

# Amélioration de la productivité du niébé par l'inoculation rhizobienne et mycorhizienne à Yakouta, Nord du Burkina Faso

---

Hadou HARO<sup>1\*</sup>, Kadidia B. SANON<sup>1</sup>, Alfred S. TRAORÉ<sup>2</sup>

## Résumé

Le niébé est l'une des importantes légumineuses à graines au Burkina Faso. Sa production reste faible à cause de la pauvreté des sols en éléments nutritifs. Mais le niébé est capable d'établir la double symbiose en s'associant aux champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) et aux rhizobiums qui sont susceptibles d'accroître sa productivité même en condition de faible fertilité des sols. Dans cette étude, le niébé a été cultivé au champ et inoculé avec deux souches natives de CMA (Piss 250M et Piss 100J) et/ou deux souches natives rhizobiennes (Talé Mossi S2 et Worou 2S4). La biomasse aérienne, la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants ont été évaluées en pleine floraison. Le rendement en graine du niébé a été évalué à la récolte. Les résultats obtenus montrent une variabilité de la croissance et la productivité du niébé en fonction des inoculums. La fréquence de mycorhization des plants inoculés est globalement élevée (82 %), mais les intensités de mycorhization restent faibles (27,89 %). Cependant, la double inoculation avec Piss 250M\*Worou 2S4 permet d'améliorer la biomasse aérienne et la productivité du niébé au même titre que la fertilisation avec le fumier d'où la nécessité d'accélérer son intégration dans l'agriculture familiale.

**Mots-clés :** Champignons Mycorhiziens Arbusculaires ; Rhizobium ; Inoculation ; *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ; Sahel.

## Improvement of cowpea productivity in Yakouta (North of Burkina Faso) by rhizobial and mycorrhizal inoculation

### Abstract

Cowpea is one of the important pulses in Burkina Faso. Its production remains low because the poverty of soil nutrients. But cowpea is able to establish double symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and rhizobia that can increase its productivity even under low soil fertility. In this study, Cowpea was grown in fields and inoculated with two native AMF strains (Piss 250M et Piss 100J] and/or two native rhizobia (Talé Mossi S2 et Worou 2S4)]. Shoot biomass, frequency and intensity of mycorrhization of the plants have been evaluated in full flowering. The cowpea yield was evaluated at harvest. The results show a variability of growth and cowpea productivity according to inocula used. The inoculated plants mycorrhizal frequency is generally high (82 %), but their mycorrhizal intensity remains low (27.89 %). However, dual inoculation with Piss 250 M\*Worou 2S4 inocula allow improve shoot biomass and cowpeas seed productivity in the same way as organic manure fertilization, hence the need to accelerate its integration in family farming.

**Keywords:** Arbuscular Mycorrhizal Fungi ; Rhizobium ; Inoculation ; *Vigna unguiculata* (L.) Walp., Sahel.

---

<sup>1</sup> Laboratoire de Microbiologie, INERA/DEF BP 7047 Ouagadougou 03, Burkina Faso

<sup>2</sup> Université Ouaga 1 Professeur Joseph Ki-Zerbo, UFR Science de la Vie et de la Terre, Ecole Doctorale Régionale de Biotechnologies (RA-BIOTECH) 03 BP 7031 Ouagadougou 03, Burkina Faso

\* Auteur de correspondance ; tel : (00226)76627083, E-mail : harohadou@yahoo.fr

## Introduction

Le niébé, une plante herbacée annuelle est une importante légumineuse à graines des régions tropicales et subtropicales notamment d'Afrique subsaharienne. Il est largement cultivé au Burkina Faso où il constitue une source importante de protéines pour la consommation humaine. Cette légumineuse s'adapte à une large gamme de texture du sol et préfère un sol à pH légèrement acide de 5 à 6,5 (Franco et Munns, 1982). Le niébé est surtout cultivé pour sa richesse en protéine alimentaire (20-25 %) (Bressani, 1985) et accessoirement en vitamines et éléments minéraux qui lui confèrent un rôle important dans l'équilibre nutritionnel des populations rurales.

Au Burkina Faso, sa production annuelle est passée de 376 225 tonnes (2001) à 441 015 tonnes (2011) (Countrystat, 2016, <http://www.countrystat.org>). Cette augmentation considérable est liée à la superficie emblavée et l'utilisation d'intrants (engrais chimiques et pesticides) alors que le rendement est resté faible (800 à 1200 kg/ha) contre un rendement potentiel des variétés améliorées de 2 t/ha (Ouédraogo, 2003).

Cette faible production est majoritairement due à la faible fertilité des sols ou à leur pauvreté en éléments minéraux (Bado, 2002) en particulier l'azote et le phosphore assimilable (Sanchez, 1977), à la faiblesse de la pluviométrie, aux contraintes parasitaires (attaques d'insectes à toutes les phases de développement de la plante) ainsi qu'aux maladies fongiques, bactériennes et virales (Singh *et al.*, 1997). Cependant, l'utilisation des intrants chimiques pour pallier à certaines contraintes a montré ses limites dues à la pollution et la perte de biodiversité dans les régions d'agriculture intensive, la dégradation des systèmes agricoles les plus fragiles et les coûts prohibitifs pour les producteurs les plus pauvres (Plenchette *et al.*, 2005). De plus, la consommation d'engrais en Afrique est faible et ne devrait pas augmenter considérablement dans un proche avenir pour des raisons économiques (Morris, 2007). Ainsi, une fourniture d'azote atmosphérique par l'association symbiotique avec des souches de rhizobium efficaces pourrait augmenter le rendement à faible coût et favoriser la durabilité agricole (Hungria et Vargas, 2000). Cependant, la mauvaise nodulation et l'absence de réponse à l'inoculation dans des expériences de terrain ont fréquemment été signalées dans le monde entier (Graham, 1981). Un des principaux facteurs limitants la croissance des plants est la pauvreté du sol en azote et en phosphore (Sanchez, 1977) qui peut être considérée comme une contrainte de production la plus répandue dans de nombreux pays (Diem *et al.*, 1981 ; Mikola, 1987). De plus, une faible disponibilité en phosphore peut réduire le rendement et même agir directement sur la fixation de l'azote dans les nodules et causer par conséquent une carence simultanée en azote (Singleton *et al.*, 1985). De ce fait, pour que l'amélioration de la nutrition azotée soit efficace, il faut améliorer également celle phosphatée et ceci pourrait se faire par l'inoculation rhizobienne et mycorhizienne. C'est ainsi que cette étude a été initiée avec pour objectif de contribuer à améliorer la production du niébé par l'inoculation avec des micro-organismes symbiotiques natifs efficaces (CMA et rhizobiums).

# Matériel et méthodes

## Matériel

### Site d'étude

Le site d'étude est situé à Yakouta, commune de Dori, dans la zone sahélienne (14°04'57,0"N ; 0°08'35,0"W) du Burkina Faso.

Les caractéristiques physico-chimiques du sol du champ sont présentées dans le tableau I.

### Matériel végétal, fongique, bactérien et le substrat de culture

Dans notre site d'étude au sahel, les principales variétés de niébé (*Vigna unguiculata*) cultivées sont : K VX 396-4-5-2D, K VX 745-11P, Gorom local et Mélakh. Gorom local, l'une des variétés de niébé les plus cultivées au sahel a été utilisée dans cette étude. Légumineuse herbacée annuelle, il est surtout cultivé pour sa précocité (70 jours) en zone sahélienne et aussi pour ses feuilles et ses gousses vertes qui peuvent être consommées et/ou commercialisées avant les autres spéculations, surtout pour passer la période de soudure. Ses chaumes sont également utilisés comme aliment pour bétail.

Le matériel fongique est composé de deux CMA locales efficaces isolés de la rhizosphère du niébé cultivé au Burkina Faso (Haro, 2016) : *Scutellospora* sp. (Piss 250M) et *Gigaspora* sp. (Piss 100J).

Le matériel bactérien est constitué de deux souches rhizobiennes locales efficaces isolées de la rhizosphère du niébé cultivé au Burkina Faso (Haro, 2016) : *Bradyrhizobium* sp1, (Talé Mossi S2) et *Bradyrhizobium* sp2, (Worou 2S4).

Le substrat de culture est un sol stérilisé de Ouagadougou et ses caractéristiques physico-chimiques sont présentées dans le tableau I.

**Tableau I.** Caractéristiques physico-chimiques des sols du site d'étude et du substrat de culture

Echan- tillons	Argile (%)	Limons totaux (%)	Sables totaux (%)	Matière organique (%)	Carbone total (%)	Azote total (%)	C/N	Phosphore total en ppm	Phosphore assimilable en ppm	pH eau (p/v : 1/2,5)
Yakouta	3,92	5,88	90,2	0,557	0,323	0,029	11	258,78	23,68	6,86
Substrat de culture	3,92	5,88	90,2	0,331	0,192	0,016	12	172,52	1,74	6,44

## Méthode

### • Mise en place de l'essai

Le dispositif expérimental utilisé est en bloc randomisé. Ce dispositif est composé de 10 traitements [quatre traitements mono inoculés, dont deux souches de *Bradyrhizobium* sp. (Worou 2S4 et Talé Mossi S2) et deux souches de mycorhize [*Scutellospora* sp. (Piss 250M) et *Gigaspora* sp. (Piss 100)], quatre traitements doubles inoculés avec la combinaison mycorhize/rhizobium (Piss 100 J\*Worou 2S4, Piss 100 J\*Talé Mossi S2, Piss 250 M\*Worou 2S4, Piss 250 M\*Talé Mossi

S2) et deux traitements non inoculés dont un est fertilisé avec le fumier (FO) et le deuxième utilisé comme contrôle (témoin)]. Il est divisé en unités parcelles rectangulaires de 4 m x 3 m avec un écartement de 1 m x 1 m entre parcelles à raison d'un traitement par unité parcelle et 8 répétitions par traitement (figure 1 et 2). Le niébé (Gorom local) a été semé dans les parcelles avec des écartements de 0,5 m x 0,5 m et chaque unité parcelle comporte 7 poquets en longueur et 5 en largeur (7 x 5 = 35 poquets/unité parcelles) (figure 2). Les plants ont été suivis du semis à la récolte (août-octobre).

Les inoculum (mycorhizien et rhizobien) sont apportés au moment des semis.

L'inoculum mycorhizien est constitué d'un mélange de spores, de propagules fongiques, de fragments de racines mycorhizées et de sol. L'inoculation mycorhizienne a consisté à l'apport de l'inoculum mycorhizien à raison de 10 g par poquet pendant les semis.

Pour l'inoculum rhizobien, c'est la méthode d'enrobage des graines qui a été utilisée. Pour ce faire, lorsque le nombre de rhizobiums dans le milieu liquide atteint la norme requise (108-109 cellules/ml), le bouillon est ajouté à un support (l'eau sucrée avec une concentration finale en sucre dans l'inoculum de 20 %). Cet inoculum est ajouté sur les graines qui sont soigneusement mélangées de manière à avoir un revêtement uniforme. Les graines ont ensuite été réparties uniformément pour le séchage sur un sac (polystyrène) dans l'ombre. Les semis sont intervenus après le séchage des graines.

R1 et R2 = *Bradyrhizobium* sp1 et *Bradyrhizobium* sp2 ; M1: *Scutellospora* sp. ; M2 : *Gigaspora* sp. ; T : témoin non inoculé ; FO : fertilisation avec le fumier.

Pour estimer l'impact de l'inoculation sur la productivité du niébé, la biomasse aérienne, la fréquence et intensité de mycorhization ont été mesurées en pleine floraison alors que le rendement a été mesuré à la fin de l'essai.

#### • **Mesure de la biomasse aérienne**

Le prélèvement des plants a été effectué de façon aléatoire sur chaque unité parcelle à raison de 3 plants par unité parcelle pour chaque traitement soit 24 plants par traitement. Ce prélèvement a consisté à soigneusement récolter le plant avec ses racines. Les parties aériennes de ces plants ont ensuite été débarrassées du système racinaire et séchées à l'étuve à 70°C pendant 72 heures pour la mesure de leur biomasse.

#### • **Mise en évidence de l'infection mycorhizienne**

La mise en évidence de l'infection endomycorhizienne est réalisée par la coloration des racines fines des plants selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) et l'observation au microscope photonique. Les racines (les racines découpées pour la mycorhization) ont été découpées en fragments d'un centimètre et ont été colorées suivant la méthode décrite par Phillips et Hayman (1970). Les fragments colorés ont été montés entre lames et lamelles dans du glycérol. La fréquence et l'intensité de mycorhization ont été évaluées au microscope optique au grossissement 400 en utilisant la méthode de Trouvelot *et al.* (1986).

#### • **Estimation du rendement**

Pour l'estimation du rendement, des micro parcelles de rendement de 3,75 m<sup>2</sup> (15 poquets) ont été utilisées (figure 1). Les gousses de niébé ont été récoltées de ces micro parcelles de rendement puis pesées.



### • Analyse statistique

Toutes les données collectées pour les différents paramètres ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs avec le logiciel statistique XLSTAT 2016 et les moyennes des variables ont été comparées en utilisant le test de Newman Keuls au seuil de probabilité  $p=5\%$ .

## Résultats

Le tableau II donne les résultats de l'inoculation au champ. Pour la biomasse aérienne, les analyses statistiques ne montrent aucune différence significative entre les différents traitements pour la mono inoculation rhizobienne ou mycorhizienne. Cependant, pour la double inoculation, les analyses statistiques montrent des différences significatives entre les différents traitements et les valeurs les plus élevées s'obtiennent pour la fertilisation avec le fumier et pour la double inoculation avec Piss 250 M\*Worou 2S4. La fertilisation avec le fumier permet d'améliorer la biomasse du niébé de 100,43 % et la double inoculation avec Piss 250 M\*Worou 2S4 de 89,48 % par rapport au témoin non-inoculé. Des différences significatives ont également été observées pour le rendement et l'intensité de mycorhization aussi bien pour la mono que pour la double inoculation. Cependant, pour la fréquence de mycorhization, les analyses statistiques ont montré des différences significatives pour tous les traitements inoculés sauf pour la mono-inoculation mycorhizienne. Globalement, la productivité du niébé a été améliorée par l'inoculation, qu'elle soit mono ou double, mycorhizienne et/ou rhizobienne. De ce fait, la fertilisation avec le fumier et la double inoculation avec Piss 250 M\*Worou 2S4 permet d'augmenter respectivement la productivité du niébé de 143,42 % et de 133,38 % par rapport au témoin non-inoculé.

**Tableau II.** Biomasse aérienne, fréquence et intensité de mycorhization ainsi que le rendement de la variété de niébé Gorom locale inoculée avec deux souches de *Bradyrhizobium* sp. (Worou 2S4 et Talé Mossi S2), deux souches de mycorhize [*scutellospora* sp. (Piss 250M) et *Gigaspora* sp (Piss 100)], leur combinaison mycorhize/rhizobium (Piss 100 J\*Worou 2S4, Piss 100 J\*Talé Mossi S2, Piss 250 M\*Worou 2S4, Piss 250 M\*Talé Mossi S2) et fertilisé avec le fumier. Témoins = non inoculé

Facteurs testés	Traitements	Biomasse aérienne (g)	Fréquence de mycorhization (%)	Intensité de mycorhization (%)	Rendement kg/ha
Souches mycorhiziennes	Piss 250 M	36,51±3,4a	57,33±5,17a	11,77±3,14a	596,94±46,05a
	Piss 100 J	30,71±2,18a	38,67±4,33b	2,88±0,7b	455,04±41,1b
	Témoin	28,35±2,16a	55±6,97a	5,86±1,64b	372,7±22,75b
<i>Niveau de signification</i>					
Souches rhizobiennes	Worou 2S4	34,94±2,52a	46,89±4,99a	4,04±1,04b	556,03±58,44a
	Talé Mossi S2	28,99±2,04a	47,22±5,99a	5,32±1,45b	466,38±29,42b
	Témoin	31,65±3,35a	56,89±5,52a	11,15±2,85a	402,27±25,44b
		NS	NS	< 0,001	< 0,001
<i>Niveau de signification</i>					
Interaction souches mycorhiziennes *	Piss 250 M*Worou 2S4	44,51±1,2a	48,33±7,92b	3,45±1,63b	847,12±23,71a
	Piss 100 J	32,49±4,88ab	52±7,42ab	2,9±1,06b	477,88±39,98b
souches rhizobiennes	Piss 250 M	38,99±7,82ab	82±5,33a	27,89±3,72a	365,95±54,27b
	Piss 100 J*Talé Mossi S2	30,67±2,09ab	35±7,19b	2,62±1,43b	456,49±47,8b
	Piss 250 M*Talé Mossi S2	26,05±5,08ab	41,67±3,07b	3,98±1,1b	577,76±27,94b
	Worou 2S4	31,32±4,84ab	63,33±8,43ab	5,55±2,8b	390,23±47,09b
Talé Mossi S2	Piss 100 J*Worou 2S4	28,98±4,22ab	29±5,67b	3,11±1,32b	430,75±112,31b
	Talé Mossi S2	30,24±3,03ab	65±14,32ab	9,35±3,64b	364,89±47,02b
	Témoin	23,49±2,87b	36,67±10,85b	2,67±1,33b	362,98±24,67b
Fumier	47,08±4,35a	13,33±4,22b	0,68±0,5b	883,56±63,09a	
<i>Niveau de signification</i>					
		0,04	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Pour la même colonne (biomasse aérienne, fréquence ou intensité de mycorhization, rendement), les valeurs qui ont en commun une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %.

## Discussion

Cette étude a été conduite pour mettre en évidence *in situ* l'efficacité des symbioses rhizobienne et mycorhizienne dans l'amélioration de la productivité du niébé. Les résultats obtenus montrent que l'inoculation améliore effectivement la productivité du niébé (tableau II). Ces résultats pourraient s'expliquer par l'amélioration de la nutrition minérale du niébé par les souches symbiotiques inoculées. Ils corroborent ceux de Haro (2016) qui a montré l'effet bénéfique de la double inoculation rhizobienne et mycorhizienne sur la croissance et la productivité du niébé. Des résultats analogues ont été obtenus par Haro *et al.* (2015) qui ont montré que la double inoculation rhizobienne et mycorhizienne (ORS3409+Ga) est plus bénéfique aux plants de la variété de niébé (K VX 396-4-5-2D) utilisée avec une amélioration de la croissance en hauteur de 8,82 %. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Ndoye *et al.* (2016) qui ont montré que l'inoculation avec les CMA *G. verruculosum*, *G. manihotis* et *R. irregularis* a amélioré significativement la biomasse des plants de fonio. Des résultats similaires ont été trouvés par Ouahmane *et al.* (2007) qui ont montré les effets bénéfiques de la symbiose mycorhizienne sur la croissance de *Cupressus atlantica*. Aussi, les travaux de Ryan et Angus (2003) ont montré l'avantage des CMA pour l'augmentation de la productivité et l'approvisionnement en nutriments (P et Zn).

Nos résultats montrent également que de façon générale, la fréquence de mycorhization des plants inoculés est élevée (82 %) alors que l'intensité de mycorhization reste faible (27,89 %). La plus faible fréquence (13,33 %) et intensité (0,68 %) de mycorhization a été enregistrée pour le traitement fertilisé avec le fumier. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la symbiose n'est pas utile pour le niébé lorsque les nutriments sont disponibles dans le sol et directement accessibles à la plante. De ce fait, la disponibilité des nutriments dans le sol diminue l'infection endomycorhizienne et rhizobienne. Ces résultats sont en concordance avec les travaux de Haro *et al.* (2012) et Haro (2011). En effet, ces auteurs ont montré que la symbiose s'établit et se développe progressivement avec l'épuisement des nutriments directement accessibles aux racines des plantes dans le sol. Des résultats analogues ont été trouvés par Shi *et al.* (2014) qui ont montré que la fertilisation réduit l'abondance des hyphes de CMA dans le sol.

De ces résultats, il ressort que l'effet de l'inoculation varie en fonction des souches inoculées. C'est ainsi que seule la double inoculation avec Piss 250 M\*Worou 2S4 a permis d'améliorer la production du niébé au même titre que la fertilisation avec le fumier. Ces résultats pourraient s'expliquer par la différence dans l'efficacité des souches symbiotiques dans l'amélioration de la nutrition minérale du niébé. Ces résultats corroborent ceux de Haro (2016) qui a montré que la double inoculation rhizobienne et mycorhizienne permet d'améliorer la production du niébé au même titre que la fertilisation avec l'engrais chimique, NPK, à la dose de 100 kg/ha. Les travaux de Solaiman et Abbott (2003) ont montré que la croissance des plantes induites par les champignons mycorhiziens arbusculaires varie selon les espèces de champignons.

Il ressort de cette étude que l'inoculation rhizobienne, malgré qu'elle améliore la productivité du niébé par rapport au témoin, l'améliore moins que l'inoculation mycorhizienne qui à son tour l'améliore moins que la double inoculation. Ceci suggère que la fixation symbiotique de l'azote serait plus exigeante en phosphore que la croissance de la plante elle-même (Robson, 1983). Ces résultats sont en concordance avec ceux de Colonna *et al.* (1991). Ces auteurs ont montré que l'inoculation rhizobienne seule ne double pas tout à fait les valeurs de la biomasse aérienne de

*Acacia senegal* non-inoculé, que l'inoculation endomycorhizienne seule les triple et que la double inoculation les multiplie par 5 ou 6.

Ces résultats pourraient également s'expliquer par le fait que les effets de la double inoculation seraient complémentaires puisque l'efficacité de l'inoculation rhizobienne est dépendant de celle mycorhizienne pour la forte demande en phosphore de la fixation symbiotique de l'azote. En effet, Miao *et al.* (2007) ont montré que la déficience en P inhibe spécifiquement le développement de nodules et de ce fait la fixation de N<sub>2</sub>. Des résultats analogues ont été trouvés par Gentili et Huss-Danell (2003) qui ont montré que le P peut augmenter la nodulation et stimuler l'activité de la nitrogénase par l'amélioration de la croissance des plantes.

L'augmentation du rendement par la double inoculation est en concordance avec les travaux de Aboubacar *et al.* (2013) qui a montré que la double inoculation rhizobienne et mycorhizienne améliore de manière significative les rendements en gousses et en graines de trois variétés de niébé.

## Conclusion

Cette étude, menée dans l'objectif d'améliorer la productivité du niébé par l'inoculation rhizobienne et mycorhizienne, a permis de montrer que les souches rhizobienne et mycorhizienne natives améliorent aussi bien la production de biomasse et de graines au même titre que la fertilisation avec le fumier.

De cette étude il ressort que la double inoculation conviendrait aussi bien pour la production de graine de niébé que pour la production de fourrage. Cependant, il serait intéressant de suivre les souches après inoculation et de vérifier leur viabilité et leur persistance en vue d'envisager sa vulgarisation dans l'agriculture. Bien qu'ayant montré des résultats prometteurs dans cette étude, ces souches méritent d'être testées dans divers écosystèmes afin de confirmer leurs caractères efficients.

## 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 » et du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (West Africa Agricultural Productivity Program) (PPAAO/WAAPP), composante du Burkina Faso.

## Références bibliographiques

**Aboubacar K., Ousmane Z.M., Amadou H.I., Issaka S., Zouberou A.M., 2013.** Effet de la co-inoculation du rhizobium et de mycorhizes sur les performances agronomiques du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] au Niger. *Journal of Applied Biosciences* 72(1): 5846-5854.

**Bado B.V., 2002.** *Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanaise du Burkina Faso.* Philosophiae Doctor (Ph. D.), Université de Laval. 197.

**Bressani R., 1985.** Nutritive value of cowpea. *cowpea research, production and utilization*: 353-359.

**Colonna J.P., Ducouso M., Badji S., 1991.** Peut-on améliorer la croissance de l'*Acacia senegal* L Willd. et du système symbiotique "*Acacia senegal*-*Rhizobium*"? Fonds Documentaire ORSTOM 14318: 1-17.

- Diem H.G., Guèye I., Gianinazzi-Pearson V., Fortin J.A., Dommergues Y.R., 1981.** Ecology of VA mycorrhizae in the tropics: The semi-arid zone of Senegal. *Acta Oecologica / Oecologia Plantarum* 16: 53-62.
- Franco A.A., Munns D.N., 1982.** Acidity and aluminum restraints on nodulation, nitrogen fixation, and growth of *Phaseolus vulgaris* in solution culture. *Soil Science Society of America Journal* 46(2): 296-301.
- Gentili F., Huss-Danell K., 2003.** Local and systemic effects of phosphorus and nitrogen on nodulation and nodule function in *Alnus incana*. *J Exp Bot* 54(393): 2757-2767.
- Graham P.H., 1981.** Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a Review. *Field Crops Research* 4(2): 93-112.
- Haro H., 2011.** Effet d'inoculum de champignons mycorrhiziens arbusculaires sur la productivité du niébé *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Diplôme d'Études Approfondies (DEA) en Biotechnologie Microbienne et Cellulaire, Université de Ouagadougou. 94.
- Haro H., 2016.** Optimisation des symbioses rhizobienne et mycorrhizienne pour améliorer la productivité du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] au Burkina Faso. Doctorat (Ph. D.), Université Ouaga 1 Professeur Joseph Ki-Zerbo. 241.
- Haro H., Sanon K.B., Diop I., Kane A., Dianda M., Houngnandan P., Neyra M., Traoré A., 2012.** Réponse à l'inoculation mycorrhizienne 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.
- Haro H., Sanon K.B., Krasova-Wade T., Kane A., N'Doye I., Traoré A.S., 2015.** Réponse à la double inoculation mycorrhizienne et rhizobienne du niébé (variété, KVX396-4-5-2D) cultivé au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(3): 1485-1493.
- Hungria M., Vargas M.A.T., 2000.** Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research* 65(2-3): 151-164.
- Miao S.J., Qiao Y.F., Han X.Z., An M., 2007.** Nodule formation and development in soybeans (*Glycine max* L.) in response to phosphorus supply in solution culture. *Pedosphere* 17(1): 36-43.
- Mikola P., 1987.** Mycorrhizae under tropical stresses. *Angewandte Botanik*[ANGEW. BOT.]. 61(1-2): 15-23.
- Morris M.L., 2007.** Fertilizer use in African agriculture: Lessons learned and good practice guidelines: World bank Publications. 144.
- Ndoye F., Diedhiou A.G., Gueye M., Fall D., Barnaud A., Sy M.O., Noba K., Diouf D., Kane A., 2016.** Réponse du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf) à l'inoculation avec des champignons mycorrhiziens à arbuscules en conditions semi-contrôlées. *Journal of Applied Biosciences* 103(1): 9784-9799.
- Ouahmane L., Thioulouse J., Hafidi M., Prin Y., Ducouso M., Galiana A., Plenchette C., Kisa M., Duponnois R., 2007.** Soil functional diversity and P solubilization from rock phosphate after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Forest ecology and management* 241(1-3): 200-208.
- Ouédraogo S., 2003.** Impact économique des variétés améliorées du niébé sur les revenus des exploitations agricoles du plateau central du Burkina Faso. *Tropicicultura* 21(4): 204-210.
- Phillips J.M., Hayman D.S., 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 J.M., Fortin J.A., 2005.** Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science* 85(1): 31-40.
- Robson AD 1983.** Mineral nutrition. In: WJ Broughton CP, Oxford ed. *Nitrogen fixation of legumes*, 37-55.
- Ryan M.H., Angus J.F., 2003.** Arbuscular mycorrhizae in wheat and field pea crops on a low P soil: increased Zn-uptake but no increase in P-uptake or yield. *Plant and Soil* 250(2): 225-239.
- Sanchez P.A., 1977.** Properties and Management of Soils in the Tropics. *Soil Science* 124(3): 187.

**Shi G., Liu Y, Johnson N.C., Olsson P.A., Mao L., Cheng G., Jiang S., An L., Du G., Feng H., 2014.** Interactive influence of light intensity and soil fertility on root-associated arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 378(1-2): 173-188.

**Singh B., Chambliss O., Sharma B., 1997.** *Recent advances in cowpea breeding*. 30-49.

**Singleton P.W., Abdelmagid H.M., Tavares J.W., 1985.** Effect of phosphorus on the effectiveness of strains of *Rhizobium japonicum*. *Soil Science Society of America Journal* 49(3): 613-616.

**Solaiman M.Z., Abbott L.K., 2003.** Phosphorus uptake by a community of arbuscular mycorrhizal fungi in jarrah forest. *Plant and Soil* 248(1/2): 313-320.

**Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S., 1986.** Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Mycorrhizae : physiology and genetics*: 217-221.