration du sol par des hyphes des champignons MA (Smith *et al.*, 2000; Drew *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2004). Les hyphes fongiques, entrent dans les pores du sol à faible diamètre inaccessibles aux racines (Smith & Read, 1997) et sont capables de sécréter des enzymes comme les phosphatases pour libérer le phosphore à partir de la matière organique (Joner & Johansen, 2000). En plus du phosphore, le taux d'azote dans la rhizosphère des plantes inoculés a aussi augmenté de 33,3%. Selon (Artursson *et al.*, 2006), une meilleure fixation d'azote grâce à une synergie entre le champignon MA et les rhizobiums serait à l'origine de l'augmentation des quantités d'azote totale du sol observée à la sénescence des nodules. D'autre part, la décomposition de la matière organique azotée grâce aux hyphes fongiques contribuerait à cette augmentation des quantités d'azote dans la rhizosphère des plants inoculés (Artursson *et al.*, 2006; van der Heijden *et al.*, 2006).

L'inoculation avec *R. irregularis* a également permis une augmentation significative de la biomasse racinaire (+52%) en zone soudano-sahélienne (Diokoul). Ces résultats sur le niébé, sont conformes à ceux de Smith *et al.* (2000) et de Avio *et al.* (2006) sur *Medicago sativa*. Les facteurs expliquant l'augmentation de la biomasse racinaire restent encore mal connus (Cornet & Diem, 1982). Cependant, certains auteurs comme Scagel & Liderman (1998) pensent que des phytohormones comme l'AIA (Acide-Indole-Acétique) et l'Éthylène seraient responsables de l'augmentation de la biomasse racinaire constatée.

Contrairement à la zone soudano-sahélienne (Diokoul) où l'inoculation a produit des effets positifs, aucun effet significatif de l'inoculation sur les biomasses des plants n'a été observé en zone sahéenne (Darou Mousty), suggérant un effet site fortement marqué par rapport à l'effet inoculation. L'hétérogénéité suivant les sites de certains facteurs dont l'humidité du sol (Nelsen & Safir, 1982), le niveau du phosphore dans le sol (Boukcim & Moussain, 2001), la lumière (Bethlenfalvay & Pacovsky,

1983), la température du sol (Haugen & Smith, 1992), expliquerait les différences dans la réponse à l'inoculation suivant les sites. Dans notre étude, le gradient pluviométrique et le niveau du phosphore dans le sol seraient les facteurs les plus influents. En effet, comparé au site de Diokoul où la réponse à l'inoculation est positive, le site de Darou Mousty affiche des taux de phosphore assimilables 1,5 fois plus faibles. Il est bien établi que la réponse à l'inoculation est tributaire du niveau de phosphore assimilable du sol (Graham & Abbott, 2000; Li *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2008) et le faible niveau de phosphore assimilable dans le sol, inhibe les effets positifs de l'inoculation sur la croissance plantes (Li *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2008). De plus, à Darou Mousty en culture pure, en dépit des paramètres de mycorhization significativement plus élevés chez les plantes inoculées, il n'y a pas eu d'effet positif significatif sur la croissance. Smith *et al.* (2004) avaient conclu que les intensités de mycorhization ne sont pas toujours corrélées à la croissance des plantes.

L'effet du mode cultural a été également étudié en zone sahéenne (Darou Mousty). Les résultats obtenus montrent un effet dépressif de l'inoculation endomycorhizienne sur les biomasses aérienne, racinaire, et totale des plants de niébé inoculés en culture associée. Comparée à la culture pure, l'association mil/niébé influence négativement la réponse du niébé à l'inoculation endomycorhizienne, suggérant un effet mode cultural. Cet effet dépressif de l'inoculation sur les biomasses avait été signalé sur d'autres cultures par plusieurs auteurs (Graham & Abbott, 2000; Plenchette *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2008). Plenchette *et al.* (2000) expliquent les effets dépressifs notés dans son expérimentation par les conditions déficientes de photosynthèse. Cependant, la croissance des plantes suite à l'inoculation, décroît considérablement avec une augmentation de la densité des plantes (Facelli *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2008). Ces deux hypothèses pourraient être prises en compte dans nos conditions expérimentales. L'association du niébé à du mil augmente la densité des plants (mil et niébé) par unité de surface et le mil peut créer un effet ombrage sur le niébé qui est une plante rampante. L'augmentation de la densité des plantes augmenterait la compétition interspécifique et réduirait l'apport du phosphore par la voie fongique. Cette compétition est d'autant plus importante que le niveau de phosphore assimilable du sol est faible. Dans ces conditions, les coûts de la symbiose, par rapport au bénéfice apporté par le champignon,

pourrait entraîner un effet dépressif sur la croissance des plants inoculés (Johnson *et al.*, 1997; Li *et al.*, 2008). En zone soudano-sahélienne (Diokoul, 500 à 900 mm de pluie /an), l'amélioration de la nutrition phosphatée des plants de niébé s'est accompagnée d'une meilleure fixation d'azote. Cependant, ce résultat positif n'a pas été

CONCLUSION

Ce travail a permis d'étudier l'effet de l'inoculation d'une variété sénégalaise de *Vigna unguiculata* avec une souche fongique *R. irregularis* en milieu réel dans deux zones à pluviométrie contrastées. L'inoculation avec *R. irregularis* améliore la croissance des plantes en zone soudano-sahélienne (Diokoul) grâce à une meilleure nutrition phosphatée. Cette réponse à l'inoculation du niébé varie suivant les sites et dépendrait beaucoup du niveau de phosphore assimilable dans le sol. Quant à

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le projet « Mycovigna » du programme CORUS 6121 financé par le Ministère Français des Affaires étrangères et européennes. Ils

BIBLIOGRAPHIE

- Almeida AM. 1986. *Contribution à l'étude climatique de la culture du niébé du Sénégal*. Troisième cycle thèse, Université de Dijon France.
- Artursson V, Finlay R, Jansson JK. 2006. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. *Environmental Microbiology* 8(1): 1-10.
- Augé RM. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 373-381.
- Avio L, Pellegrino E, Bonari E, Giovannetti M. 2006. Functional diversity of arbuscular mycorrhizal fungal isolates in relation to extraradical mycelial networks. *New Phytologist* 172: 347-357.
- Avio L, Pellegrino E, Bonari E, Giovannetti M 2008. Natural biofertilizers for organic agriculture: productivity and nutrient uptake of *Medicago sativa* inoculated with different arbuscular mycorrhizal fungi. Modena (Italy): 16th IFOAM Organic World Congress.
- Bâ AM, Guissou T, Duponnois R, Plenchette C, Sacko O, Sidibé D, Sylla K. 2001. Mycorrhization contrôlée et fertilisation phosphatée : application à la domestication du jujubier. *Fruits* 56 261-269.
- Bado BV. 2002. *Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones*

observé en zone sahélienne (Darou Mousty, 250 à 500 mm de pluie /an), probablement à cause de la compétition exercée par les champignons MA indigènes comme signalé par Brunck *et al.*(1990) ou de la carence en phosphore assimilable.

l'effet mode cultural, les résultats montrent qu'en conditions de faible teneur en phosphore assimilable, une culture associée au mil peut entraîner un effet dépressif sur la croissance du niébé. L'inoculation du niébé au champ pourrait donc permettre d'améliorer la productivité du niébé au champ en culture pure. Il serait cependant indispensable de tenir compte du taux de phosphore du sol et du gradient pluviométrique.

remercient aussi Dr Fatou Ndoye (LCM, IRD/ISRA/UCAD, Dakar-Sénégal) pour sa contribution à la correction de ce manuscrit.

guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat thèses, de Laval Québec.

Bethlenfalvay GJ, Pacovsky RS. 1983. Light effects in mycorrhizal soybeans. *Plant Physiology* 73: 969-972.

Boukcim H, Moussain D. 2001. Effet de la fertilisation phosphatée sur la mycorrhization, la croissance et la nutrition en phosphore de semis de Cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) inoculé en pépinière par *Tricholoma tridentinum*. Sing.Var. *Cedretorium* Bon. *Annals of forest science* 58 (3) 289-300.

Brunck F, Colonna JP, Ducouso M, Gallina A, Prin Y, Roederer Y, Sougoufara B, Dommergues YR. 1990. La maîtrise de l'inoculation des arbres avec leurs symbioses racinaires : Synthèse d'une sélection d'essai mis en place en Afrique francophone *Bois et Forêts des Tropiques* 223: 24-42.

Cavagnaro TR, Smith FA, Hay G, Carne-Cavagnaro VL, Smith SE. 2004. Inoculum type does not affect overall resistance of an arbuscular mycorrhiza-defective tomato mutant to colonisation but inoculation does change competitive interactions with wild-type tomato. *New Phytologist* 161: 485-494.

- Cissé N, Hall AE. 2003. Traditional Cowpea in Senegal, cas study. www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/cowpea_cisse/cowpea_cisse_e.htm
- Cissé N, Thiaw S, Ndiaye M, Hall AE 1996. Guide de production de niébé. Sénégal: Institut de Recherches Agricoles (ISRA). 1-12.
- Cornet F, Diem HG. 1982. Etude comparative de l'efficacité des souches de rhizobium d'acacia isolées des sols du Sénégal et l'effet de la double symbiose Rhizobium-Glomus mosseae sur la croissance de Acacia holosericea et Acacia raddiana. *Bois et Forêt des Tropiques* 198: 3-15.
- Craufurd PQ, Summerfield RJ, Ellis RH, Roberts EH. 1997. Photoperiod, temperature, and the growth and development of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: *Advances in cowpea research*, B.B. Singh et al. éd., Ibadan, Nigeria, IITA-JI RCAS: 75-86.
- Drew EA, Murray RS, Smith SE, Jakobsen I. 2003. Beyond the rhizosphere: growth and function of arbuscular mycorrhizal external hyphae in sands of varying pore sizes. *Plant and Soil* 251: 105–114.
- Facelli E, Facelli JM, Smith SE, McLaughlin MJ. 1999. Interactive effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis, intraspecific competition and resource availability on *Trifolium subterraneum* cv. Mt. Barker. *New Phytologist* 141: 535-547.
- Facelli E, Smith SE, Facelli JM, Christophersen HM, Andrew Smith FA. 2010. Underground friends or enemies: model plants help to unravel direct and indirect effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant competition. *New Phytologist* 185: 1050–1061.
- Graham JH, Abbott LK. 2000. Wheat responses to aggressive and nonaggressive arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 220: 207–218.
- Graham PH, Vance CP. 2003. Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiol* 131(3): 872-877.
- Haro H, Sanon KB, Diop I, Kane A, Dianda M, Hounnandan P, Neyra M, Traoré A. 2012. Réponse à l'inoculation mycorhizienne de quatre variétés de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivées au Burkina Faso et au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci* 6(5): 2097-2112.
- Haugen LM, Smith SE. 1992. The effect of high temperature and fallow period on infection of mung bean and cashew roots by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Plant and Soil* 145(1): 71-80.
- Johnson NC, Graham JH, Smith FA. 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum *New Phytol* 135: 575-585.
- Joner EJ, Johansen A. 2000. Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological Research* 104: 81–86.
- Li H, Smith FA, Dickson S, Holloway RE, Smith SE. 2008. Plant growth depressions in arbuscular mycorrhizal symbioses: not just caused by carbon drain? *New Phytologist* 178: 852–862.
- Li H, Smith SE, Holloway RE, Zhu Y, Smith FA, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorus uptake by wheat grown in a phosphorus-fixing soil even in the absence of positive growth responses. *New Phytologist* 172: 536–543.
- Li HY, Zhu YG, Marschner P, Smith FA, Smith SE. 2005. Wheat responses to arbuscular mycorrhizal fungi in a highly calcareous soil differ from those of clover, and change with plant development and P supply. *Plant and Soil* 277: 221–232.
- Marulanda A, Barea JM, Azcón R. 2006. An Indigenous Drought-Tolerant Strain of *Glomus intraradices* Associated with a Native Bacterium Improves Water Transport and Root Development in *Retama sphaerocarpa*. *Microbial Ecology* 52: 670–678.
- Nelsen CE, Safir GR. 1982. Increased drought tolerance of mycorrhizal onion plants caused by improved phosphorus nutrition. *Planta* 154: 407-413.
- Öpik M, Moora M, Liira J, Zobel M. 2006. Composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe. *Journal of Ecology* 94: 778–790.
- Phillips J, Hayman D. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55(1): 158-161.
- Plenchette C, Bois J-F, Duponnois R, Cadet P. 2000. La mycorhization (*Glomus aggregatum*) du mil (*Pennisetum glaucum*). *Etude et gestion des sols, numéro spécial*: 379-384.
- Scagel CF and Liderman RG, 1998. Relationships between differential in vitro Indole- Acetic-Acid or Ethylene production capacity by

- ectomycorrhizal fungi and conifer seedling responses in symbiosis. *Symbiosis* 24: 13-34.
- Smith FA, Jacobsen I, Smith SE. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New Phytologist* 147: 357-366.
- Smith SE, Read DJ, eds. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd edn. London: Academic Press.
- Smith SE, Smith FA, Jakobsen AI. 2004. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. *New Phytologist* 162: 511-524.
- Trouvelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Mycorrhizae : physiology and genetics*: 217-221.
- van der Heijden MGA, Streitwolf-Engel R, Riedl R, Siegrist S, Neudecker A, Ineichen K, Boller T, Wiemken A, Sanders IR. 2006. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. *New Phytologist* 172: 739-752.
- Yaseen T, Burni T, Hussain F. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on 696 nutrient uptake, growth and productivity of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. *African Journal of Biotechnology* 10: 8593-8598.