



Réponse à la double inoculation mycorhizienne et rhizobienne du niébé (variété, K VX396-4-5-2D) cultivé au Burkina Faso

Hadou HARO^{1*}, Kadidia B. SANON¹, Tatiana KRASOVA-WADE²,
Aboubacry KANE², Ibrahima N'Doye² et Alfred S. TRAORE³

¹Laboratoire de Microbiologie, INERA/DPF BP 7047 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

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

³Université de Ouagadougou, UFR Science de la Vie et de la Terre, Ecole Doctorale Régionale de
Biotechnologies (RA-BIOTECH) 03 BP 7031 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

*Auteur correspondant ; E-mail : harohadou@yahoo.fr, Tel : (00226)76627083

RESUME

Le niébé vit en symbiose avec des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) et rhizobiums du sol susceptibles d'améliorer sa nutrition hydrominérale et sa croissance. Cette étude avait pour objectif d'évaluer la réponse du niébé (variété K VX 396-4-5-2D) à l'inoculation rhizobienne et/ou mycorhizienne. K VX 396-4-5-2D (K VX) a été inoculée en serre avec cinq inoculums de CMA [*Glomus aggregatum* (Ga), *Glomus mossae* (Gm), *Rhizophagus irregularis* (Ri), *Glomus fasciculatum* (Gf), *Glomus verruculosum* (Gv)] et une souche de rhizobium (ORS 3409). Après 45 jours de culture, les plants ont été récoltés et les paramètres de croissance (hauteur et biomasses), de mycorhization et de nodulation ont été mesurés. Les résultats montrent que l'inoculation améliore la croissance en hauteur et la biomasse totale des plants de K VX. La souche Ga améliore de 70% la production de biomasse totale de K VX. Aussi, la double inoculation ORS3409+Ga est plus bénéfique aux plants de la variété de niébé utilisée avec une amélioration de la croissance en hauteur de 8,82%. De ces résultats, il ressort que l'inoculum Ga améliore significativement la croissance de la variété de niébé K VX au stade floraison-fructification.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Champignons mycorhiziens arbusculaires, rhizobium, inoculation, niébé.

INTRODUCTION

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) forment des relations symbiotiques avec les racines d'environ 90% des plantes terrestres dans les écosystèmes naturels et agricoles (Brundrett, 2002). Ces champignons mycorhiziens ont joué un rôle important dans la colonisation de la terre par les plantes (Read et al., 2000; Brundrett,

2002). Les champignons mycorhiziens sont maintenant connus pour fournir un large éventail d'avantages à leurs plantes hôtes. En plus de renforcer la nutrition minérale, ils induisent une plus grande résistance aux agents pathogènes du sol, améliorent la tolérance à la sécheresse et réduisent la sensibilité aux substances toxiques présentes

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.
DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.31>

dans le sol (Morte et al., 2001; Zhang et al., 2006; Bucher, 2007).

La première grande association symbiotique à avoir été découverte chez les plantes fut celle de l'association des bactéries fixatrices d'azote (rhizobiums) avec les racines des légumineuses (trèfle, luzerne, niébé, acacia...). Cette symbiose améliore la nutrition azotée de la plante grâce à une fixation de l'azote atmosphérique. Les légumineuses vivent naturellement en symbiose avec ces rhizobiums et avec des champignons mycorhiziens.

Les symbioses mycorhizienne et rhizobienne sont des relations impliquant un échange bidirectionnel de ressources entre la plante et les microorganismes. Dans cette association à bénéfice réciproque, le champignon mycorhizien arbusculaire améliore la nutrition hydrominérale en particulier la nutrition phosphatée, la réduction sensible de la pression parasitaire alors que les rhizobiums accroissent la nutrition azotée en fixant l'azote atmosphérique. En retour, ces microorganismes reçoivent de leurs plantes hôtes, les produits de la photosynthèse nécessaires à leur développement.

Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. est la principale légumineuse alimentaire cultivée dans les zones de basse altitude d'Afrique (Kouadio et al., 2006). Sa production mondiale est estimée à 3,6 millions de tonnes de graines sèches, dont 84% en Afrique de l'Ouest avec un rendement faible $\leq 300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Ajeigbe, 2006). Le Burkina Faso est le quatrième pays africain producteur de niébé après le Nigeria, le Niger et le Mali (Nkouannessi, 2005). La superficie emblavée dans ce pays est passée de 47 224,11 ha en 2001 à 133 522,07 ha en 2012 alors que la production annuelle passait de 376 225 tonnes à 598 524,53 tonnes dans le même intervalle (countrystat, 2014). La faible productivité au Burkina Faso comme dans bon nombre de pays serait due à la pauvreté et au faible

niveau de fertilité des sols (Bado, 2002), en particulier en azote et en phosphore assimilable. L'apport d'engrais pourrait constituer une solution à cette contrainte. Cependant, en plus de leurs coûts élevés, les engrais chimiques sont susceptibles d'entraîner la pollution, la perte de biodiversité et la dégradation des systèmes agricoles les plus fragiles (Plenchette et al., 2005).

Il s'avère donc important de rechercher des alternatives pour une meilleure gestion de la fertilité des sols dans un contexte d'agriculture durable.

Le niébé a l'avantage de développer la double symbiose rhizobienne et mycorhizienne et les travaux de Megueni et al. (2011) ont mis en évidence l'importance de la double inoculation rhizobium/CMA dans l'amélioration de la production foliaire de cette légumineuse. L'association des racines de légumineuses avec des champignons mycorhiziens arbusculaires et des bactéries (rhizobiums) du sol est susceptible d'accroître la nutrition hydrominérale et la productivité de ces plantes même lorsque celles-ci poussent dans des conditions édaphiques défavorables.

L'exploitation de cette double symbiose permettrait d'améliorer la productivité du niébé. C'est ainsi que la double inoculation du niébé avec des souches sélectionnées dans l'objectif d'améliorer sa croissance, fera l'objet de cette étude.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

La variété de niébé K VX 396-4-5-2D couramment cultivée au Burkina Faso a été utilisée.

Cinq (5) inoculums fongiques mono spécifiques [*G. aggregatum* (Ga), *G. mosseae* (Gm), *R. irregularis* (Ri), *G. fasciculatum* (Gf), *G. verruculosum* (Gv)] et une souche rhizobienne (ORS3409) de la collection du

Laboratoire Commun de Microbiologie IRD-ISRA-UCAD (Sénégal) ont été utilisés.

Le substrat de culture est un sol stérilisé (1 h à 120 °C) de Sangalkam (50 km à l'Est de Dakar) dont les caractéristiques physico-chimiques sont : pH H₂O (6,5), argile (3,6%), limon (32,8%), sable (58,15%), C total (0,54%), N total (0,06%), rapport C/N (8,5), P total (0,0039%) et P Olsen (0,00048%).

Méthode

Les graines de niébé ont été aseptisées par trempage dans l'éthanol 96% pendant 3 minutes, rincées abondamment à l'eau déminéralisée stérile puis dans une solution d'hypochlorite de calcium (CaCl₂O₂ à 3,3% ; p/v) pendant 3 min et rincées abondamment à l'eau déminéralisée stérile. Ces graines ont été ensuite semées à raison de 4 par pot de 1,2 litre contenant 1000 g de sable stérilisé de Sangalkam.

L'apport des inoculum mycorhiziens (*G. aggregatum*, *G. mosseae*, *R. irregularis*, *G. fasciculatum* et *G. verruculosum*) a été effectué au moment du semis en plaçant 10 g d'inoculum au milieu du pot contenant le substrat, à 2 - 3 cm de profondeur.

L'inoculation rhizobienne sous forme de culture liquide de la souche ORS3409 (Yeast Mannitol) en phase de croissance de 10⁹ cellules par ml a été effectuée dès l'apparition des premières feuilles des plantules. Un millilitre (1 ml) d'inoculum est apporté dans chaque pot.

Les pots témoins ont reçu également 1000 g de sable stérile chacun, mais n'ont pas été inoculés. Au total, 12 traitements ont été testés (Ga, Gm, Ri, Gf, Gv, Ga+ORS3409, Gm+ORS3409, Ri+ORS3409, Gf+ORS3409, Gv+ORS3409, ORS3409 et le témoin) et chaque traitement a été répété 10 fois. Le dispositif expérimental est une randomisation

complète et l'expérimentation a duré 45 jours (stade de floraison/fructification).

Paramètres mesurés

- *Paramètres de croissance (hauteur, biomasse)*

La hauteur des plants a été mesurée à 35 jours après semis (phase de floraison).

A la récolte (45 jours après semis), les racines et les parties aériennes des plants ont été séchées à l'étuve à 70 °C pendant 72 heures pour la mesure des biomasses aérienne, racinaire et totale.

- *Nombre et biomasse des nodules*

A la fin de l'expérience, chaque plant est dépoté soigneusement afin de récupérer toutes les racines et les nodules. Les nodules sont séparés des racines, dénombrés et séchés à l'étuve à 70 °C pendant 72 heures pour la mesure de leur poids sec.

- *Evaluation des paramètres de mycorhization*

Les racines fines (environ 10 g par échantillon) ont été colorées suivant la méthode décrite par Phillips et Hayman (1970). Ces racines colorées ont été découpées en fragments d'un centimètre qui ont été montés entre lames et lamelles dans du glycérol-eau (60/40, v/v). La fréquence et l'intensité de mycorhization ont été évaluées au microscope optique au grossissement x400 en utilisant la méthode de Trouvelot et al. (1986).

Analyse statistique

Les données collectées pour les différents paramètres ont été traitées avec le logiciel statistique XLSTAT 2013. Lorsque la variable dont provient l'échantillon suit une loi normale, les données sont soumises à une analyse de variance (ANOVA) (biomasse aérienne et totale). Les moyennes des variables ont été comparées en utilisant le test de Newman Keuls au seuil de probabilité

p=5%. Les autres variables (hauteur, biomasse racinaire, nombre et poids sec des nodules, fréquence et intensité de mycorhization) ont été soumises au test de Kruskal-Wallis et les moyennes des rangs ont été comparées en utilisant le test de Conover-Iman au seuil de probabilité p=5%.

RESULTATS

Les paramètres de croissance

Le Tableau 1 présente les hauteurs, biomasses aériennes, racinaires et totales des plants. Pour les hauteurs, l'analyse des données montre que les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec les traitements ORS3409 (13,4 cm), Ga+ORS3409 (13,33 cm) et Gv (13,13 cm). Cependant, seul le traitement ORS3409 augmente significativement la hauteur des plants par rapport aux témoins (p < 0,0001).

Pour la biomasse aérienne, les analyses statistiques ne montrent aucune différence significative entre les plants inoculés et les témoins. Cependant, des différences significatives ont été observées entre les biomasses des plants inoculés avec Ga (1,74) et celles des plants inoculés avec Gv-ORS3409 (1,2) et Ri- ORS3409 (1,22) (p < 0,05).

De même, les biomasses racinaires obtenues avec l'inoculum mycorhizien Ga (1,31 g) sont les plus élevées et sont significativement différentes de celles de tous les autres traitements (p < 0,0001) à l'exception de Gv et Gm+ORS3409. Les biomasses totales plus importantes (3,06 g) et significativement différentes de celles de tous les autres traitements sont également obtenues avec l'inoculum Ga (p < 0,0001).

Nombre et poids sec de nodules

Les résultats sur le dénombrement et la biomasse des nodules montrent qu'en

l'absence de l'inoculum bactérien ORS3409, aucun nodule n'est observé sur les racines des plants. C'est avec la souche bactérienne seule (ORS3409) que le nombre de nodules par plant est plus élevé. Cependant, des différences significatives n'ont été observées que sur les plants inoculés avec Ri- ORS3409 (p < 0,0001). Quant au poids sec des nodules, il apparaît faible et non proportionnel au nombre de nodules, avec la valeur la plus élevée enregistrée avec le traitement Gm+ORS3409 (0,06 g) qui est significativement différente de celle observée avec Ri- ORS3409 (p < 0,0001) (Tableau 2).

Fréquence et intensité de mycorhization

Les résultats sur la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants de K VX 396-4-5-2D inoculés avec les différentes souches de CMA associées ou non à ORS3409 montrent que la mycorhization est variable d'un traitement à l'autre. Les analyses statistiques montrent des différences significatives entre les différents traitements

Les traitements avec les CMA seuls ont des fréquences de mycorhization élevée atteignant 100% pour les souches Ga, Gf et Ri () et significativement différentes des valeurs obtenues avec Gv et Gm (p < 0,0001). L'intensité de mycorhization la plus élevée a été obtenue avec Gf (81,36%) et la plus faible avec Gv (0,97).

Pour les doubles inoculations CMA/ORS3409, seule l'inoculation avec Ga+ORS3409 enregistre une fréquence de mycorhization atteignant 100% et l'intensité de mycorhization la plus élevée (80,5%) ().

Excepté Ga+ORS3409, la double inoculation n'entraîne pas une augmentation de la fréquence et de l'intensité de mycorhization.

Tableau 1 : Hauteurs, biomasses aériennes, racinaires et totales des plants de K VX 396-4-5-2D inoculés ou non avec des souches de CMA et une souche rhizobienne.

Traitements	Hauteur	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Biomasse totale
Témoin	12,25±0,3 ^{bcd}	1,37±0,11 ^{ab}	0,43±0,04 ^{de}	1,8±0,14 ^b
Ga	10,63±0,43 ^{ab}	1,74±0,12 ^a	1,31±0,09 ^a	3,06±0,2 ^a
Ga- ORS3409	13,33±0,26 ^e	1,67±0,08 ^{ab}	0,47±0,02 ^{de}	2,14±0,08 ^b
Gv	13,13±0,35 ^{de}	1,27±0,12 ^{ab}	0,77±0,09 ^{abc}	2,04±0,1 ^{6b}
Gv- ORS3409	11,08±0,25 ^{abc}	1,2±0,11 ^b	0,46±0,03 ^{de}	1,66±0,1 ^b
Gf	11,4±0,39 ^{abcd}	1,37±0,06 ^{ab}	0,57±0,03 ^{bcd}	1,94±0,06 ^b
Gf- ORS3409	10,5±0,32 ^a	1,41±0,14 ^{ab}	0,58±0,03 ^{bcd}	1,99±0,16 ^b
Ri	12,5±0,26 ^{cde}	1,54±0,08 ^{ab}	0,51±0,05 ^{cde}	2,05±0,1 ^b
Ri- ORS3409	11,65±0,35 ^{abcd}	1,22±0,1 ^b	0,41±0,02 ^e	1,63±0,1 ^b
Gm	12,43±0,53 ^{cde}	1,37±0,12 ^{ab}	0,5±0,05 ^{cde}	1,87±0,13 ^b
Gm- ORS3409	11,9±0,33 ^{abcde}	1,35±0,13 ^{ab}	0,84±0,1 ^{ab}	2,19±0,14 ^b
ORS3409	13,4±0,34 ^e	1,52±0,14 ^{ab}	0,55±0,04 ^{bcd}	2,07±0,16 ^b
Niveau de signification	P < 0,0001	P = 0,0137	P < 0,0001	P < 0,0001

[Les souches de CMA : *Glomus aggregatum* (Ga), *Glomus mosseae* (Gm), *Rhizophagus irregularis* (Ri), *Glomus fasciculatum* (Gf), *Glomus verruculosum* (Gv). Souche rhizobienne : (ORS3409)]. Pour la même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas différentes significativement selon le test de Conover-Iman au seuil de 5% (hauteur et biomasse racinaire) et le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (biomasses aérienne et totale).

Tableau 2 : Nombres et poids sec des nodules des plants de K VX 396-4-5-2D inoculés ou non avec la souche de *rhizobium* (ORS3409) et les CMA.

Traitements	Nombre de nodules / plant	Poids sec des nodules (g)
Ga- ORS3409	131±14,56 ^{ab}	0,05±0,01 ^{ab}
Gv- ORS3409	106±11,11 ^{ab}	0,04±0,01 ^{ab}
Gf- ORS3409	97,89±11,67 ^{ab}	0,05±0,01 ^{ab}
Ri- ORS3409	89,9±7,04 ^b	0,03 ^{bc}
Gm- ORS3409	105±10,17 ^{ab}	0,06±0,01 ^a
ORS3409	148,67±17,54 ^a	0,05±0,01 ^{ab}
Témoin	0 ^c	0 ^c
Niveau de signification	P < 0,0001	P < 0,0001

[Les souches de CMA : *Glomus aggregatum* (Ga), *Glomus mossae* (Gm), *Rhizophagus irregularis* (Ri), *Glomus fasciculatum* (Gf), *Glomus verruculosum* (Gv). Souche rhizobienne : (ORS3409)]. Pour la même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas différentes significativement selon le test de Conover-Iman au seuil de 5%.

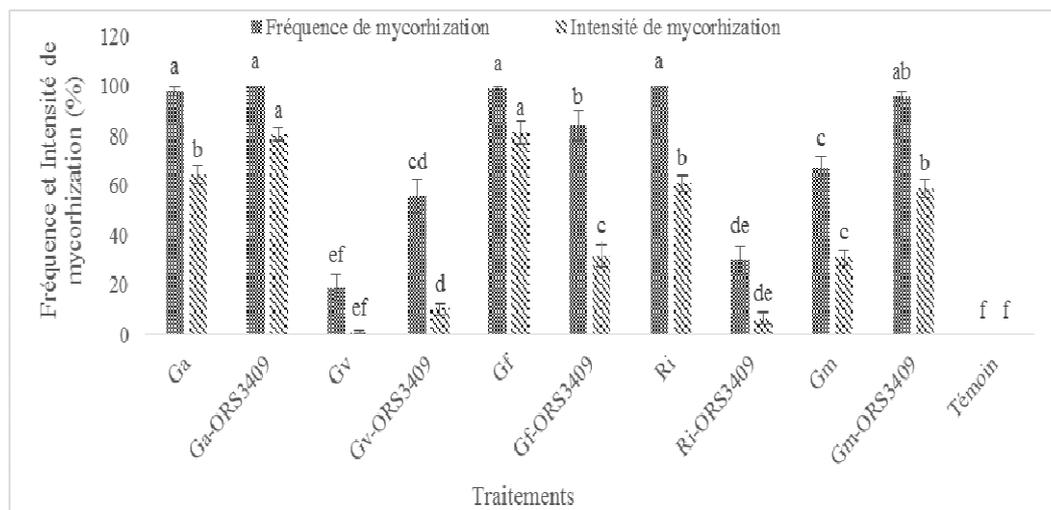


Figure 1. Fréquences et intensités de mycorrhization des plants de K VX 396-4-5-2D inoculés ou non avec les souches de CMA (Ga, Gm, Ri, Gf, Gv) et la souche bactérienne (ORS3409). La probabilité associée au test du F de Fisher : fréquence de *mycorrhization* ($P < 0,0001$) et intensité de *mycorrhization* ($P < 0,0001$). [Les souches de CMA : *Glomus aggregatum* (Ga), *Glomus mosseae* (Gm), *Rhizophagus irregularis* (Ri), *Glomus fasciculatum* (Gf), *Glomus verruculosum* (Gv). Souche rhizobienne : (ORS3409)]. (Pour le même paramètre, les valeurs qui ont en commun une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Conover-Iman au seuil de 5%).

DISCUSSION

Cette étude avait pour but d'améliorer la croissance du niébé avec les souches de microsymbiotes utilisées. Les résultats obtenus ont ainsi montré que les effets de l'inoculation microbienne sur la variété de niébé K VX 396-4-5-2D varient suivant les inoculums utilisés. La stimulation de sa croissance est observée avec la double inoculation ORS3409+Ga qui permet d'améliorer la croissance en hauteur de K VX 396-4-5-2D de 8,82% par rapport au témoin. Ces résultats sur la double inoculation rhizobium+CMA corroborent ceux de Amrani (2009) sur *Vicia faba* et de Wang et al. (2011) sur le soja. En effet, les travaux de Amrani (2009) ont montré que l'inoculation avec les CMA (*G. intraradices* et un complexe de CMA) améliore plus efficacement la productivité de la féverole et du haricot nain. Wang et al. (2011) ont quant à eux montré que la co-inoculation avec les rhizobiums et les CMA améliore significativement la croissance et la biomasse aérienne du soja, et ce, en

conditions de faible P et/ou N. L'inoculation rhizobienne seule n'a pas augmenté de façon significative la hauteur des plants et les biomasses comparativement au témoin. Comparée à l'inoculation avec la souche bactérienne ORS3409, la double inoculation ORS3409+CMA n'a eu aucun effet positif significatif sur le nombre et la biomasse des nodules des différents traitements. Ceci peut s'expliquer par le fait que la plupart des légumineuses hébergeant des rhizobiums possèdent un mécanisme de régulation strict du nombre total de nodosités portées par leur système racinaire. Ainsi, la formation des toutes premières nodosités déclenche une activité systémique inhibant la formation ultérieure de nodosités (Campbell, 1991).

Les résultats relatifs aux biomasses aérienne, racinaire et totale montrent que la production de biomasse a été améliorée par l'inoculation. Cependant, cette augmentation n'est significative qu'avec les biomasses racinaire et totale. Les analyses statistiques ne montrent aucune différence significative entre

les biomasses aériennes des différents traitements même si l'inoculation avec Ga permet une augmentation de la biomasse de 27% par rapport à celle du témoin. Cependant, l'inoculum mycorhizien (Ga) permet d'améliorer la biomasse totale de 70%. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Haro (2011), Haro et al. (2012) et Diop et al. (2013) qui ont montré que la production de la biomasse du niébé est améliorée par l'inoculation mycorhizienne. Des résultats analogues ont également été obtenus sur le trèfle inoculé avec *G. mosseae* (Laaziza et al., 2003), sur *Acacia nilotica* et *Acacia senegal* inoculées avec un complexe mycorhizien de souches indigènes (Laminou Manzo et al., 2009) et sur le Robinier inoculé avec *R. irregularis* et *G. versiforme* (Zhu et al., 2014).

Ces résultats montrent également que l'inoculation, en particulier la double inoculation n'a pas toujours des effets positifs sur les paramètres de croissance de la plante. Avec certains inoculums, en particulier les couples Gf+ORS3409 et Gv+ORS3409, les hauteurs des plants sont respectivement de 14,29% et 9,55% plus faibles par rapport à celle des plants témoins. Aussi, pour la biomasse totale, le couple Gv+ORS3409 apparaît le moins efficace de tous les traitements avec une réduction de 11% par rapport au témoin. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la réaction d'une plante à une double inoculation peut conduire à des effets synergiques ou antagonistes en fonction des souches rhizobiennes et mycorhiziennes utilisées. L'antagonisme entre deux microorganismes symbiotiques entraîne un effet dépressif de leur plante hôte et ceci serait lié à une compétition entre les symbiotes pour l'approvisionnement en squelettes carbonés (Weber et al., 2005). Des résultats semblables ont été observés chez le trèfle inoculé avec des CMA et des rhizobiums sous différents stress salins (Laaziza et al., 2003).

La comparaison faite entre les plants de tous les traitements (simple et double inoculation) montre que l'amélioration de la croissance des plants due à l'inoculation dépend des inoculums utilisés.

L'intensité des effets de la double inoculation dépendrait donc des combinaisons rhizobiums-champignons mycorhiziens, mais aussi de la plante hôte. En effet, Megueni et al. (2011) ont montré que la double inoculation de deux variétés de niébé augmentait la quantité et la qualité des feuilles. Aussi, Amrani (2009) a montré le rôle positif de la double inoculation sur *Vicia faba* sur un sol sableux en Algérie. Mais, sur *Phaseolus vulgaris* l'inoculation avec *Gomus intraradices* seul a donné le meilleur résultat.

Wang et al. (2011) ont également montré une différence de réponse de deux génotypes de soja à la double inoculation dans différentes conditions.

Conclusion

Dans cette étude, il apparaît que les meilleurs inoculums pour K VX 396-4-5-2D sont l'inoculation avec *G. aggregatum* et la double inoculation *G. aggregatum* + ORS3409. Cependant, il serait intéressant d'étendre cette étude aux autres variétés de niébé cultivées au Burkina Faso et/ou à d'autres souches de Rhizobiums et CMA. Des travaux ont aussi montré que les micro-symbiotes natifs des sols sont plus aptes à améliorer la croissance de la plante hôte. Dans cette étude, nous avons utilisé des souches non autochtones de l'aire de culture du niébé au Burkina Faso ; des travaux futurs devraient s'orienter vers la sélection de couples de symbiotes isolés au Burkina Faso et performants pour la croissance et la productivité de différentes variétés de niébé en pépinière puis *in situ*.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien de L'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), Région Afrique de l'Ouest, dans le cadre du projet « Partenariat pour la valorisation de microorganismes symbiotiques associés au niébé en Afrique de l'Ouest ».

REFERENCES

- Ajeigbe A. 2006. Gestion de *Striga gesnerioides* et *Alectra vogelii* en culture de niébé. Atelier Sous Régional sur la gestion intégrée durable en agriculture des espèces du genre *Striga*.
- Amrani A. 2009. Effet de la double inoculation Rhizobium-Champignons mycorrhiziens sur la croissance de la féverole et du haricot nain. Mémoire de Magister, Université d'Oran-Sénia, Oran, p. 71.
- Bado BV. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Philosophie Doctor (Ph. D.), Université de Laval, Laval, p. 197.
- Brundrett MC. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytol.*, **154**(2): 275-304.
- Bucher M. 2007. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. *New Phytol.*, **173**(1): 11-26.
- Campbell WC. 1991. Ivermectin as an antiparasitic agent for use in humans. *Annu. Rev. Microbiol.*, **45**(1): 445-474.
- Diop I, Kane A, Krasova-Wade T, Sanon KB, Houngnandan P, Neyra M, Noba K. 2013. Impacts des conditions pédoclimatiques et du mode cultural sur la réponse du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) à l'inoculation endomycorhizienne avec *Rhizophagus irregularis*. *Journal of Applied Biosciences*, **69**: 5465-5474.
- Haro H. 2011. Effet d'inoculum de champignons mycorrhiziens arbusculaires sur la productivité du niébé *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA), Université de Ouagadougou, Ouagadougou, p. 94.
- Haro H, Sanon KB, Diop I, Kane A, Dianda M, Houngnandan 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.
- Kouadio D, Toussaint A, Pasquet RS, Baudoin JP. 2006. Barrières pré-zygotiques chez les hybrides entre formes sauvages du niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **10**(1): 33-41.
- Laaziza BK, Gomez AM, Quarraqi El M, Oihabi A. 2003. Réponses physiologiques et biochimiques du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) à la double association mycorhizes rhizobiums sous une contrainte saline. *Agronomie*, **23**: 571-580.
- Laminou Manzo O, Ibrahim D, Campanella B, Paul R. 2009. Effets de l'inoculation mycorhizienne du substrat sur la croissance et la résistance au stress hydrique de cinq espèces fixatrices de dunes : *Acacia raddiana* Savi ; *Acacia nilotica* (L.) Willd. Ex Del. var. *adansonii* ; *Acacia senegal* (L.) Willd ; *Prosopis chilensis* Stunz. et *Bauhinia rufescens* Lam.. *Geo-Eco-Trop*, **33**: 115-124.
- Megueni C, Awono ET, Ndjouenkeu R. 2011. Effet simultané de la dilution et de la combinaison du Rhizobium et des mycorhizes sur la production foliaire et les propriétés physico-chimiques des jeunes feuilles de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *J. Appl. Biosci.*, **40**: 2668-2676.
- Morte A, Díaz G, Rodríguez P, Alarcón JJ, Sánchez-Blanco MJ. 2001. Growth and water relations in mycorrhizal and

- nonmycorrhizal *Pinus halepensis* plants in response to drought. *Biologia Plantarum*, **44**(2): 263-267.
- Nkouannessi M. 2005. The genetic, morphological and physiological evaluation of african cowpea genotypes. Magister Scientiae Agriculturae, University of the Free State, Bloemfontein, p. 119.
- Phillips JM, Hayman DS. 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, Clermont-Dauphin C, Meynard JM, Fortin JA. 2005. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, **85**(1): 31-40.
- Read DJ, Duckett JG, Francis R, Ligrone R, Russell A. 2000. Symbiotic fungal associations in 'lower' land plants. *Phil.Trans. R. Soc. Lond.*, **355**: 815-831.
- Trouvelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. In *Aspects Physiologiques et Génétiques des Mycorrhizes*. INRA (ed). INRA Dijon, France; 217-221.
- Wang X, Pan Q, Chen F, Yan X, Liao H. 2011. Effects of co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia on soybean growth as related to root architecture and availability of N and P. *Mycorrhiza*, **21**(3): 173-181.
- Weber J, Ducouso M, Tham FY, Nourissier-Mountou S, Galiana A, Prin Y, Lee SK. 2005. Co-inoculation of *Acacia mangium* with *Glomus intraradices* and *Bradyrhizobium* sp. in aeroponic culture. *Biology and Fertility of Soils*, **41**(4): 233-239.
- Zhang XH, Lin AJ, Chen BD, Wang YS, Smith SE, Smith FA. 2006. Effects of *Glomus mosseae* on the toxicity of heavy metals to *Vicia faba*. *J. Environ. Sci. (China)*, **18**(4): 721-726.
- Zhu XQ, Wang CY, Chen H, Tang M. 2014. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, carbon content, and calorific value of black locust seedlings. *Photosynthetica*, **52**(2): 247-252.