



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Impacts des pratiques culturales sur la production du sorgho (*Sorghum bicolor* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) et sur le bilan partiel de l'azote sous niébé au Burkina Faso

A. DABRE¹, E. HIEN^{2*}, D. SOME² et J. J. DREVON³

¹Bureau National des Sols, 03 BP 7142 Ouagadougou 03, +226 70997805 E-mail : dabreab@gmail.com, Burkina Faso.

²Université de Ouagadougou, UFR/SVT, UMR ECOSOLS 03 BP7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

³UMR Eco & Sols ; Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, 2 Place Viala, F34060, Montpellier, France.

*Auteur correspondant, E-mail : edmond.hien@ird.fr; BP7021 Ouagadougou 03 ; Tel : +226 70263636

RESUME

L'étude, réalisée en vase de végétation sous serre, avait pour objectif d'évaluer les effets de pratiques culturales incluant l'apport d'amendements organo-minéraux sur les paramètres de rendement du sorgho et du niébé et sur le bilan partiel de l'azote du sol en culture de niébé. Du fumier et du compost associés ou non à du burkinaphosphate ont été apportés dans des pots contenant des échantillons d'un sol dégradé. Le sorgho et le niébé ont été cultivés en cultures pures et associées. Les mesures ont porté sur la croissance des plants, la biomasse, la nodulation du niébé et le bilan partiel de l'azote. Il ressort que le traitement compost associé au phosphate assure la meilleure croissance des plants, la production en biomasse végétale la plus élevée et la plus forte nodulation du niébé (53 nodules.plant⁻¹) en monoculture. Le nombre de nodules apparait fortement corrélé aux biomasses aérienne et racinaire. Par ailleurs, le fumier combiné au phosphate améliore plus le statut de l'azote du sol ; la fixation symbiotique d'azote la plus élevée a été observée avec ce traitement (9,48 mg.pot⁻¹). La culture associée du niébé et du sorgho semble créer une compétition en nutriment et en lumière défavorable à la production des deux cultures et la fixation symbiotique du niébé.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Sorgho, niébé, pratiques culturales, croissance, biomasse, nodulation.

Impacts of farming practices on sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) production and on the partial nitrogen balance in cowpea in Burkina Faso

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.
<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.22>

2702-IJBSCS

ABSTRACT

The objective of the study carried out in vegetation vase under greenhouse, was to evaluate the effects of cultural practices, including the use of organo-mineral amendments on the yield parameters of sorghum and cowpea and on the partial balance of soil nitrogen in cowpea growing. Manure and compost associated or not with burkinaphosphate were fed into pots containing samples of degraded soil. Sorghum and cowpea were grown as pure and associated crops. Measurements were carried out on plant growth, biomass, cowpea nodulation and partial nitrogen balance. The compost-phosphate association treatment ensures the best plant growth, the highest plant biomass production and the highest cowpea nodulation (53 nodules.plant⁻¹) in monoculture. The number of nodules appears strongly correlated with aerial and root biomass. On the other hand, manure combined with phosphate improves the status of soil nitrogen; the highest symbiotic nitrogen fixation was observed with this treatment (9.48 mg.pot⁻¹). The associated cultivation of cowpea and sorghum appears to create competition in nutrients and light unfavorable to the production of both crops and the symbiotic fixation of cowpea.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: sorghum, cowpea, practices, growth, biomass, nodulation.

INTRODUCTION

L'agriculture burkinabè est extensive et dominée par de petites exploitations familiales. Elle fait face à d'importantes contraintes limitant ses performances comme la faiblesse des teneurs en phosphate et azote des sols. Le rôle bénéfique de la culture des légumineuses sur la fertilité du sol et les rendements des céréales subséquentes est maintenant bien établi. Traoré et al. (2015) ont, en effet, obtenu des augmentations du rendement du riz paddy (pluvial) de 49%, 92% et 104% respectivement avec des précédents culturaux de mucuna, d'arachide et de niébé sur sol ferrugineux à la station expérimentale de Farako-bâ (Burkina Faso). Le niébé est une légumineuse courante dans ces agroécosystèmes, cultivé souvent en association avec une céréale qui présente un grand intérêt entre autres eu égard à ses valeurs nutritives, notamment la richesse de ses graines et feuilles en protéine et en éléments minéraux (Hall et al., 2003, Timko et Sing, 2008). Il peut donc être mis à contribution à travers sa capacité à fixer l'azote atmosphérique dans la perspective d'une gestion durable des terres. La quantité d'azote fixé en milieu paysan et contrôlé varie

en fonction de la variété cultivée, des fertilisations pratiquées et des champs paysans étudiés (Naab et al., 2009 ; Belane et al., 2011 ; Traoré, 2012). L'influence des pratiques paysannes sur la productivité des sols et la fixation symbiotique de l'azote chez le niébé dépend de l'état de fertilité et des modes de gestion de la fertilité des sols (Bado et al., 2006 ; Vesterager et al., 2008 ; Kiba, 2012). Même si le potentiel des microorganismes symbiotiques est reconnu, leur prise en compte dans les systèmes de culture fait défaut (Yaméogo, 2009).

Cette étude avait pour objectif d'appréhender les impacts des amendements organiques et minéraux sur les performances agronomiques des cultures et sur le bilan partiel de l'azote du sol sous niébé. Elle a consisté à tester les pratiques paysannes en mettant en place un essai en cultures pure et associée de niébé et de sorgho avec des substrats organiques (fumier et compost) et minéraux (burkinaphosphate).

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Les échantillons de sol utilisés ont été prélevés en février 2014 sur une zone

dénudée dans le village de Pougyango, province du Passoré dans la couche 0-20 cm en bordure de l'essai agronomique conduit en milieu paysan. Il s'agit d'un leptosol petroplhintique (FAO, 2014) sur lequel rien ne pousse. Les matériels végétaux utilisés sont le sorgho (*Sorghum bicolor* L.; variété ICSV 1049) et le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., variété K VX 61-1). Le fumier utilisé est un fumier de parc de bovins. Le compost utilisé est fabriqué par les producteurs de Pougyango, zone de l'essai au champ. Le Burkinaphosphate (BP) utilisé comme amendement minéral est du phosphate naturel de Kodjari finement broyé. Les caractéristiques chimiques des amendements sont résumées dans le Tableau 1.

Méthodes

Les échantillons de sol prélevés ont été préalablement séchés à l'air et tamisé avec un tamis de 2 mm de diamètre avant la mise en pots. Cinq kg du sol tamisé à 2 mm ont été mis dans les pots d'une capacité de six litres.

Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est de type split plot à deux facteurs qui a pris en compte le facteur amendement et le facteur matériel végétal utilisé. Cinq (5) traitements ont été testés : TA : Témoin Absolu ; C : Compost à 3t.ha⁻¹ (soit 62 g/pot) ; F : Fumier à 3 t.ha⁻¹ (soit 62 g/pot) ; CP : Compost à 3 t.ha⁻¹ (soit 62 g/pot) + BP à 2 t.ha⁻¹ (soit 40,5 g/pot) ; FP : Fumier à 3 t.ha⁻¹ (soit 62 g/pot) + BP à 2 t.ha⁻¹ (soit 40,5 g/pot). Chaque traitement a été répété 6 fois. 30 pots ont ainsi été ensemencés en sorgho ; 30 autres ont été ensemencés en niébé et les 30 derniers avec du niébé associé au sorgho soit au total 90 pots.

Conduite de l'essai

Les amendements organiques et minéraux ont été apportés le 14 mars 2014. Le sol mis dans chaque pot a été humidifié après l'apport des amendements à la capacité au champ (1 250 ml d'eau). Deux poquets

(culture pure) ou quatre (culture associées) de semis diamétralement opposés ont été réalisés le 17 mars. Le démariage a été effectué le 22 mars 2014 soit 5 jours après semis. Par la suite, les plants ont été arrosés avec des quantités d'eau généralement inférieures à la capacité au champ (500-800 ml) réparties en deux arrosages (matin entre 7h et 8h, et après-midi entre 16h et 17h).

Mesures et analyses

La hauteur de chaque plant a été mesurée hebdomadairement du collet au dernier nœud de la tige (sorgho) ou jusqu'à la plus haute feuille de la tige principale (niébé) avec une règle d'un mètre de long jusqu'à la huitième semaine. Les accroissements hebdomadaire (AH) et global (AG) ont été calculés de la façon suivante :

AH (accroissement hebdomadaire) = H_{n+1} - H_n ;

AG (accroissement global) = H_f - H_i

H_{n+1} est la hauteur des plants à la (n+1)^{ième} semaine de mesure

H_n est la hauteur des plants à la n^{ième} semaine de mesure.

H_f est la hauteur des plants à la dernière semaine de mesure

H_i est la hauteur des plants à la première semaine de mesure.

La biomasse aérienne a été séparée de la biomasse racinaire lors du dépotage à partir de la base des collets des différentes plantes. Les racines soigneusement récupérées ont été lavées puis rincées à l'eau en vue de les débarrasser des particules de terre et rendre plus visibles les nodules pour le comptage. Après éclatement des mottes, le tout a été transvasé sur 3 tamis emboîtés à différents diamètres (0,5 mm, 1 mm et 2 mm) pour éviter les pertes de biomasse racinaire. Après nettoyage et pré-séchage à l'ombre, les différentes biomasses ont été soigneusement conditionnées dans du papier aluminium et séchées à l'étuve à 40 °C jusqu'à poids constant puis pesées. Au regard de la

difficulté de dissocier les racines du niébé de celles du sorgho en culture associée, les moyennes des biomasses ont été estimées par pot. Les biomasses aériennes des plants de niébé et de sorgho obtenues en culture pure ont été broyées à 500 µm pour le dosage de l'azote (méthode KJELDAHL).

La nodulation des racines de niébé a été mesurée par comptage chaque trois semaines pendant neuf semaines soit 63 jours après semis (JAS). Il a concerné les plants de niébé cultivés en monoculture et en association avec le sorgho.

Pour le bilan partiel de l'azote, il a été considéré que l'azote contenu dans les racines et les exsudats racinaires du niébé à la récolte représentait 50% de l'azote total de la plante (Laberge et al., 2011) ; et que la teneur en azote des racines est similaire à celle de la partie aérienne. Les entrées et exportations d'azote ont été calculées en adaptant les formules utilisées par Semporé (2008) à la situation de l'étude. Le bilan calculé étant partiel, les pertes d'azote par lixiviation et les pertes d'azote sous forme gazeuse ainsi que les apports météoriques et minéralisation de la matière organique du sol n'ont pas été prises en compte. Considérant Q(f), la quantité (en kg/pot) de fumure organique (compost, fumier) apportée en début de l'essai et t(f) la teneur moyenne de fumure organique (en g.kg⁻¹ de MS) en azote alors la quantité d'azote apportée Nap(f) (en mg/pot) par la fumure organique a été obtenu comme suit :

$$\text{Nap(f)} = \text{Q(f)} \times \text{t(f)} * 1000$$

Si Rr est la production (en kg/pot) de biomasse aérienne récoltée dans les pots en fin de l'essai et t(fane) la teneur moyenne des fanes de cultures (en g.kg⁻¹ de biomasse sèche) en azote alors la quantité d'azote exportée Nexp(fane) (en mg/pot) par les biomasses aériennes de cultures a été calculée selon la formule:

$$\text{Nexp(fane)} = \text{Rr} \times \text{t(fane)} * 1000$$

La quantité d'azote fixée N(fixé) par la fixation symbiotique, quant à elle a été déduite par la méthode de différence de l'azote total. La méthode de la différence d'azote a consisté à quantifier l'azote fixé par la différence entre l'azote total d'une plante fixatrice et celui d'une plante non fixatrice d'azote utilisée comme plante de référence (Danso, 1995). Elle suppose que si une plante fixatrice d'azote atmosphérique et une plante non fixatrice sont cultivées dans les mêmes conditions sur un même milieu, la quantité d'azote accumulé par la plante fixatrice sera supérieure à celle mobilisée par la plante non fixatrice. Dans cette étude, le niébé a été utilisée comme plante fixatrice d'azote et le sorgho, la plante de référence. L'hypothèse simpliste de l'égalité des besoins en azote des plantes constitue le point faible majeur de cette méthode (Danso, 1995). Ainsi, la quantité d'azote fixé N(fixé) (en mg/pot) a été déterminée par la formule suivante :

$$\text{N(fixé)} = \text{N total niébé (mg/pot)} - \text{N total sorgho (mg/pot)}$$

Le bilan de l'azote (en mg/pot) s'obtient en effectuant la différence entre les entrées (inputs) et les sorties (outputs) de cet élément.

$$\text{Bilan} = [\text{Nap(f)} + \text{N(fixé)}] - \text{Nexp(fane)}$$

Traitement des données

Les analyses statistiques des données ont été réalisées en utilisant le logiciel XLSTATS version 13. Les procédures utilisées ont été l'analyse de la variance (ANOVA) et la séparation des moyennes par le test de Student Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5%.

RESULTATS

Effets de l'apport des amendements organiques et phosphatés sur la croissance du sorgho et du niébé

Les résultats (Tableau 2) montrent que la croissance globale des plants du niébé du traitement CP a été significativement plus grande (96,1 cm) que celle du témoin absolu

(11,5 cm) en culture pure. En association avec le sorgho, cette croissance est élevée avec le compost (37,7 cm) sans différence significative avec les autres traitements. Les résultats indiquent aussi que la croissance globale a été statistiquement plus élevée en culture pure (63,5 cm) qu'en association avec le sorgho (27,2 cm). Sous sorgho, la croissance enregistrée dans le traitement CP a été aussi plus élevée et statistiquement supérieure (35,6 cm) à celle du témoin absolu (5,1 cm) en monoculture. En association avec le niébé, cette croissance a été statistiquement plus élevée sous le traitement fumier (36,7 cm) par rapport à celle notée sous le témoin (5 cm). Il ressort de façon globale que la croissance du sorgho en monoculture (27,6 cm) n'a pas été différente significativement lorsqu'il est associé au niébé dans les mêmes poquets (26,5 cm).

Effets de l'apport des amendements organiques et phosphatés sur la production des biomasses

Les résultats présentés dans le Tableau 3 montrent qu'en culture pure de niébé, les biomasses aérienne (17,95 g.pot⁻¹) et racinaire (3,08 g.pot⁻¹) enregistrées sous le traitement CP ont été supérieures et statistiquement différentes de celles obtenues respectivement avec le fumier (15,75 g.pot⁻¹ et 2,45 g.pot⁻¹), le compost (14,95 g.pot⁻¹; 2,6 g.pot⁻¹) et le témoin (1,17 g.pot⁻¹; 0,23 g.pot⁻¹). Quant à la culture pure de sorgho, le traitement FP a engendré des biomasses aérienne (29,25 g.pot⁻¹) et racinaire (11,63 g.pot⁻¹) statistiquement supérieures à celles observées avec les traitements fumier (18,15 g.pot⁻¹; 7,28 g.pot⁻¹), compost (17,35 g.pot⁻¹; 7,08 g.pot⁻¹) et le témoin absolu (0,56 g.pot⁻¹; 0,18 g.pot⁻¹). En culture associée, les biomasses aérienne et racinaire ont été plus élevées et statistiquement différentes avec les traitements CP (26,35 g.pot⁻¹; 6,8 g.pot⁻¹) et FP (23,13 g.pot⁻¹; 6,65 g.pot⁻¹)

comparativement à celles notées avec le compost (19,9 g.pot⁻¹; 4,93 g.pot⁻¹) et le témoin absolu (2,23 g.pot⁻¹; 0,46 g.pot⁻¹). Aussi, les résultats indiquent que quels que soient la culture, la matière organique appliquée et le mode de culture, l'ajout du burkinaphosphate a amélioré significativement la production de la biomasse. Et, la somme algébrique des biomasses produites en monoculture a été supérieure à la biomasse en culture associée.

Effets de l'apport des amendements organiques et phosphatés sur la nodulation du niébé

Il ressort des résultats qu'en monoculture (Tableau 4), le traitement CP induit statistiquement une meilleure nodulation (53 nodules/plant) du niébé par rapport au nombre moyen de nodules formés dans les traitements fumier (24 nodules/plant) et témoin absolu (6 nodules/plant). L'apport combiné du phosphate avec le compost ou le fumier a entraîné une hausse de la nodulation du niébé estimée à 51,43% et à 58,33% respectivement par rapport à la nodulation obtenue avec le compost et le fumier seuls. En culture associée, le traitement FP a favorisé une nodulation significative du niébé (16 nodules/plant) comparativement à celles constatées avec le compost (7 nodules/plant) et le témoin (4 nodules/plant). De façon générale, la moyenne de nodules formés par plant de niébé en monoculture (31 nodules/plant) a été statistiquement plus élevée que celle obtenue en culture associée avec le sorgho (9 nodules/plant). En réalisant les tests de corrélation linéaire au seuil de 5% (Figure 1), les résultats montrent qu'il existe une forte corrélation positive entre le nombre de nodules et la biomasse aérienne ($r=0,54$) et racinaire ($r=0,69$) du niébé et significative au seuil de 5% en culture associée (Figures 1a et 1b). Cette corrélation a été meilleure en monoculture (Figures 1c et 1d) surtout pour le

développement racinaire. Il a été observé une forte corrélation positive entre le nombre de nodules formés par plant de niébé et la biomasse aérienne (70%) et racinaire (76%). Indépendamment du mode de culture, les tests de corrélation linéaire de Pearson entre le nombre de nodules formés par plant de niébé et la biomasse produite ne sont pas significatifs au seuil de 5% (Figures 1e et 1f).

Bilan partiel d'azote

Les résultats du bilan partiel de l'azote (Tableau 5) montrent que le niébé fixe 4,4 ; 7,68 et 0,003 mg/pot d'azote atmosphérique

respectivement sous les traitements CP, FP et TA. Ce qui représente respectivement 77,33% ; 116,89% et 30% de l'azote exporté dans la biomasse aérienne du niébé. Ainsi, le bilan partiel de l'azote induit par le niébé a été positif dans les traitements CP et FP mais négatif dans le témoin absolu. Il a atteint une valeur statistiquement plus élevée (9,48 mg/pot) au niveau du traitement FP par rapport à sa valeur notée dans le traitement CP (3,43 mg/pot) qui, de même a été significativement supérieure à celle du témoin (-0,007 mg/pot).

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques des amendements utilisés.

Amendements utilisés	pH eau	N total (%)	C total (%)	P total (% P ₂ O ₅)	CaO (%)	K total (% K ₂ O)	C/N
Fumier	8,6	1,35	14,89	-	-	-	11
Compost	7,7	0,76	10,28	-	-	-	13,6
BP				25,43	10,61	0,3	

C total : Carbone total ; CaO : Oxyde de Calcium ; pH : Potentiel hydrogène ; N total : azote total ; C/N : ratio carbone-azote.

Tableau 2: Effets de l'apport des amendements organiques et phosphatés et le mode de culture sur la croissance globale des plants (cm).

Traitements	Niébé		Sorgho	
	Culture pure	Association	Culture pure	Association
C	63,7 ± 9,8 ab	37,7 ± 1,5 a	30 ± 0,3 a	27,3 ± 3,5 a
CP	96,1 ± 5,6 a	25,4 ± 8,7 a	35,6 ± 0,6 a	31,4 ± 0,4 a
F	64,3 ± 8,6 ab	28,0 ± 3,2 a	34,1 ± 2,4 a	36,7 ± 9,5 a
FP	82 ± 0,4 ab	30,9 ± 1,1 a	33,3 ± 4,2 a	31,9 ± 0,4 a
TA	11,5 ± 2,9 b	13,7 ± 4,2 a	5,1 ± 1,9 b	5 ± 1,3 b
Monoculture	63,5 ± 4 a		27,6 ± 1,6 a	
Association	27,2 ± 2,7 b		26,5 ± 3,9 a	

NB : Dans une même colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls (SNK) au seuil de probabilité de 5%.

TA : Témoin absolu ; C : Compost ; CP : Compost + Burkinaphosphate ; F : Fumier ;

FP : Fumier + Burkinaphosphate.

Tableau 3 : Effets de l'apport des amendements organiques et phosphatés et le mode de culture sur la production des biomasses (g.pot⁻¹).

Traitements	Niébé		Sorgho		Niébé + Sorgho	
	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire
C	14,95 ± 1,11 c	2,6 ± 0,29 b	17,35 ± 1,39 b	7,08 ± 1,93 b	19,9 ± 1,15 b	4,93 ± 0,71 b
CP	17,95 ± 0,99 a	3,08 ± 0,40 a	28,28 ± 2,00 a	10,55 ± 1,80 ab	26,35 ± 3,80 a	6,8 ± 0,37 a
F	15,75 ± 0,92 bc	2,45 ± 0,06 b	18,15 ± 4,71 b	7,28 ± 0,97 b	23,13 ± 2,27 ab	4,88 ± 0,86 b
FP	17,05 ± 0,97 ab	2,73 ± 0,21 ab	29,25 ± 5,75 a	11,63 ± 3,54 a	26,23 ± 3,66 a	6,65 ± 1,57 a
TA	1,17 ± 0,23 d	0,26 ± 0,08 c	0,56 ± 0,14 c	0,18 ± 0,11 c	2,23 ± 0,68 c	0,46 ± 0,12 c

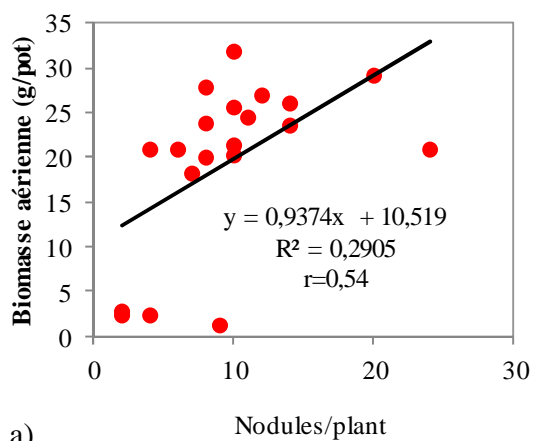
NB : Dans une même colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls (SNK) au seuil de probabilité de 5%. ; TA: Témoin absolu ; C: Compost ; CP: Compost + Burkinaphosphate ; F : Fumier ; FP : Fumier + Burkinaphosphate.

Tableau 4 : Effets de l'apport des amendements organiques et phosphatés et le mode de culture sur la nodulation du niébé (nodules/plant).

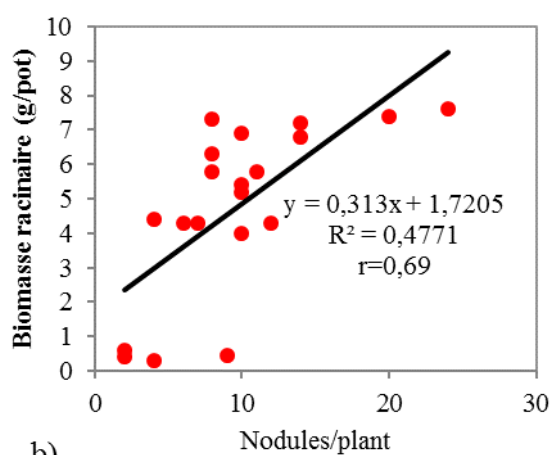
Traitements	Nombre moyen de nodules	
	Niébé pur	Niébé associé au sorgho
C	36 ± 3 ab	7 ± 3 b
CP	53 ± 19 a	11 ± 6 ab
F	24 ± 6 bc	9 ± 1 ab
FP	38 ± 10 ab	16 ± 6 a
TA	6 ± 3 c	4 ± 1 b
Niébé pur	31 ± 7 a	
Niébé associé	9 ± 3 b	

NB : Dans une même colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls (SNK) au seuil de probabilité de 5%.

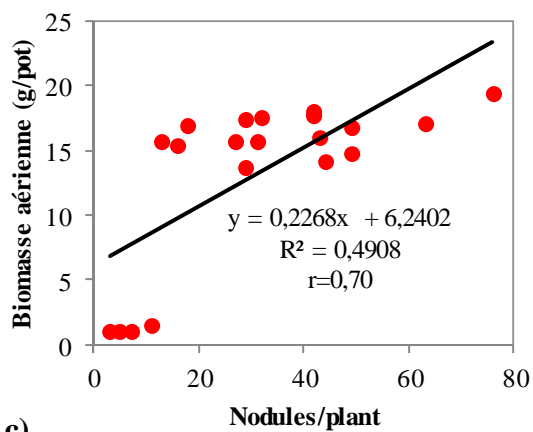
TA: Témoin absolu ; C : Compost ; CP : Compost + Burkinaphosphate ; F : Fumier ; FP : Fumier + Burkinaphosphate.



a)



b)



c)

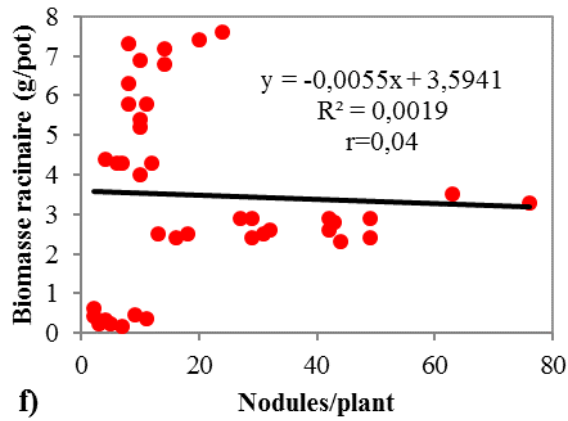
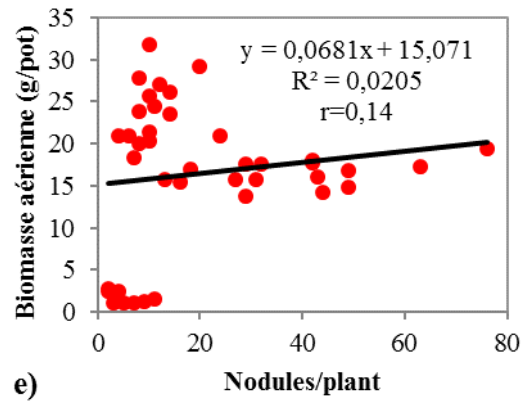
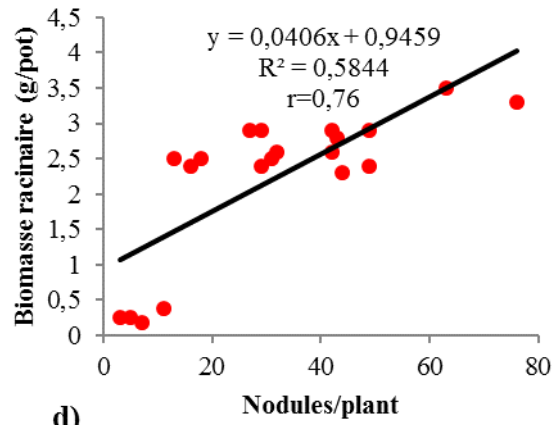


Figure 1 : Corrélation entre nombre de nodules et biomasse aérienne et racinaire du niébé par mode de culture.

Tableau 5 : Effets de l'apport des amendements organiques et phosphatés sur le bilan partiel de l'azote (mg/pot).

Traitements	N total apporté	N total fixé	N total exporté	Bilan azote partiel
CP	4,712	4,4 ± 1,05 b	5,69 ± 1,89 a	3,43 ± 0,47 b
FP	8,37	7,68 ± 1,69 a	6,57 ± 1,30 a	9,48 ± 2,42 a
TA	0	0,003 ± 0,001 c	0,01 ± 0,001 b	- 0,007 ± 0,009 c

NB : Dans une même colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls (SNK) au seuil de probabilité de 5%.

TA : Témoin absolu ; CP : Compost + Burkinaphosphate ; FP : Fumier + Burkinaphosphate ; N total : Azote total.

DISCUSSION

Effets des traitements sur la croissance du sorgho et du niébé

La meilleure croissance des plants du sorgho et du niébé dans le traitement CP s'explique par l'apport du compost combiné au burkinaphosphate qui améliore la fertilité chimique et physique du sol. Cet amendement organique fournirait l'azote au sol pendant que le burkinaphosphate libèrerait le phosphore, tous deux, principaux éléments minéraux limitants la productivité des sols burkinabè (Traoré et Toé, 2008). En effet, Segda et al. (2014) ont montré que la carence en phosphore est le principal facteur limitant des sols de la plaine de Bagré (Burkina Faso) à la production intensive du riz. Le compost utilisé ayant un pH de 7,7 et un rapport C/N de 13,6 contre un pH de 8,6 et un rapport C/N de 11 pour le fumier, a dû se minéraliser beaucoup plus rapidement que le fumier permettant de mettre la disposition des plantes ces deux éléments pour leur croissance. Lorsque les deux cultures sont associées dans les mêmes poquets, la vitesse de prélèvement des nutriments semblent supérieure à la vitesse de minéralisation de la matière organique et de celle de la solubilité du burkinaphosphate. Ce qui justifierait la faible

croissance des plants de sorgho et de niébé dans ce cas. Ce résultat montre que l'application du compost stable combiné au burkinaphosphate améliore mieux la croissance des plants du sorgho et du niébé contrairement au constat fait par Maré (2009) qui trouve qu'il faut apporter le fumier associé au burkinaphosphate pour obtenir une bonne croissance de ces cultures. En général, l'action des microorganismes, responsables de la minéralisation de la matière organique, est optimale à un pH proche de la neutralité. Ce qui pourrait expliquer une minéralisation plus rapide du compost. Aussi, les résultats ont montré que les valeurs de croissance bien supérieures à celles obtenues par Maré (2009) sont fonction du volume de sol disponible pour les racines. L'utilisation des pots à volume réduit aurait conduit à l'épuisement rapide des nutriments, à un mauvais développement racinaire dû au manque d'espace et à la mauvaise aération. Les sols du Burkina Faso étant naturellement pauvres en matières organiques notamment en éléments nutritifs essentiels dont l'azote et le phosphore (Traoré et Toé, 2008), l'étude indique que l'application de la matière organique riche en éléments fertilisants combinée au burkinaphosphate permet l'obtention d'un bon

développement des plants. Des augmentations de rendement de sorgho de 36% et 102% (respectivement avec du compost simple et du compost associé à du NPK et d'Urée) ont été constatées par Sermé et al. (2015) en zone sud soudanienne du Burkina Faso. Par ailleurs, la densité plus élevée des plants en culture associée (4 plants/pot contre 2 plants/pot en culture pure) aurait créé une forte concurrence pour les nutriments justifiant la faible croissance de ces derniers.

Effets des traitements sur la biomasse végétale du sorgho et du niébé

La croissance des plants permet certes, d'apprécier la nutrition hydrique et minérale, mais le rendement constitue l'expression matérielle de cette nutrition du sorgho. Le traitement CP qui a induit la meilleure croissance de niébé et de sorgho a aussi entraîné une production significative de biomasses aérienne et racinaire de ces cultures et principalement en monoculture. L'importance de la biomasse produite serait dépendante d'une croissance des plants. La biomasse produite par le niébé et le sorgho respectivement dans les traitements compost et fumier ont été significativement plus importante que la biomasse obtenue sous témoin absolu indépendamment du mode de culture. De plus, les résultats indiquent qu'elle est statistiquement améliorée en présence du burkinaphosphate. Cela atteste que dans ces sols, le phosphate améliorerait la production de la biomasse. L'implication du phosphate dans l'amélioration de la production de la biomasse est une conséquence de son action sur l'amélioration de la nutrition des plantes à travers la stimulation d'un bon développement racinaire. Plusieurs auteurs ont évoqué cet effet bénéfique sur la nutrition des plantes via le développement conséquent des racines et la fixation symbiotique de l'azote chez les

légumineuses (Sadowsky, 2005 ; Jemo et al., 2006, Gnankambary et al., 2008). L'application de doses croissantes de phosphore entraîne une augmentation de la production de biomasse nodulaire et par conséquent la fixation symbiotique chez le niébé (Jemo et al., 2006). L'étude a effectivement permis de constater que le rendement de la culture est lié aux pratiques culturales. Il apparaît que la production de biomasse s'accroît lorsque l'apport de la matière organique se fait en présence du burkinaphosphate en culture pure. Tout comme la croissance des plants, l'amélioration de la biomasse produite est réduite lorsque le sorgho est associé au niébé dans le même poquet. Cette réduction pourrait se justifier par la mauvaise croissance observée en culture associée et la compétition entre les plantes pour les nutriments, l'eau et la lumière. En culture pure, l'importance de la production de biomasse serait donc la conséquence de l'apport en phosphore qui a induit un bon développement racinaire, un facteur indispensable, permettant l'augmentation des rendements. Maré (2009) a fait les mêmes constats en utilisant des petits pots avec les mêmes traitements et a obtenu une production de biomasse bien inférieure aux résultats de cette étude.

Effets des traitements sur la nodulation du niébé

Le simple fait d'apporter du compost a permis une amélioration significative de la nodulation du niébé comparativement au témoin. Cette amélioration a connu une augmentation significative si l'on combine le compost au burkinaphosphate en monoculture. Il ressort que la nodulation est corrélée avec la biomasse aérienne (54%) et à la biomasse racinaire (69%). Plus le nombre de nodules est élevé en culture pure, plus la biomasse est

importante. Il apparaît donc évident que le traitement CP qui a induit la meilleure nodulation du niébé a entraîné une meilleure croissance et un bon développement des plantes. L'étude a permis effectivement de montrer une forte corrélation entre le nombre de nodules et les biomasses aérienne et racinaires. Ce résultat serait dû à l'effet positif du phosphate sur la formation des nodules. Lorsque les teneurs en azote du sol sont faibles, le niébé fait recours à l'azote de l'air pour compenser ses besoins. Les résultats vont dans le même sens que ceux de Zahran (1999) qui affirme que les fortes teneurs d'azote du sol réduisent la nodulation et la fixation d'azote. Malgré l'apport du phosphate, le fumier n'a pas entraîné une meilleure nodulation du niébé du fait de sa teneur en azote supérieure à celle du compost. De plus, la croissance des nodules nécessite un besoin élevé en phosphore (Jemo et al., 2006) et conformément aux conclusions de ces derniers, l'absence de cet élément dans nos amendements organiques témoigne de leur faible effet sur la nodulation. C'est pourquoi les légumineuses ont des besoins plus importants en phosphore comparativement aux autres plantes (Sadowsky, 2005). Son application entraîne une augmentation de la production de biomasse nodulaire et par conséquent la fixation symbiotique chez le niébé (Jemo et al., 2006). En réponse aux faibles teneurs en phosphore du sol, les légumineuses accroissent la densité et la surface d'absorption des racines ainsi que les sécrétions d'acides citriques (Vance, 2001) dans la rhizosphère pour augmenter la solubilisation des formes peu disponibles de phosphate du sol. En effet, Chemining'wa et al. (2007) avaient montré au Kenya qu'avec une teneur initiale des sols de 20% de N, l'apport de 26 kg de N.ha⁻¹ a été reconnu comme la limite de N "starter" n'impactant

plus la nodulation du niébé. Au regard des teneurs initiales en azote des sols du site de prélèvement, cette limite est loin d'être atteinte. Ainsi, quand la teneur minimale en azote est atteinte, le processus de la nodulation se déclenche mais son importance sera fonction de la teneur en azote de la matière organique. Alors, une bonne croissance racinaire entraîne une bonne nodulation permettant de ce fait une meilleure nutrition du niébé traduite par une grande production des fanes. Ce résultat est beaucoup plus pertinent lorsque le niébé est conduit en monoculture. Cette performance à noduler est plus importante en monoculture qu'en association où la compétition pour l'assimilation de l'azote pourrait s'accroître entre le niébé et le sorgho. La nodulation observée au cours de cette étude reste faible par rapport aux résultats de Zongo (2013) dont l'étude a été menée en milieu paysan dans la même localité que le site où le sol a été prélevé. Par contre, les valeurs obtenues dans nos résultats sont supérieures à celles obtenues par Maré (2009) en milieu contrôlé. Ces travaux sus-cités montrent que le niébé nodule plus si le fumier combiné au phosphate et/ou l'urée est apporté dans les poquets de semis.

Effets des traitements sur le bilan partiel de l'azote

Le bilan partiel d'azote est positif et s'améliore plus en combinant le burkinaphosphate au fumier plutôt qu'au compost. Ouandaogo et al. (2016) ont observé, à cet effet, une augmentation significative de la teneur en azote du sol avec un traitement combinant le fumier à la fumure minérale dans un système de rotation sorgho-niébé en essai de longue durée à la station de Saria (Burkina Faso). Cette amélioration du statut de l'azote du sol observée dans le

traitement FP pourrait s'expliquer par le fait que la quantité d'azote fixé ne dépendrait pas du nombre de nodules formés mais plutôt du nombre de nodules fonctionnels, de l'espèce de rhizobium en présence, de la qualité de l'activité de la nitrogénase et de la disponibilité en phosphore. Le compost utilisé ayant un ratio C/N de 13,6 et celui du fumier de 11, ce compost pourrait connaître une minéralisation rapide dont une grande partie de l'azote libéré serait perdue par lixiviation ou prélevée par la plante pour sa nutrition. Il est montré que le déficit en éléments minéraux majeurs observé dans la zone de savane est lié essentiellement à l'absence de compensation de ces exportations minérales par les cultures, notamment dans le cas de non restitution des pailles des céréales sous forme de fumier ou de compost. En effet, Semporé (2008) a observé des bilans minéraux (azote, phosphore) apparents prévisionnels négatifs sur les parcelles sans parage d'animaux contrairement à ceux observés sur les parcelles soumises au parage d'animaux. De nombreux auteurs (Cheema et Ahmad, 2000 ; Salvagiotti et al., 2008) ont constaté une réduction de la fixation symbiotique d'azote en fonction des doses d'azote apportées, surtout par l'engrais minéral. Si ce bilan a été positif en présence du burkinaphosphate en particulier combiné avec le fumier, cela confirme les conclusions des certains auteurs qui ont montré que la faible disponibilité en phosphore du sol est problématique à la croissance et à l'activité de la nitrogénase des légumineuses (Qiao et al., 2007) du fait que les nodules ont des besoins élevés en phosphore et que leur croissance est souvent limitée par cet élément (Jemo et al., 2006). D'autres auteurs soutiennent que cette capacité à fixer l'azote de l'air est fonction de la variété du niébé, des conditions de fertilisation du champ et des conditions

climatiques (Nyemba et Dakora, 2010). De plus, elle est directement dépendante des rendements du champ, qui eux sont surtout dépendants de la fertilité du sol en phosphore et en azote (Traoré, 2012). Ces résultats sont similaires à ceux de Traoré (2012) qui a indiqué que le bilan d'azote est négatif dans le témoin et les traitements à dose totale de 56 kg.ha⁻¹ d'azote organique et minéral. Selon cet auteur, le bilan négatif du traitement apportant 56 kg.ha⁻¹ d'azote est dû à la forte teneur en azote du sol (40 t.ha⁻¹) apporté l'année précédente.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les paramètres de rendement du niébé et du sorgho s'améliorent nettement lorsque le sol est amendé avec le compost combiné au burkinaphosphate. Ces performances sont encore plus importantes quand ces cultures sont conduites en culture pure. La densité élevée des plants dans les pots en culture associée de niébé et de sorgho entraîne une réduction de la croissance, de la production en biomasse des plants et une limitation de la nodulation du niébé en raison de la compétition pour la lumière, les nutriments et l'eau. L'étude a aussi montré que le bilan partiel de l'azote du sol n'est pas lié au nombre de nodules formés mais plutôt à la quantité de l'azote fixé. Ce statut de l'azote du sol semble également dépendant de la teneur en azote du substrat. Sur les sols très dégradés (*zipellé*), en culture associée légumineuse-céréale, il est primordial de tenir compte de la densité des plants dans les poquets ou de privilégier la culture intercalaire. La qualité des fertilisants apportés devrait en outre être prise en compte.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y pas de conflit d'intérêt entre eux.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

EH a assuré la direction scientifique de ce travail de bout en bout ; Le travail de correction du manuscrit a été assuré par lui.

S a participé à la correction du Mémoire de Master et du présent manuscrit soumis à votre Journal pour publication. JJD a soutenu financièrement les travaux. Il a participé en outre à la correction du présent manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Projet FABATROPIMED de la Fondation Agropolis International (France) pour le soutien financier qui a permis la réalisation de ces travaux. Ils remercient également l'UMR 210 Eco & Sols (Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des sols & des Agro-écosystèmes) de l'IRD pour leur soutien matériel et financier. Ils témoignent enfin leur gratitude à Moussa BARRY, Prosper SAWADAGO, techniciens au Laboratoire d'agro-écologie, sur le centre IRD de Ouagadougou.

REFERENCES

Bado BV, Bationo A, Cescas MP. 2006. Assessment of cowpea and groundnut contributions to soil fertility and succeeding sorghum yields in the Guinean savannah zone of Burkina Faso (West Africa). *Biol. Fertil. Soils*, **43**: 171-176.

Bazzoffi P, Pellegrini S, Rocchini A, Morandini M, Grasselli O. 1998. The effect of urban refuse compost and different tractors types on soil physical properties, soil erosion and maize yield. *Soil Tillage Res.*, **48**: 275-286.

Belane AK, Asiwe J, Dakora FD. 2011. Assessment of N₂ fixation in 32 cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes grown in the field at Taung in South Africa, using ¹⁵N natural abundance. *African Journal of Biotechnology*, **10**(55): 11450-11458.

Cheema ZA, Ahmad A. 2000. Effects of urea on the nitrogen fixing capacity and growth of grain legumes. *Int. J. Agri. Biol.*, **2**(4): 388-394.

Chemining'wa GN, Muthomi JW, Theuri SW M. 2007. Effect of rhizobia inoculation and Starter-N on Nodulation, Shoot Biomass and Yield and Grain Legumes. *Asian Journal of Plant Sciences*, **6**(7): 1113-1118.

Danso SKA. 1995. Assessment of biological nitrogen fixation. *Fertilizer Research*, **42**: 33-41.

Gnankambary Z, Ilstedt U, Nyberg G, Hien V, Malmer A. 2008. Nitrogen and phosphorus limitation of soil respiration in two tropical agroforestry park lands in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: the effects of tree canopy and fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, **40**(2): 350-359.

Hall AE, Cisse N, Thiaw S, Elowad HOA, Ehlers JD. 2003. Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. *Field Crops Res.*, **82**: 103-134.

Jemo M, Abaaidoo RC, Nolte C, Tchienkoua M, Sanginga N, Horst WJ. 2006. Phosphorus benefits from grain-legume crops to subsequent maize grown on acid soils of southern Cameroon. *Plant Soil*, **284**: 385-397.

Kiba DI. 2012. Diversité des modes de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la qualité des sols et la production des cultures en zones urbaine,

- péri-urbaine et rurale au Burkina Faso. Thèse de doctorat unique de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. 153p.
- Laberge G, Haussmann RIG, Ambus P, Hogh-Jensen H. 2011. Cowpea N rhizodeposition and its below-ground transfer to a co-existing and to a subsequent millet crop on a sandy soil of the Soudano-Sahelian eco-zone. *Plant and Soil*, **340**: 369-382.
- Maré BT. 2009. Impact de l'utilisation du niébé et de divers amendements sous zaï sur les caractéristiques des sols dégradés : Conséquences pédo-socio-économiques. Mémoire de fin de cycle de l'Institut du Développement Rural, IDR/UPB, 61p.
- Naab JR, Chimphango SMB, Dakora FD. 2009. N₂ fixation in cowpea plants grown in farmers' fields in the Upper West Region of Ghana, measured using ¹⁵N natural abundance. *Symbiosis*, **48**: 37-46.
- Nyemba RC, Dakora FD. 2010. Evaluating N₂ fixation by food grain legumes in farmers' fields in three agro-ecological zones of Zambia, using natural abundance. *Biol. Fertil. Soils*, **46**: 461-470.
- Sadowsky MJ. 2005. Soil stress factors influencing symbiotic nitrogen fixation. In *Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology and the Environment*, Werner D, Newton WE (eds). Netherlands; 89-112.
- Ouandaogo N, Ouattara B, Pouya BM, Gnankamary Z, Nacro BH, Sedogo PM. 2016. Effets des fumures organo-minérales et des rotations culturales sur la qualité des sols. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(2): 904-918.
- Salvagiotti F, Cassman KG, Specht JE, Walters DT, Weiss A, Dobermann A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans. *A Review Field Crops Research*, **108**: 1-13.
- Segda Z, Yameogo PL, Mando A, Kazuki S, Wopereis MCS, Sedogo PM. 2014. Le phosphore limite-t-il la production intensive du riz dans la plaine de Bagré au Burkina Faso ? *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(6): 2866-2878.
- Semporé A. W. 2008. Analyse de la production et de l'utilisation de la biomasse de maïs et du coton en zone ouest du Burkina Faso : cas de Koumbia et de Kourouma. Mémoire de fin de cycle, DEA/IDR/UPB, 56p.
- Sermé I, Ouattara K, Logah V, Taonda JB, Pale S, Quansah C. 2015. Impact of tillage and fertility management options on selected soil physical properties and sorghum yield. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(3): 1154-1170.
- Timko MP, Singh BB. 2008. Cowpea, a multifunctional legume. In *Genomics of Tropical Crop Plants*, Moore PH, Mings R (eds); Springer; 227-258.
- Traoré A, Traoré K, Bado BV, Traoré O, Nacro BH, Sedogo PM. 2015. Effet des précédents culturaux et de différents niveaux d'azote sur la productivité du riz pluvial strict sur sols ferrugineux tropicaux de la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(6): 2847-2858.
- Traoré OYA. 2012. Etude de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) avec la méthode de l'abondance naturelle en ¹⁵N sous diverses pratiques culturales dans le Centre-Ouest du Burkina Faso. Mémoire DEA/IDR.
- Traoré K, Toé AM. 2008. Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso. DVRD/DPV/MAHRH, 99p.
- Vance CP. 2001. Symbiotic Nitrogen Fixation and Phosphorus Acquisition. *Plant*

- Nutrition in a World of Declining Renewable Resources. *Plant Physiology*, **127**: 390-397.
- Vesterager JM, Nielsen NE, Hogh-Jensen H. 2008. Effects of cropping history and phosphorus source on yield and nitrogen fixation in sole and intercropped cowpea-maize systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **80**: 61-73.
- Yaméogo WM. 2009. Diversité des champignons endomycorhiziens et des bactéries fixatrices d'azotes associés au niébé (*Vigna unguiculata* (L) WALP) dans différentes zones climatiques du Burkina Faso. Diplôme de fin de cycle, DEA, IDR/UPB, 54 p.
- Zongo KF. 2013. Associations légumineuses-céréales dans les agrosystèmes soudano-sahéliennes du Burkina Faso : Perceptions et pratiques paysannes, effets du zaï et des amendements organiques et organo-minéraux sur les rendements des cultures associées niébé-sorgho. Mémoire de fin de cycle, DEA, systèmes de productions végétales. Science du sol, IDR/UPB, 55p.
- Zahran HH. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, **63**(4): 968-989.