

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

De fin d'études

En vue l'obtention du diplôme master en sciences Agronomiques

Spécialité : sciences du sol

Thème

Etude de quelques paramètres de la symbiose rhizobienne chez le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivé dans deux sols contrastés: intensif et biologique

Présenté par : M^{elle} LOUNASSI Sabrina

Devant le jury :

Promotrice : M^{me} ALKAMA N.

Maître de conférence, chargée de cours à l'UMMTO.

Co-promotrice : M^{me} TOUATI Z.

Doctorante à l'UMMTO.

Présidente : M^{me} OMOURI O.

Maître assistante, chargée de cours à l'UMMTO.

Examineur :

M^{me} OMARI O.

Maître assistante, chargée de cours à l'UMMTO.

M^{me} ISSAOUN D.

Doctorante à l'UMMTO.

Promotion 2017/2018

Remerciements

Nous tenons à remercier notre promotrice, M^{me} ALKAMA N, Maître de conférence, chargée de cours à l'UMMTO, d'avoir proposé ce thème et d'avoir dirigé notre travail, pour son grand soutien scientifique et moral, pour les conseils, les suggestions et les encouragements qu'elle nous a apportés durant notre travail.

Nous remercions M^{me} TOUATI. Z, Doctorante à l'UMMTO, pour son aide et sa participation dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions M^{me} OMOURI O, Maître assistante chargée de cours au département d'agronomie de L'UMMTO. D'avoir accepté d'évaluer et d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions M^{me} OMARI O, maître assistant chargé de cours au département d'agronomie de l'UMMTO. D'avoir accepté d'évaluer et d'examiner ce travail.

Nous remercions M^{me} ISSAOUN.D, Doctorante à l'UMMTO, pour son aide et sa participation dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions également les ingénieurs du laboratoire de la faculté Biologie/Agronomie de l'UMMTO et particulière M^{me} TIBICHE, pour leurs aides précieuses lors de la réalisation ce travail.

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à mes très chers parents qui sont ma source d'amour, de volanté et de courage, et m'ont permis d'être ce qui je suis actuellement. Merci pour leur soutien et affection inconditionnels, tous les sacrifices et que dieu vous garde.

Mes très chers frères : Nacer, Abdenour, Mourad, Hacène, Abderrahmane.

Ma chère sœur : Sonia

Tous mes amis (es), en particulier : Lynda, Hayat, Amina, Ouiza, Katia, Sara, Nesrine, Malika.

Aux étudiants de la promotion 2017/2018 et spécialement ceux de la spécialité science du sol.

Toutes les personnes qui participé, de loin ou de près à l'accomplissement de ce travail.

Sabrina

Liste des abréviations

A	: Argile
APG	: Angiosperme phylogeny group
BNL	: Bactéries Nodulant Les légumineuses
CE	: Conductivité électrique
EUSR	: Efficacité d'Utilisation de la Symbiose Rhizobienne
FAO	: Food Agricultural Organisation
g	: Gramme
L	: Limon
M.O	: Matière organique
MSa	: Matière sèche aérienne
MSr	: Matière sèche racinaire
MSn	: Matière sèche nodulaire
mS	: milli siemence
Nbr n	: Nombre des nodules
PF	: Poids frais
N₂	: L'azote atmosphérique
NH₃	: Ammoniaque
pH	: Potentiel d'hydrogène
S	: Sable
T	: Témoins
MFa	: Matière frais aérienne
MFR	: Matière frais Racinaire
MFN	: Matière frais nodulaire

Liste des figures

Figure 01: Arbre phylogénétique de l'ADNr 16S α , β et protéobactéries. Les genres en gras contiennent les rhizobiums nodulant les légumineuses	8
Figure 2: Schéma simplifié d'une symbiose rhizobia-légumineuses.....	10
Figure 3 : Différentes étapes de l'établissement de la symbiose rhizobia-légumineuse	11
Figure 4 : Site de prélèvement des échantillons de sol dans la wilaya Tizi-Ouzou	13
Figure 5 : Les trois variétés de l'haricot vert (<i>phaseolus vulgaris L.</i>)	14
Figure 6 ; début de germination des grains d'haricot.....	16
Figure 7 : développement des plants d'haricot vert.....	16
Figure 8 : variété de haricot au premier stade de floraison.....	17
Figure 9 : Les racines nodulées du haricot vert.....	17
Figure 10 : Effet de sol sur la matière sèche aérienne.....	20
Figure 11 : Effet de sol sur la matière sèche racinaire	22
Figure 12 : Effet du sol sur la matière sèche nodulaire	24
Figure 13 : Effet du sol sur le nombre de nodule.....	26
Figure 14 : Relations entre les matières sèches aériennes (MSa) et matières sèches nodulaires (MSn) des trois variétés sous les sols E9.....	28
Figure 15 : La matière fraîche aérienne (MFa) d'échantillon	
Figure 16 : La matière fraîche aérienne (MFa) d'échantillon	
Figure 17 : La matière fraîche racinaire (MFR) d'échantillon	
Figure 18 : La matière fraîche racinaire (MFR) d'échantillon	
Figure 19 : La matière fraîche nodulaire (MFN) d'échantillon	
Figure 20 : La matière fraîche nodulaire (MFN) d'échantillon	

Liste des tableaux

Tableau 1 : principaux pays producteurs du haricot sec en 2006 (FAO.STAT)	5
Tableau 2 : production mondiale de quelques légumineuses en %.	5
Tableau 3 : valeur nutritive du haricot vert et du niébé en g/100g de graine entière	6
Tableau 4 : valeurs nutritives des différentes formes de consommation du haricot pour 100 g	6
Tableau 5 : arbre phylogénétique simplifié des protéobactéries montrant la position systématique des 14 genres renfermant les BNL connues à ce jour....	9
Tableau 6 : Composition granulométrique de deux sols.	18
Tableau 7 : Composition de certaines analyses chimiques des sols étudiés E8 et E9.....	19
Tableau 8 : Résultats de l'analyse de la variance pour la matière sèche aérienne.....	20
Tableau 9 : Test de Newman et Keuls pour la matière sèche aérienne (MSa) sous l'effet variétal	21
Tableau 10 : Test de Newman et Keuls pour la matière sèche aérienne (MSa) sous effet de sol.....	21
Tableau 11 : Résultats de l'analyse de la variance pour la matière sèche Racinaire.....	22
Tableau 12 : Test de Newman et Keuls pour la matière sèche racinaire (MSr) sous l'effet variétal.	23
Tableau 13 : Résultats de l'analyse de la variance pour la matière sèche nodulaire	24
Tableau 14 : Test de Newman et keuls pour la matière sèche nodulaire (MSn) sous effet de sol.....	25
Tableau 15 : Test de Newman et Keuls pour la matière sèche nodulaire (MSn) sous l'effet variétal	25
Tableau 16 : Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de nodules	27
Tableau 17 : Test de Newman et Keuls pour le nombre du nodule (Nbr n) sous l'effet variétal	27
Tableau 18 : Normes d'interprétation du pH. Memento de l'agronome.	
Tableau 19 : normes d'interprétation de la conductivité électrique à 25°C. Memento de l'agronome.	
Tableau 20 : Norme d'appréciation du calcaire total du sol. Memento de l'agronome.	
Tableau 21 : Normes d'interprétation de la teneur en matière organique. Memento du sol.	

Sommaire

Introduction	2
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
1-Le Haricot	3
1-1- Généralités sur le haricot	3
1-2-Classification	4
1-3- Importance de l'haricot.....	4
1.3.1. Importance économique	4
1.3.2. Importance nutritionnelle	5
2-Les Bactéries Nodulant les Légumineuses (BNL).....	7
2-1-Généralités sur les BNL.....	7
2-2-Diversité des BNL.....	7
2-2- La symbiose rhizobium-légumineuse	9
2-2-1- Les étapes de la nodulation	10
2-3- Intérêt agronomique de la symbiose rhizobia-légumineuses	11
Chapitre II : Matériels et méthodes	
1- Matériel d'étude	13
1-1-le sol.....	13
1-2- Matériel végétal	13
2- Méthodes analytiques.....	14
2-1 -Analyses physiques et chimiques des sols.....	14
2-2- Mise en place de l'essai	15
2-3- mise en culture des graines	16
2-4-Mesures biométriques.....	17
2-5- Analyses et traitements statistiques	17

Chapitre III : Résultats et discussions

1-Caractéristiques physiques et chimiques du sol.....	18
1-1-Analyse granulométrique.....	18
1-2-Analyses chimiques	18
2-Résultats biométriques	19
2-1-Matière sèche aérienne.....	19
2-2-Matière sèche racinaire	22
2-3-Matière sèche nodulaire	23
2-4-Nombre des nodules.....	26
2-5-Recherche de corrélation entre les matières sèches aériennes et nodulaires.....	28
Conclusion	30

Le haricot commun (*Phaseolus Vulgaris* L) est comme la majorité des autres légumineuses, capable de former avec des bactéries du groupe des rhizobia, une symbiose fixatrice d'azote. Cette symbiose se traduit par la formation d'un organe spécialisé au niveau des racines de la plante : le nodule ou nodosité.

Dans le nodule, les rhizobia réduisent l'azote moléculaire (N_2) en ammoniac (NH_3) directement intégré dans le flux métabolique de la plante assurant ainsi, en partie tout au moins, la couverture de ses besoins en azote. En retour, la plante assure aux rhizobia qu'elle héberge, un environnement favorable et la couverture de leurs besoins en énergie et en substrats carbonés par le biais de photo-synthétase dirigés vers les nodules (Voisin et Gastal, 2015 ; Provorov, 2009).

La symbiose avec les rhizobia confère aux légumineuses trois propriétés qui les rendent très intéressantes sur le plan agronomique (Vance, 2001 ; Newton, 2007 ; Stacey, 2007) :

-leur teneur élevée en protéines qui fait qu'elles peuvent constituer un substitut efficace aux d'origine protéine animale (viande, poisson...) beaucoup plus onéreuses.

- leur relative indépendance vis-à-vis de l'azote du sol (NO_3 et NH_3) dont la rareté constitue un facteur limitant à la production végétale. Indépendance qui fait qu'elles peuvent être produites avec des résultats satisfaisants apports d'engrais azotés qui sont hors de portée de la majorité des agriculteurs à faibles ressources.

- leur propriété d'enrichir le sol en azote par le phénomène d'exsudation racinaires et par le biais de la décomposition des racines et / ou des chaumes après la récolte.

Cependant, ces avantages des légumineuses ne sont valables que si leur nodulation est assurée par les rhizobia et que le couple symbiotique résultant est efficient c'est-à-dire capable de fixer l'azote atmosphérique.

De nombreux facteurs biotiques et abiotiques peuvent empêcher ou réduire la fixation d'azote par les légumineuses et annule les avantages de leur culture (Stacey, 2007 ; Vertes et al., 2010).

Dans le cadre des travaux préliminaires réalisés dans le cadre du projet Euro-méditerranéen AQUARHIZ qui vise au développement d'inoculants rhizobiens pour l'amélioration de la productivité de la culture du pois-chiche, du haricot et de la fève, il nous a été proposé de réaliser une étude comparative de quelques paramètres symbiotiques (cas des rhizobia) de trois variétés de haricot sur deux sols contrastés (sol issu d'une culture biologique et l'autre de cultures intensives).

L'hypothèse de départ est qu'il existerait un lien étroit entre le sol et les paramètres symbiotiques et que la nodulation serait moins prononcée pour les trois variétés dans le sol issu de culture intensive.

Pour se faire nous avons partagé notre travail en 3 grands chapitres :

- Le premier est consacré à une synthèse bibliographique.
- le second résume les différents matériels et méthodes utilisés.
- Le dernier chapitre est consacré à l'interprétation et la discussion des résultats, suivi d'une conclusion générale.

1-Le Haricot

1-1-Généralités sur le haricot

Le haricot commun communément connu sous le nom scientifique de *Phaseolus vulgaris*, est originaire d'Amérique Centrale et du Sud ; Le haricot était déjà cultivé par les habitants du Mexique et du Pérou, il conquiert progressivement toute l'Amérique du Sud (Lamboley, 2001). Le haricot commun a été diffusé dès le XVIème siècle vers d'autres régions, après la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, principalement les Etats-Unis, l'Europe et l'Afrique tropicale, secondairement vers l'Afrique du Nord et L'Asie (Baudouin et al., 2001).

Le haricot commun est une espèce de la famille des *fabaceae* (*papilionacées*) couramment cultivée comme légume (Chaux et Foury, 1994).

D'après (Gallais et Benfort, 1992), c'est une plante herbacée annuelle, grimpante, rampante ou plus ou moins érigée et buissonnante. Cette plante présente un cycle végétatif court, végétation rapide, qui diffère selon l'espèce (Pesson et Louveau, 1984). Les mêmes auteurs ajoutent que, le haricot est riche en protéine grâce à sa capacité de fixer l'azote de l'air par des bactéries fixatrices d'azote (Rhizobia). Elle est utilisée comme source pour alimentation humaine.

Il est nécessaire de citer que le haricot est d'une gamme variétale très considérable. Actuellement, il existe 200 espèces de forme, de couleur, de saveur et de composition biochimique différente à travers le monde, mais les plus utilisées sont : le *Phaseolus coccineus* (haricot d'Espagne), le *Phaseolus lutanus* (haricot de lima), le *Phaseolus acutifolius* (teparybean), et enfin le *Phaseolus vulgaris* qui est le haricot commun (Blair, 2009)

1-2-Classification

Selon l'APG (2003) on attribue à l'haricot la classification suivante :

Classification classique

Règne : *Plantae*.

Sous-règne : *Tracheobionta*.

Division : *Magnoliophyta*.

Classe : *Magnoliopsida*.

Sous -classe : *Rosidae*.

Ordre : *Fabale*.

Famille : *Fabaceae*.

Genre : *Phaseolus*.

Espèce : *Phaseolus vulgaris*.

Classification phylogénétique

Clade : *Angiospermes*.

Clade : *Dicotylédones vraies*.

Clade : *Rosidées*.

Clade : *Fabidées*.

Ordre : *Fabale*.

Famille : *Fabaceae*.

Genre : *Phaseolus*.

Espèce : *Phaseolus vulgaris*.

1-3- Importance du haricot

1.3.1. Importance économique

La production de *P.vulgaris* constitue 95% de la production mondiale du haricot. Moins de 5% de la production totale provient de trois autres espèces de *Phaseolus*. 30% de la production totale provient de l'Amérique tropicale. Le Brésil est le principal producteur (Caburet et Hekimian, 2003).

D'après (Baudouin et al., 2001), la production mondiale en graine sèche est estimée à 14 millions de tonnes par an pour une superficie de 24 millions ha. L'Amérique latine fournit 30% ou 4 millions tonnes par an de cette production et la consommation par tête dans ce continent est de 13,3 kg par an ou 25 g par jour

Haricots 2006	secs Surface (milliers d'hectares)	cultivée Rendement (q/ha)	Production (milliers de tonnes)
<u>Brésil</u>	4016,8	8,6	3 436,5
<u>Inde</u>	8600,0	3,7	3 174,0
Chine	1204,0	16,7	2 006,5
<u>Myanmar</u>	1720,0	9,9	1 700,0
<u>Mexique</u>	1708,3	8,1	1 374,5
<u>États-Unis</u>	614,7	17,2	1 056,9
<u>Kenya</u>	995,4	5,3	531,8
Ouganda	849,0	4,9	424,0
<u>Canada</u>	180,0	20,7	372,7
<u>Indonésie</u>	313,2	10,5	327,4
<u>Argentine</u>	235,1	13,7	322,8
Tanzanie	380,0	7,6	290,0
Rwanda	356,4	7,9	283,4
<u>Corée du Sud</u>	360,0	7,8	280,0
<u>Burundi</u>	240	9,2	220,0
<u>Iran</u>	111,3	19,4	216,1
<u>Cameroun</u>	230,0	8,7	200,0
<u>Nicaragua</u>	243,0	8,1	197,1

Tableau 1 : Principaux pays producteurs de haricot secs en 2006(FAO.STAT).

Dans la famille des légumineuses à grains, le haricot occupe la dernière position de la production mondiale comme peut le montrer le tableau 02.

Tableau 2 : Production mondiale de quelques légumineuses en %.

légumineuse	Fève	Pois chiche	Lentille	Pois	Haricot
Production total	47,8	43,2	6,1	1,6	1,3

Source : ONS/OAIS, 2000.

1.3.2. Importance nutritionnelle

La culture du haricot présente deux intérêts (i) les gousses sont consommés à l'état frais ; (ii) les graines à l'état sec, alors que les résidus de cultures (tige, gousse) sont destinés à l'alimentation des animaux.

Les graines du haricot constituent un complément nutritionnel aux graines de céréales.

De part leur composition, les protéines des graines du haricot sont très proches de celles de la viande de mouton (Quinn, 1999). En plus de leurs hautes qualités gustatives, les gousses et les graines du haricot sont considérées comme une

excellente source d'acides aminés, de vitamines et une bonne source d'éléments minéraux (Kentour, 1999) (Tableau 3)

Tableau 3 : Valeur nutritive du haricot vert et du niébé en (g/100g) de graine entière.

Nom botanique	Calorie (kcal)	Hydrates de carbone	Eau (g)	protéines	Matières grasses	Fibres	Glucides
<i>Vigna unguiculata (L) wip</i>	342	60,3	11	23,4	1,8	4,3	60-65
<i>Phaseolus vulgaris L</i>	341	61,4	11	22,1	1,7	4,2	60-65

Source : (Stantan, 1970).

Les haricots secs sont, pour la plupart, une excellente source de potassium et d'acide folique. Ils sont une bonne source de magnésium et de fer et contiennent, en outre, du cuivre, du phosphore, du zinc, de la thiamine, de la niacine et de la vitamine B6 (Encyclopédie des aliments, 1997). Le haricot frais est dit diurétique, dépuratif, tonique et anti-infectieux.

Le tableau 04 montre les valeurs nutritives des formes de consommation des différentes variétés du haricot :

Tableau 4: Valeurs nutritives des différentes formes de consommation du haricot pour 100g

	Haricot frais cru	Haricot rouge	Haricot blanc sec bouilli
Eau	90,3%	89,2%	63,0%
Protéines	1,8 g	1,9 g	9,7 g
Matières grasses	0,1 g	0,3 g	0,3 g
Glucides	7,1 g	7,9 g	25,0 g
Fibres	1,8 g	2,4 g	6,3 g
Calories	31	127	139
Pour 100 g			

Source : Lomboley, 2001.

2-Les Bactéries Nodulant les Légumineuses (BNL)

2-1-Généralités sur les BNL

Les bactéries nodulant les légumineuses ou BNL est un nom commun qui est aujourd'hui attribué aux bactéries du sol qui présentent comme seule caractéristique spécifiques, la capacité de former une symbiose fixatrice d'azote avec les plantes de la famille des légumineuses. Elles font partie du groupement fonctionnel très diversifié des bactéries fixatrices d'azote ou diazotrophes et capable de réduire l'azote moléculaire grâce à un complexe enzymatique la nitrogénase. Elle se distingue, cependant des autres bactéries diazotrophes par leur capacité de former une endosymbiose fixatrice d'azote avec deux groupes de plantes supérieures, les plantes actinorhiziennes et les légumineuses.

Cette symbiose qui fait suite à la pénétration des BNL dans les cellules racinaires de la plante, se traduit par la formation d'un organe spécifique ; le nodule ou nodosité. Les BNL sont un groupement bactérien fonctionnel très diversifié (Figure 1) qui reste cependant cantonné au domaine des Eubactéries et au sel phylum des Protéobactéria (Trinick, 1979).

L'avènement des techniques moléculaires et l'extension des travaux à des légumineuses et à des régions géographiques, jusqu'à ici inexplorées, ont permis de découvrir de nouveaux genres et de nouvelles espèces de BNL, repoussant ainsi largement les frontières taxonomiques, phylogénétiques et même fonctionnelles de ce groupe de bactéries (Rivas et al., 2009).

2-2-Diversité des BNL

Les espèces de rhizobia connues à ce jour et répertoriées, sur les bases de données de séquences de l'ADN ribosomique 16S (ADNr 16S) se répartissent dans trois classes de bactéries (α , β , γ Protéobactéries), quatre ordres (Rhizobiales, Burkholderiales, Rhodocyclales et pseudomonadales) et 10 familles réparties comme suit ;

✓ Les α proteobacteria,

- **Ordre des rhizobiales** : Rhizobiaceae, Bradyrhizobiaceae, Phyllobacteriaceae, Xanthobacteraceae, Methylobactriaceae, Brucellaceae et Hyphomicrobiaceae

✓ Les β Proteobacteria,

- **Ordre des burkholderiales** : Burkholderiaceae et Oxalobacteraceae

- **Ordre des Rhodocyclales** : Rhodocyclaceae

✓ Les γ Proteobacteria,

- **Ordre : Pseudomonadales** : Pseudomonaceae

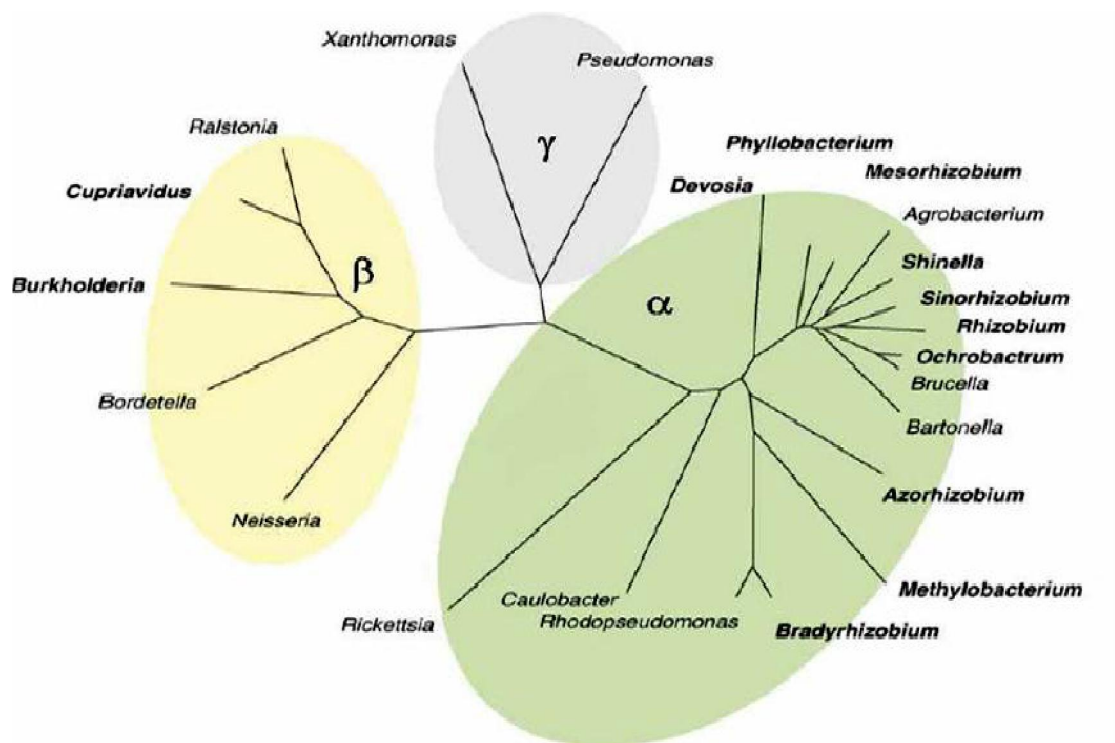


Figure 01: Arbre phylogénétique de l'ADNr 16S α , β et protéobactéries. Les genres en gras contiennent les rhizobium nodulant les légumineuses (Masson-Boivin *et al.*, 2009).

Tableau 05 : arbre phylogénétique simplifié des protéobactéries montrant la position systématique des 14 genres renfermant les BNL connues à ce jour.

Classe	Ordre	Famille	Genres
Alpha protéobactéries	Rhizobiales	Rhizobiaceae Bradyrhizobiaceae Phyllobacteriaceae Xanthobacteriaceae Methylobacteriaceae Brucellaceae Hyphomicrobiaceae	Rhizobium, Ensifer, Sinorhizobium, Bradyrhizobium, Phyllobacterium, Mesorhizobium, Azorhizobium, Methylobacterium, Ochrobactrun, Devosia
Béta protéobactéries	Burkholderiales Rhodocyclales	Burkholderiaceae Rhodocyclaceae	Burkholderia, Cupriavidus Shinella
Gamma protéobactéries	Pseudomonadales	Pseudomonadaceae	Pseudomonas

2-2-La symbiose rhizobia-légumineuse

L'azote est l'élément nutritif dont les plantes ont besoin en grande quantité. Les plantes acquièrent l'azote par l'assimilation de l'azote minéral et pour certaines d'entre elles en mobilisant l'azote atmosphérique par le biais de leur association avec des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote. Les plantes capables d'utiliser l'azote atmosphérique sont des *Fabaceae* qui s'associent à des bactéries classiquement et collectivement dénommées rhizobia. La nutrition azotée des légumineuses est donc assurée par deux voies : la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique et l'absorption de l'azote minéral du sol (Stougaard, 2000). Les légumineuses sont responsables à elles seules de près de 30% de la fixation d'azote annuelle qui comprend la fixation industrielle de N₂ par le procédé de Haber-Bosh, la fixation atmosphérique de N₂ par conversion photochimique et la fixation biologique de N₂ par les procaryotes (Cheng, 2008; Ertl, 2012; Galloway *et al.*, 2003). Le mutualisme entre les Fabacées et le saboutit à la formation d'un organe particulier sur les racines ou les tiges, appelée nodosité. Ces nodosités représentent de véritables organes d'échanges métaboliques entre les bactéries et la plante. A l'intérieur de cet organe, les micro-symbiotes transforment l'azote atmosphérique en ammonium, une forme biologique qu'elles échangent avec la plante contre des photosynthétats (substrats carbonés) (Wang *et al.*, 2012a). (Figure 2).

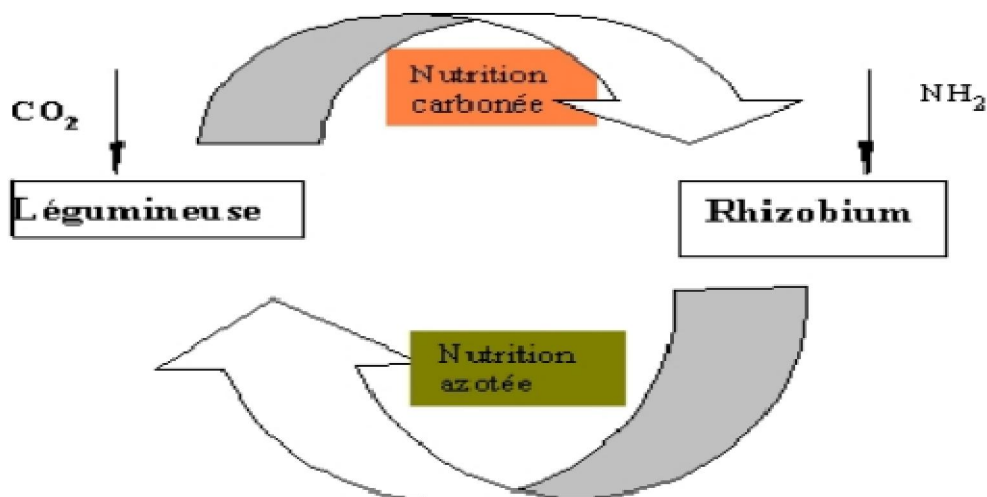


Figure 2: Schéma simplifié d'une symbiose rhizobia-légumineuses.

2-3-Les étapes de la nodulation

On distingue 4 étapes dans le développement de la nodosité.

➤ Infection et initiation des nodosités

Chaque espèce de rhizobia a un spectre de plante hôte plus ou moins restreint. Ainsi les nodosités d'une plante et leur efficacité de fixation de N_2 résultent d'une association de spécificité variable. Par exemple *Rhizobium etli* nodule spécifiquement le haricot alors que *Rhizobium tropici* (Segervia et al., 1993) nodule le haricot.

Le stade initial de l'infection, se fait par échange de signaux moléculaire. La plante émet des flavonoïdes, chémoattracteurs qui induisent l'expression des gènes NOD chez les rhizobia. La présence du facteur NOD provoque des déformations des poils absorbants. Sa structure permettrait la liaison du rhizobia à des récepteurs membranaires glycoprotéique repartis à la pointe des poils absorbant racinaires. (Rezgui et layazid., 2006)

➤ Maturation

Les bactéries subissent des changements morphologique avec une augmentation de la taille : ce sont les bactéroïde est maintenue séparément dans le cytoplasme des cellules de l'hôte (Bergersen, 1974). Parallèlement à cette différenciation, les cellules racinaires augmentent considérablement de taille formant ainsi le tissu central du nodule qui est bien alimenté en sève et contiennent dans leur cytoplasme de la hémoglobine qui donne à la région centrale de la nodosité une coloration brunâtre à rougeâtre (O'Brain et Maier, 1989). L'endoderme et le péricycle forment des couches concentriques empêchant toute dissémination bactérienne dans le

système vasculaire de la plante (Blondeau, 1980). Il s'établit alors une nodosité fonctionnelle capable d'assurer la fixation de l'azote atmosphérique.

➤ Sénescence des nodosités

La sénescence des nodosités peut être rapidement induite par de nombreux stress et aussi une réponse à des signaux systématique des feuilles ou à une régulation hormonale, résultant en une activité protéolytique accrue (Puppo et al, 1991).

(Figure 3)

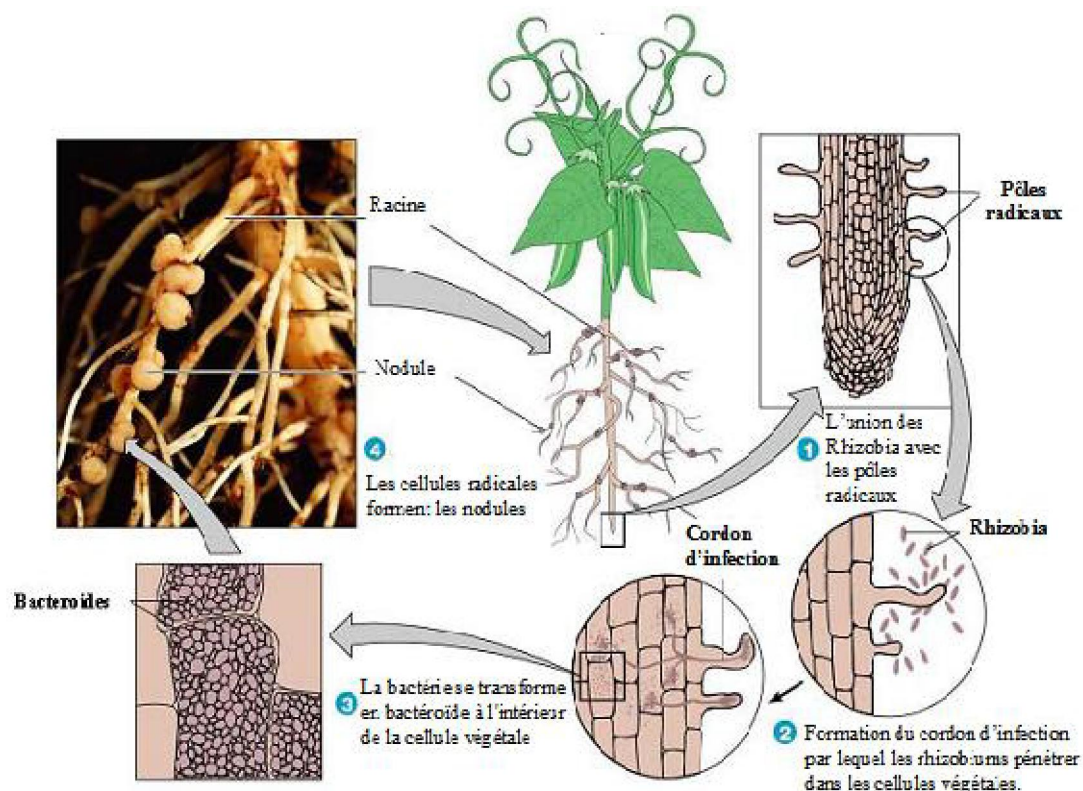


Figure 3 : Différentes étapes de l'établissement de la symbiose rhizobia-légumineuse.

2-4- Intérêt agronomique de la symbiose rhizobia-légumineuses :

Les légumineuses, grâce aux relations symbiotiques qu'elles établissent avec les rhizobia, peuvent améliorer, maintenir ou restaurer le niveau de fertilité des agro-systèmes par le biais de nombreuses pratiques :

- L'utilisation des légumineuses comme élément de rotation dans les agro-

Systèmes. Opération qui consiste à alterner une culture qui réduit le stock d'azote du sol. Par une culture de légumineuses dont le pouvoir fixateur permet au contraire

d'enrichir celui-ci. Cette pratique utilisée empiriquement depuis l'antiquité permet de remplacer avantageusement la jachère.

- L'utilisation des cultures mixtes, c'est –à-dire un mélange entre une non-légumineuse (généralement une céréale) et une légumineuse dont le pouvoir fixateur permet la couverture d'une partie des besoins en azote de la première. La culture mixte la mieux connue est la vesce-Avoine mais il en existe bon nombre d'autres comme la triticales-vesce, la ray gras-vesce... (Dommergues et al., 1985 ; Dénarié et Joly, 1994).

- L'utilisation de légumineuses comme engrais vert c'est-à-dire de cultures dont l'enfouissement permet d'enrichir le sol en azote et en matière organique.

-Le développement pâturages améliorés par des légumineuses fourragères comme le trèfle en Europe et la luzerne aux Etats-Unis (Truchet et al., 1993)

1- Matériel d'étude

1-1-le sol

Nous avons utilisé dans ce travail des échantillons de sol prélevés au niveau de deux biotopes de la wilaya Tizi Ouzou.

La région de Tamda (Sol issu d'une agriculture biologique). Les coordonnées géographiques sont: l'altitude 36°42'19''Nord ; longitude 04°11'30''Est.

La région d'Imsouhel (Sol issu d'une agriculture intensive). Les coordonnées géographiques: l'altitude 36° 34' 09'' Nord ; longitude 04° 23' 16'' Est.

Le sol est échantillonné dans des parcelles homogènes sur une profondeur de 30 cm, avec un échantillonnage en zig-zag. Le sol est séché à l'air libre, broyé et tamisé avec un tamis de 2 mm de diamètre.

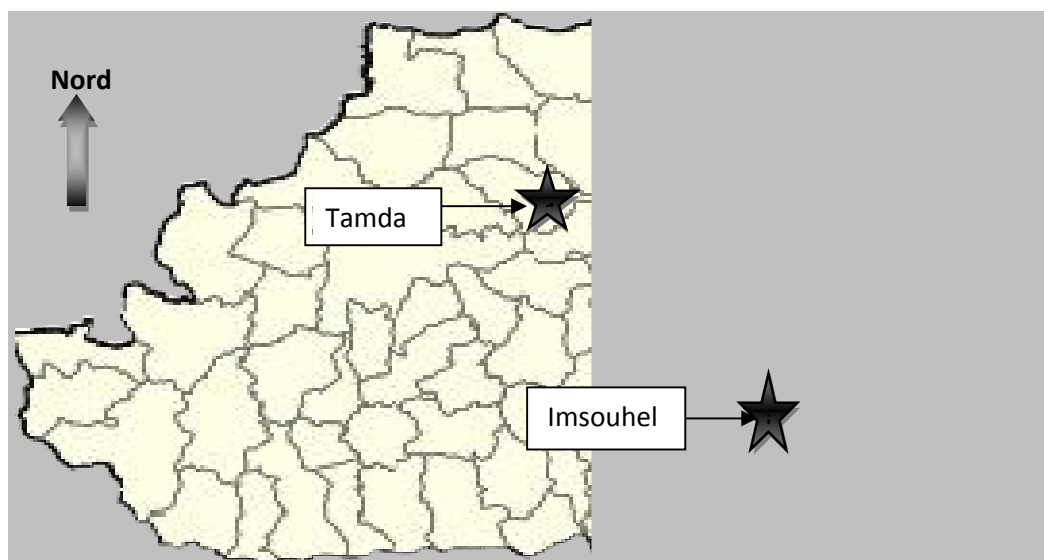


Figure 4 : Site de prélèvement des échantillons de sol dans la wilaya Tizi-Ouzou.

Source : Wikipedia 2018

1-2- Matériel végétal

Trois variétés de haricot (*Phaseolus vulgaris L.*) ont été utilisées lors de notre expérimentation :

- La variété **contender (C)** est une variété rustique, productive, donnant des longues gousses vertes et charnues. Les graines sont de couleur chamois clair.

- La variété **tema (T)** se caractérise par une gousse longue et rectiligne de

couleur verte brillante très uniforme. Les graines sont de couleur marron mouchetée en rose clair.

- La variété **El Djadida (Dj)** génotype local présenterait une bonne nodulation quand les sols sont peu fertiles. Ce qui justifierait le surnom de «4x4» donné par les agriculteurs à cette lignée locale. Elle est capable de croître dans différents sols, notamment contraignants, avec une grande capacité à noduler, permettant de compenser la déficience en N en produisant une biomasse aérienne proche de celle des sols à N suffisant (Alkama, 2010). Les graines sont de couleur marron foncé.



Figure 5 : Les trois variétés du haricot vert (*Phaseolus vulgaris L*) étudiées.

2-Méthodes analytiques

2-1- Analyses physiques et chimiques des sols

Au laboratoire, les sols échantillonnés sont séchés à l'air libre, broyés puis passés au tamis de 2 mm de diamètre. L'analyse physique (granulométrie) et les différentes analyses chimiques sont réalisées au laboratoire des sciences du sol du département des sciences agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

- La granulométrie

L'analyse granulométrique a pour but de séparer les différentes fractions minérales et les évaluer en pourcentages pondéraux de l'ensemble de l'échantillon. Cette analyse a été réalisée par la pipette de Robinson, qui consiste à détruire la matière organique dans 10 g de terre fine par une attaque à l'eau oxygénée (H₂O₂), puis disperser les particules avec l'hexamétaphosphate de sodium.

- Le pH

La mesure du pH a été réalisée par la méthode électrométrique à l'aide d'un PH mètre à l'électrode de verre, sur une suspension de terre fine avec un rapport sol/eau 1 /2,5.

- La conductivité électrique

Elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre. La conductivité électrique d'une solution est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol, elle exprime le degré de salinité par la concentration des solutés ionisables présents dans le sol. La méthode utilisée consiste à faire des extractions aqueuses avec rapport sol/eau de 1/2.5, laisser le mélange au repos durant 30min, puis filtré jusqu'à l'obtention d'un filtrat clair auquel on ajoute 2 à 3 gouttes d'hexamétaphosphate de sodium (Mimonto ; 1993)

-Le calcaire total

Le calcaire total est la quantité de calcaire sous forme de carbonate de calcium dosée par destruction à l'acide chlorhydrique. Nous avons utilisé la méthode volumétrique qui consiste à titrer l'excès de l'acide chlorhydrique par la soude en présence de phénolphtaléine à 2%.

-La matière organique

Nous avons opté pour la méthode ANNE. Le carbone organique est oxydé par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. Le bichromate de potassium résiduel est titré par une solution de sel de Mohr en présence de la diphénylamine. Ainsi, le taux de matière organique est obtenu par la formule suivante :

$$\text{M.O (\%)} = \text{C (\%)} \times 1,72.$$

2-2 Mise en place de l'essai

L'expérimentation a été réalisée dans une mini serre en verre au laboratoire d'agropédologie au département des sciences agronomiques de l'université de Mouloud Maameri. Nous avons utilisé des tubes en PVC de diamètre de 2 cm et d'une hauteur de 22 cm, à raison de cinq (05) répétitions pour chaque échantillon et à raison de trois répétitions seulement pour les témoins faute de quantité suffisante de sol.

Chaque tube est d'abord habillé de l'intérieur, d'un sac de toile à bluter qui contient un substrat sable –sol d'une proportion de 1/3 sable 2/3 sol. La toile à bluter est utilisé pour le contrôle des tubes au cours de nos essais et aussi pour faciliter la collecte des échantillons de sol et du végétal à la fin de l'expérimentation. A la base de chaque

tube nous avons introduit un disque de papier filtre type Whattman pour servir de mèche pour les plants. Par conséquent, les besoins en eau de la plante sont assurés par capillarité.

Dans les tubes témoin, les sols sont stérilisés avec un autoclave avec la pression de 1,5 bar/ pascal à 120°C pendant 20 min.

Le dispositif expérimental utilisé est de type bloc aléatoire complet à deux facteurs (Variété et sol). Il faut noter qu'aucun apport d'engrais ou de produit phytosanitaire n'a été appliqué.

Nous tenons à souligner que nous avons, malheureusement, perdu quelques plants au cours de notre expérimentation, suite aux différents problèmes techniques rencontrés.

2-3- Mise en culture des graines

Les graines des trois variétés de haricot sont mises à imbiber dans l'eau pendant 24 heures, puis à germer dans des boîtes de pétri tapissées de papier absorbant, pendant 5 à 6 jours. Le transfert des graines dans les tubes est effectué le 15 mai 2018 jusqu'au stade floraison.



Figure 6 : Début de germination des grains de haricot. (Original, 2018)



Figure 7 : Développement des plants des variétés étudiées. (Original, 2018)

2-4-Mesures biométriques

Le stade plein floraison marque la fin de la période végétative durant laquelle il est admis que l'essentiel de l'acquisition des nutriments est réalisé. Ce stade phénologique marque aussi le moment où l'activité fixatrice est considérée comme proche du maximum avant de décliner (Kyei-Boahen et al., 2002). C'est donc à ce stade que les prélèvements des plants sont réalisés, en séparant les parties aériennes des racines au niveau du collet. Les échantillons sont immédiatement pesés à l'aide d'une balance de précision pour évaluer la matière fraîche. Ils sont ensuite séchés à l'étuve pendant 48 h à 75°C pour évaluer la matière sèche. Les nodules sont détachés des racines, comptés, séchés à leur tour à 75°C.



Figure 8 : Variété de haricot au stade de floraison (Original, 2018)



Figure 9 : Les racines nodulés du haricot vert (Original, 2018)

2-5- Analyses et traitements statistiques

Les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel Statbox 2012. Les paramètres étudiés sont testés à l'aide de l'analyse de la variance multi-way ANOVA. Les moyennes sont comparées à l'aide du test de comparaison de Newman et Keuls à un seuil de probabilité de 0,05.

1-Caractéristiques physiques et chimiques du sol

1-1- Analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométriques sont donnés par le tableau 6.

- Le sol à agriculture biologique (E8) est à dominance sableuse 41,2% avec une teneur en argile de 34,5%. D'après le triangle de texture, le sol de la région de Tamda est de texture équilibre. C'est celle qui convient le mieux à la culture du haricot (Chaux et Foury, 1994).
- Le sol à agriculture intensive (E9) est à dominance argileuse 55,5% avec une teneur en limon de 26,4%. D'après le triangle de texture, le sol de la région d'Imsohel présente une texture argileuse.

Tableau 6 : Composition granulométrique de deux sols.

Fraction granulométrique	Sol 8 (%)	Sol 9 (%)
Argile	34,5	55,5
Limon	24,3	26,4
Sable	41,2	18,1

1-2- Analyses chimiques

Le tableau 7 résume les caractéristiques chimiques mesurées. Le sol E8 présente un pH de 7.94 qui est légèrement alcalin. Ceci peut s'expliquer par la présence d'un taux faible en calcaire qui est de 5,31%.

Le sol E9 présente un pH fortement alcalin qui s'explique par une présence d'un taux assez fort en calcaire et qui est de 34,37%. Nous savons que le calcaire et le pH sont intimement liés et que le moindre changement en taux de calcaire dans le sol peut induire une variation en pH dans le sol (Duchaufour, 2001, Soltner, 2005).

Ces sols seraient saturés en bases, notamment en Ca^{2+} suite à la présence de calcaire total qui se serait formé, vraisemblablement sur roche calcaire (Duchaufour, 2001) et qui au cours des années aurait subi le phénomène de décarbonatation donc saturation du complexe en Ca^{2+} .

La conductivité électrique des sols E8 et E9 est faible avec les taux de 0,31mS/cm et de 0,30mS/cm respectivement ce qui signifie qu'ils ne sont pas salés.

Tableau7 : Composition de quelques analyses chimiques des sols étudiés E8 et E9.

Sol	pH	MO	CE	CaCO ₃
E8	7,94	2,05	0,31	5,31
E9	8,19	5,01	0,30	34,37

Le taux de matière organique du sol E8 est de 2,05%. En se référant aux normes d'interprétation (Annexe 4), on constate que cette teneur est située au milieu du seuil souhaitable. Le sol est donc moyennement pauvre en matière organique. En effet, cela pourrait s'expliquer par le fait que les conditions édaphiques et climatiques sont favorables au bon développement des microorganismes du sol qui contribuent à la forte minéralisation de la MO du sol (Duchaufour, 2001, Soltner, 2005).

Pour le sol E9, le taux de matière organique est de 5,01%. Donc c'est un sol riche en matière organique. Contrairement au sol E8, E9 qui est à vocation agricole mais intensive, donc utilisation abusive des produits chimiques peut se répercuter sur le bon développement des microorganismes du sol qui favorisent la minéralisation de la MO.

La matière organique du sol pourrait jouer un rôle important dans les modifications physiques, chimiques et biologiques qui nécessairement, doivent influencer la nodulation. Elle sert de nourriture et de milieu de vie à la flore et à la faune du sol.

2 –Résultats biométriques

2-1 –Matière sèche aérienne

D'après les résultats de la figure 10, les biomasses aériennes obtenues chez les témoins des 3 variétés du sol E8 sont plus importantes que celles obtenues chez échantillons des mêmes variétés. La plus grande valeur enregistrée des témoins est de $0,8 \pm 0,147g$ chez la variété Contender témoin (Ct), sous le sol E8, contre $0,8 \pm 0,01g$ sous le sol E9.

La valeur maximale chez le sol E9 est remarquée dans la variété Contender (C) avec une valeur $0,653 \pm 0,042g$, contre $0,513 \pm 0,135g$ (dans le sol E8).

Dans le sol E9 les valeurs de la biomasse aérienne Contender sont plus élevées que celles de Tema et celles-ci, sont à leur tour, plus élevées que celles d'El Djadida.

Mais par rapport au sol E8 c'est la variété El Djadida (D) avec une valeur maximale $0,64 \pm 0,19$ contre $0,47 \pm 0,02$ (dans le sol E9).

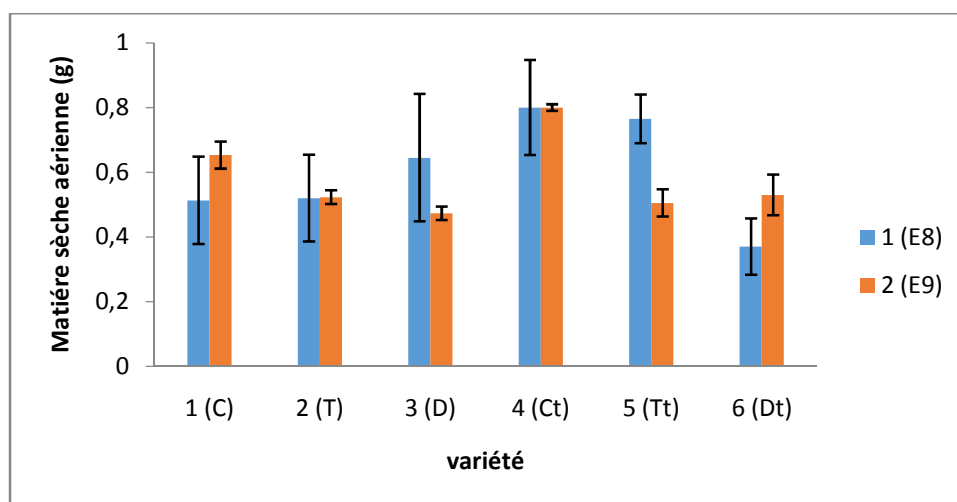


Figure 10 : Effet de sol sur la matière sèche aérienne

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative pour le facteur sol, et pour le facteur variété en incluant les témoins. Car si ces derniers sont supprimés de l'analyse de la variance il n'y aurait pas de différence significative pour le facteur variétal comme l'indiquent les tableaux 8 et 9.

Tableau 8: Résultats de l'analyse de la variance pour la matière sèche aérienne

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,731	47	0,037				
VAR.FACTEUR 1	0,211	1	0,211	21,399	0,00007		
VAR.FACTEUR 2	0,2	5	0,04	4,063	0,00509		
VAR.INTER F1*2	0,965	5	0,193	19,611	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,354	36	0,01			0,099	18,52%

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% (tableaux 9) montre trois groupes homogènes, le groupe (A) comprenant la variété Tema témoin (Tt) avec la moyenne de 0,635g, et le groupe AB comprend les variétés Contender, El Djadida, Tema avec des moyennes respectivement de 0,583g. 0,559g. 0,552g et le groupe B avec les variétés Contender témoin (Ct), El Djadida témoin (Dt) avec des moyennes respectivement de 0,466g. 0,45g.

Tableau 9: Test de Newman et Keuls pour la matière sèche aérienne (MSa) sous l'effet variétal

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
5.0	Tt	0,635	A	
1.0	C	0,583	A	B
3.0	D	0,559	A	B
2.0	T	0,522	A	B
4.0	Ct	0,466		B
6.0	Dt	0,45		B

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% montre deux groupes homogènes, le groupe A avec le sol E8 pour une moyenne de 0,602g et le groupe B avec le sol E9 pour une moyenne de 0,47g.

Tableaux 10 : Test de Newman et Keuls pour la matière sèche aérienne (MSa) sous effet de sol

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	E8	0,602	A	
2.0	E9	0,47		B

Discussion

Nos résultats montrent que la biomasse aérienne des variétés de haricot étudiées dépend des caractéristiques du sol (effet sol). Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus dans de nombreux travaux de recherche sur les lignées de haricot menés au champs (Alkama ; 2010 ; Lazali et al., 2016, Latati et al., 2016). D'après Alkama (2010), la déficience en phosphore provoque une diminution de la biomasse sèche de la partie aérienne des différentes lignées du haricot vert. Selon, Domernach et Wery (1992) la concentration total en azote pouvant varier de 1 à 4% d'azote dans les parties aériennes, suivant l'importance de la fixation symbiotique de l'azote. Des études confirment aussi l'adaptation des légumineuses aux différents modes de culture et leur capacité à fixer le N₂ qui peut offrir des opportunités pour favoriser l'augmentation de la biomasse végétale des espèces qui leur sont associés (Jeyabal et Kuppaswamy, 2001).

2-2-Matière sèche racinaire

L'analyse des moyennes montre que la variété El Djadida (D) développe la plus grande biomasse racinaire dans le sol E8 (figure 14) avec $0,158 \pm 0,099$ g contre $0,077 \pm 0,002$ g sous E9. La variété Tema témoin (Tt) présente la plus petite valeur sous le sol E8 avec $0,025 \pm 0,006$ g contre $0,04 \pm 0,008$ g sous le sol E9.

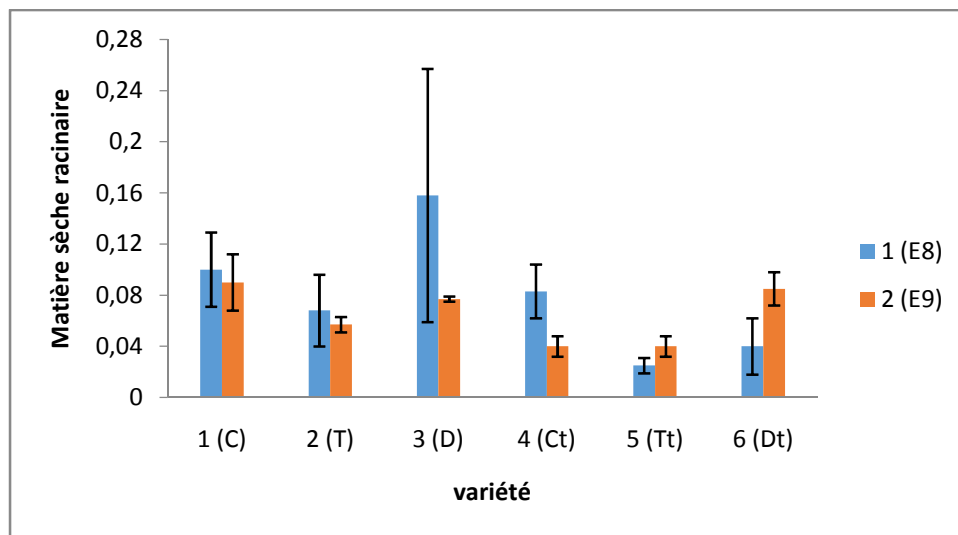


Figure 11 : Effet de sol sur la matière sèche racinaire

L'analyse de la variance a révélé des différences non significatives pour le facteur sol et très hautement significatives pour le facteur variété. L'interaction niveau de sol x variété est hautement significative. (Tableaux 11).

Tableaux 11 : Résultats de l'analyse de la variance pour la matière sèche racinaire

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,097	47	0,002				
VAR.FACTEUR 1	0,002	1	0,002	2,076	0,15464		
VAR.FACTEUR 2	0,036	5	0,007	6,442	0,00025		
VAR.INTER F1*2	0,019	5	0,004	3,461	0,01181		
VAR.RESIDUELLE 1	0,04	36	0,001			0,033	46,25%

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait apparaître 5 groupes homogènes, le groupe A comprend la variété D avec la moyenne 0,117g et le groupe AB comprend la variété C avec une moyenne 0,095g et le groupe BC comprend les variétés El Djadida témoin (Dt), tema (T), Contender témoin (Ct) avec des moyennes respectivement de 0,063g, 0,062g, 0,061g et le groupe C comprend la variété Tt avec la moyenne 0,033g.

Tableau 12 : Test de Newman et Keuls pour la matière sèche racinaire (MSr) sous l'effet variétal.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	D	0,117	A		
1.0	C	0,095	A	B	
6.0	Dt	0,063		B	C
2.0	T	0,062		B	C
4.0	Ct	0,061		B	C
5.0	Tt	0,033			C

Discussion

Nos résultats sont en contradictions avec ceux rapportés par plusieurs auteurs chez *phaseolus vulgaris* (Vadez et al., 1996 ; Shamseidin et al., 2005 ; Kouas et al., 2009 ; Alkama et al., 2009 ; Alkama., 2010). Ces auteurs rapportent que l'inoculation et le traitement phosphaté ont un effet significatif sur la biomasse racinaire, tandis que l'interaction inoculation traitement phosphaté n'a aucun effet sur la biomasse racinaire. D'après Jebara et al., (2005), la biomasse racinaire est moins affectée par le traitement phosphaté que la biomasse aérienne.

2-3-Matière sèche nodulaire

La figure 12 montre les valeurs de biomasse nodulaire chez les trois variétés étudiées sur les deux sols contrastés E8 et E9. Les deux variétés Contender (C) et El Djadida (D) ont donné la plus grande biomasse nodulaire dans le sol E8 avec une valeur respectivement $0,045 \pm 0,013$ g et $0,043 \pm 0,015$ g. Et la plus petite valeur sous les deux types de sol a été obtenue chez la variété D dans le sol E9 avec une moyenne 0,01g.

Dans le sol biologique (E8) les valeurs de Biomasse nodulaires sont plus élevées chez Contender (C) et El Djadida (D) et chez Tema (T).

Dans le sol E9 les valeurs de la biomasse nodulaire Contender sont plus élevées que celles de Tema et celles-ci, sont à leur tour, plus élevées que celles d’El Djadida.

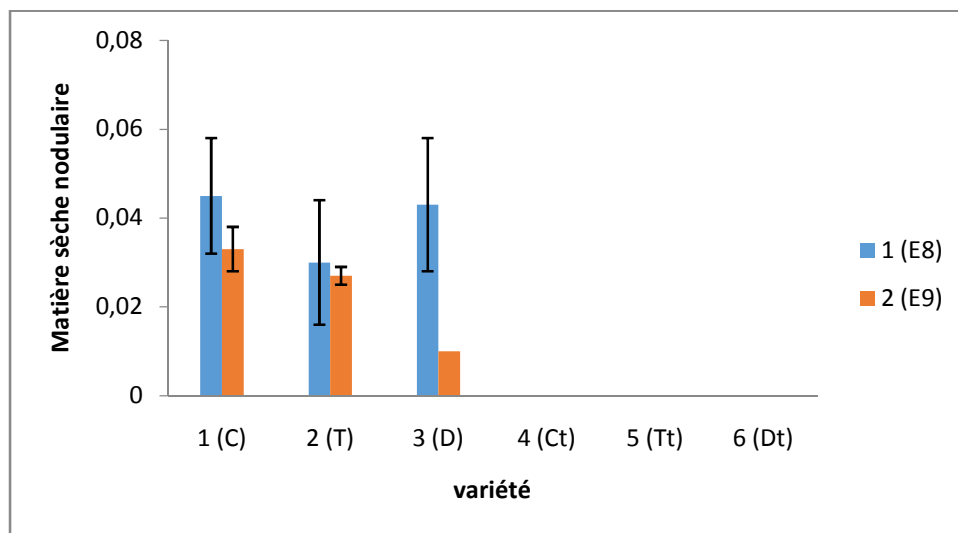


Figure 12 : Effet du sol sur la matière sèche nodulaire

L’analyse de la variance montre une différence très hautement significative entre les différentes variétés. (Tableau 13)

Tableaux 13 : Résultats de l’analyse de la variance pour la matière sèche nodulaire

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,017	47	0				
VAR.FACTEUR 1	0,001	1	0,001	14,204	0,00068		
VAR.FACTEUR 2	0,013	5	0,003	48,746	0		
VAR.INTER F1*2	0,002	5	0	6,476	0,00024		
VAR.RESIDUELLE 1	0,002	36	0			0,007	45,77%

Le test de Newman et Keuls montre deux groupes homogènes, le groupe A avec le sol E8 pour la moyenne 0,602g et le groupe B avec le sol E9 pour une moyenne de 0,47g (Tableaux 14).

Tableaux 14 : Test de Newman et keuls pour la matière sèche nodulaire (MSn) sous effet de sol

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	E8	0,02	A	
2.0	E9	0,012		B

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour le rendement réel fait apparaître trois groupes homogènes pour le facteur variétal, le groupe A avec la variété C pour la moyenne de 0,039. Le groupe B compte deux variétés T, D pour des moyennes respectives de 0,029 g, 0,026 g. le groupes C compte trois variété Tema témoin(Tt), El Djadida (Dt), Ct sans moyenne. (Tableaux 15)

Tableaux15: Test de Newman et Keuls pour la matière sèche nodulaire (MSn) sous l'effet variétal

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	C	0,039	A		
2.0	T	0,029		B	
3.0	D	0,026		B	
5.0	Tt	0			C
6.0	Dt	0			C
4.0	Ct	0			C

Discussion

El Djadida est apparemment plus sensible que les deux autres variétés aux intrants. Probablement les Bactéries Nodulant les Légumineuses (BNL) qui nodulent El Djadida ne sont pas bien représentées dans le sol issu de l'agriculture biologique. On pourrait dire que ces BNL spécifiques à El Djadida (D) n'ont pas supporté les intrants chimiques tels que les pesticides.

La nodulation et la fixation symbiotique de l' N_2 exigent que la plante hôte et le microorganisme soient compatibles, mais aussi que l'environnement du sol soit approprié pour l'échange de signaux qui précèdent l'infection (Hirsch *et al.*, 2003; Leibovitch *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2002). En effet, les communautés microbiennes sont capables de développer une gamme d'activités très importantes dans le maintien de l'équilibre biologique et la survie dans le sol notamment dans des conditions de stress (Barea *et al.*, 2002; Kennedy et Smith, 1995). La symbiose légumineuses- *rhizobium* et la formation des nodules sur les racines des plantes

légumineuses sont plus sensibles au sel et au stress osmotique que leur rhizobia (Zahran., 1999). Soulignons que dans notre cas ce stress est écarté.

Nos résultats sont en désaccord avec ceux de Maingi *et al.*, (2001) et de Banik *et al.*, (2006), qui indiquent que le poids sec des nodules est plus élevé en association, à cause des effets de complémentarité légumineuse.

Dans notre cas, il est possible que cette diminution de la biomasse nodulaire soit causée par une déficience en azote ou par la grande disponibilité de P dans le sol. Mais cette diminution est partiellement compensée par une augmentation du nombre de nodules, qui pourrait être due à un changement dans la population de souches de rhizobium impliquées dans la nodulation (Depret et Laguerre, 2008 ; Latati *et al.*, 2014). Le niveau de la fixation de l'azote d'une légumineuse dépend essentiellement de son taux de nodulation. Le taux de la fixation est proportionnel avant tout à la biomasse nodulaire c'est-à-dire la quantité de symbiosomes, unité fondamentale de la symbiose rhizobia-légumineuses, que la plante héberge au niveau de ses nodosités (Graham, 2008).

2-4- Nombre des nodules

La figure 13 montre que la variété Contender (C) compte le plus grand nombre de nodules avec $94 \pm 15,54$ sous E9 contre $85 \pm 26,66$ sous E8. Le plus petit nombre de nodules est obtenu sous E9 chez la variété El Djadida (D) avec $17 \pm 5,31$ contre $65 \pm 17,93$ sous E8.

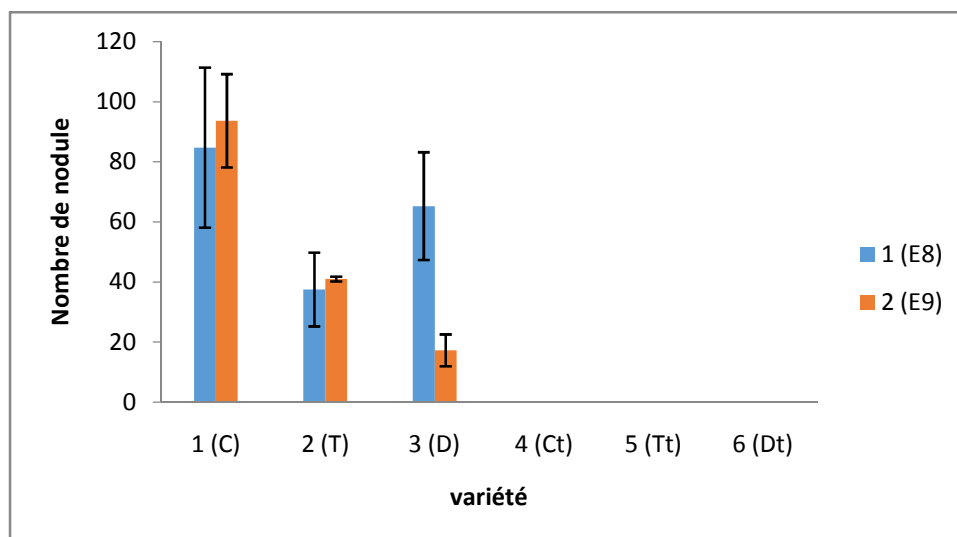


Figure 13 : Effet du sol sur le nombre de nodule

L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif du facteur sol et l'interaction niveau de sol x variétés pour le nombre de nodules (tableaux16)

Tableaux 16 : Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de nodules

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	60352,22	47	1284,09				
VAR.FACTEUR 1	422,063	1	422,063	3,485	0,0669		
VAR.FACTEUR 2	51200,79	5	10240,16	84,553	0		
VAR.INTER F1*2	4369,449	5	873,89	7,216	0,0001		
VAR.RESIDUELLE 1	4359,918	36	121,109			11,005	38,91%

Le test de Newman et Keuls pour le nombre de nodules révèle trois groupes homogènes pour le facteur variété comme le montre le tableau qui suit

Tableau17 : Test de Newman et Keuls pour le nombre du nodule (Nbr n) sous l'effet variétal

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	C	89,208	A		
3.0	D	41,25		B	
2.0	T	39,25		B	
5.0	Tt	0			C
6.0	Dt	0			C
4.0	Ct	0			C

Discussion

D'après Schultze et Kondorosi (1998), Duhous et Nicole (2004) le nombre (ou le poids) des nodules actifs sur le système racinaire est contrôlé par la plante hôte (phénomène d'autorégulation). En effet, la capacité de fixation biologique de l'azote par les légumineuses dépend du génotype de la plante, de la souche de rhizobium, et de l'interaction hôte- souche (Sadiki, 1992). Toutefois, l'intensité de l'activité de la nitrogénase peut varier d'une souche à une autre (Hartwigetal., 1987). par ailleurs, il paraît que le niveau de la fixation d'un couple symbiotique reflète un compromis entre son niveau 'infection et de niveau d'activité des nodosités (Djordjevic et al., 1987). De ce fait lorsque le nombre de nodules est faible, la plante peut leur fournir plus de photosynthétats que lorsqu'il sont plus nombreux permettant ainsi aux bactéroïdes d'exprimer plus leur pouvoir de fixation d'azote (Gall et al., 1987).

2-5-- Recherche de corrélation entre les matières sèches aériennes et nodulaires

Différentes méthodes sont disponibles afin d'estimer la fixation symbiotique d'azote chez les plantes, et leur usage reste encore débattu (e.g. activité acétylène, mesure isotopique) (Ledgard et Steel, 1992, Unkovich et al., 2008). Nous avons fait le choix d'estimer l'Efficacité d'Utilisation de la Symbiose Rhizobienne (EUSR) en suivant le concept élaboré par Drevon et al. (2011). Le principe fondamental de ce concept est que le changement de la biomasse nodulaire corrélé au changement de la biomasse aérienne de la légumineuse peut être un estimateur de l'EUSR.

Résultats et discussion

Nous avons trouvé une corrélation positive entre la biomasse aérienne et la biomasse nodulaire des trois variétés dans le sol E9. (Figure 14). La courbe de régression est de type puissance et le coefficient de corrélation (R^2) est de 0,6. L'EUSR a été estimée par la pente de régression, c'est-à-dire la dérivée de biomasse aérienne = f (biomasses nodulaires). Ce qui reviendrait à dire que l'EUSR des 3 variétés dans le sol E9 est de 2g biomasse aérienne/g biomasse nodulaire. Une valeur qui n'est pas vraiment grande comparé aux valeurs obtenues par de nombreux chercheurs au champs et dans des conditions contrôlées sous serre (Alkama et al, 2008, 2011, Lazali et al., 2016, Latati et al., 2016)

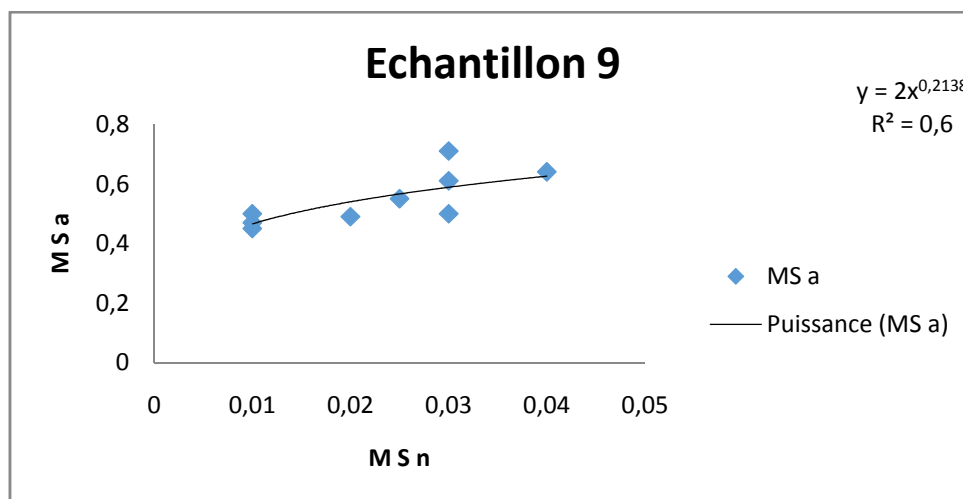


Figure 14 : Relations entre les matières sèches aériennes(MSa) et matières sèches nodulaires (MSn) des trois variétés sous le sol E9.

La fixation symbiotique de l'azote joue un rôle important dans le développement et la croissance du haricot et des légumineuses en général.

L'objet de ce travail était d'évaluer la symbiotique rhizobienne chez trois variétés de haricot cultivé dans deux sols contrastés.

Les résultats obtenus nous permettent de conforter notre hypothèse de départ sur la nodulation dans les deux sols étudiés.

En effet, la biomasse nodulaire des trois variétés est plus importante dans le sol biologique que dans le sol intensif.

Les variétés qui ont mieux nodulées sont El Djadida (D) et la contender (C) et ce dans le sol biologique.

Nous avons constaté aussi que sous le sol E9 (Intensif), les variétés étudiées ont présenté une bonne croissance aérienne.

Pour estimer la fixation biologique de l'azote en relation avec les biomasses aériennes nous avons essayé d'étudier les corrélations existantes entre la matière sèche aérienne (MSa) et la matière sèche nodulaire (MSn). Les résultats ont montré des corrélations significatives pour les trois variétés sous le sol E9 uniquement.

Ces résultats indiquent que le haricot devrait s'accompagner par la pratique c'est-à-dire l'apport massif de rhizobia adaptés à cette plante afin de lui permettre de profiter de son potentiel à former une symbiose fixatrice d'azote avec les rhizobia. Par ce biais, on peut s'assurer que le haricot couvrira au moins une partie de ses besoins en azote à partir de l'azote moléculaire de l'atmosphère du sol.

Dans les études à suivre nous suggérons de reproduire ces essais pour s'assurer de la répétabilité des résultats et de s'assurer que les conditions sous serre sont bien contrôlées.

Il faudra aussi procéder à la caractérisation morphologique, physiologique, biochimique et moléculaire des rhizobia issus des nodules que nous avons conservés dans des tubes rempli de silicagel.

Il serait intéressant de poursuivre ce travail, d'une part, par la sélection des variétés du haricot ayant un potentiel de fixation d'azoté élevé et efficaces dans l'utilisation de l'azote et du phosphore.

De plus, il est souhaitable, d'orienter les recherches vers d'autres types et modes d'association, avec le haricot et les légumineuses à graines.

Enfin, il serait d'autant plus intéressant de travailler en collaboration avec d'autres matériels pour la mécanisation de la récolte si on veut appliquer ce système à grand échelle.

Références bibliographiques

Alkama N., Bolou Bi Bolou E., Vailhe H., Lucien Roger L., Ounane S.M., Drevon J.J., 2009. Genotypic variability in P use efficiency for symbiotic nitrogen fixation : is associated with variation of proton efflux in cowpea rhizosphere. *Soilbiology and biochemistry* 41, 1814-1823.

ALKAMA N., 2010. Adaptation de la symbiose rhizobienne chez le haricot à la déficience en phosphore : Détermination de la réponse de la plante en termes d'échange gazeux et de flux minéraux échangés avec la rhizosphère. Thèse doctorat, ENSA. El Harrach, Alger, 174 p.

Baudouin J.P., Vanderborcht T., Kimani P.-M, et MW'angombe A.-W., 2001. Légumes à grains : Haricot. In *Agriculture en Afrique Tropicale*, Bruxelles, DGCI, p.337 - 355.

Blair M W., Diaz L.M., Buendia C., H.F. Duque E., M.C., 2009. Genetic diversity, seed size associations and population structure of a core collection of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Gen.* 119, 955-972.

Blondeau R., 1980. Fixation biologique de l'azote atmosphérique, Ed. Vuibert université biologie, Paris 101 p.

Bollinge R., 1979 : les cultures maraîchères, Expert. F.A.O.

Caburet A. et Hekimian Letheve C., 2003. Les légumineuses à grains. In *Memento de l'Agronome*, Paris-France, CIRAD-GRET, p.865-878.

Charles Messian., 1998. Le potager tropical. CILF, Paris, 583 pp.

Chaux c ; Foury c., 1994- production légumières-paris .Ed : J.B.Bailliere.75-142pp.

Cheng, Q., 2008. Perspectives in biological nitrogen fixation research. *Journal of Integrative Plant biology* 50 :786-798.

Denarie. J et Joly P. B., 1994- La fixation de l'azote, les enjeux de la recherche. *Biofutur.* 2 :30-34.

Domernach A.M. et Wery J., 1992. Estimation de l'activité fixatrice d'azote : comparaison des méthodes. In: Neyra M (Ed): Fichier technique de la fixation symbiotique de l'azote: légumineuse/ rhizobium. INRA. Rome. pp 130-133.

Downie JA., 2005. Légume hemoglobins : symbiotie nitrogen fixation needs bloody nodules curr biol 15 :6.

Duhoux E., Nicole M., 2004 : biologie végétale. Association et interaction chez les plantes. Ed. DUNOD. Paris. 164 P.

Encyclopedie des Aliments., 1997. Edition Fontaine, Paris, France, 688 p.

Ertl, G., 2012. The ArduousWay to the Haber-Bosch Process. Zeitschrift Fur Anorganische Und Allgemeine Chemie 638 :487-489.

Fatou N D., 2002. Utilisation de l'inoculum de Rhizobium pour les cultures du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal. Thèse, université Cheikh Anta Diop Dakar, 3-20.

Fouilloux G., et Bannerot H., 2003. <http://www.inra.fr/legumineuses/haricot/galban.htm>(Consulté le 17 Mai 2004).

Frérot H., Lefèbvre C., Gruber W., Collin C., Santos A.D., Escarré J., 2006. Specific Interactions between Local Metalicolous Plants Improve the Phytostabilization of Mine Soils. *Plant Soil*. 282: 53 - 65.

Gallais A. ; Bennfort H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de sélection –paris .Ed : INRA. 75-142 PP.

Galloway, J.N., Aber, J.D., Erisman, J.W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., cowling, E.B., Cosby, B.J., 2003. The nitrogen cascade. *Biosciences* 53 :341-356.

Graham, P. H, and P. Ranalli., 1997. Common Bean (*phaseolus vulgaris* L.)Field crops Research 53 : 131 – 146 .

Graham P.H., 2008. Ecologie of the root-nodule bactèria of legumes. In: Dilworth M.J, James E.K., Sprent J.,L., Newton W.E.(Eds): Nitrogen-fixing leguminous symbioses. Springer, 23-43.

Gros A., 1979. Engrais : Guide pratique de la fertilisation. Ed la maison rustique. Paris, PP 171-183.

Hammadache M., 2000 ; les légumineuses alimentaire en Algérie : situation actuelle et perspectives. ITGC Alger. 125 P.

Jeyabal A., Kuppuswamy G., 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility. Eur. J. Agr. 15, 153-170.

Kentour S., 1999. Contribution à l'étude des propriétés des graines du haricot dollique (*Vigna unguiculata* L. Walp) au cours d'un essai à l'ITMA de Boukhalfa wilaya de Tizi-Ouzou. DES de biologie. 44p.

Kolev N., 1976. Les cultures maraîchères en Algérie. Tome I : Légumes, fruits. Ed du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. PP120-135.

Kroll R., 2000. Les cultures maraîchères, 219 pp, Maisonneuve et Larose, Paris.

Latati M., Blavet D., Alkama N., Laoufi H., Drevon J.J., Gerard F., Pansu M., Ounan S.M., 2014. The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. Plant Soil. 85, 181-191.

Lombole D., 2001. Les vertus des légumes, des fruits et des céréales, Marabout, Italie, p.127.

Newton W.E. 2007. Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology of Nitrogen Fixation. In : Biology of the nitrogen cycle, H. bothe H., de bruijn F.J. et Newton W. E. (Eds), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. pp.109-130.

O'brian, M.R., et Maier R.J., 1989. Isolation of a cytochrome a 3 gène from Bradyrhizobium juporicurs. Proe. Nael. Acad. Ser. USA, 84, 3219-3223.

Pesson P. ; Lauveaux X., 1984. Pollinisation et production végétale-Paris. Ed : INRA. 264PP.

Pieterneel V.R. et Vander Lyden J., 1995. The rhizobium plant symbioses. Microbiol. Rev. 59 : 124 – 142.

Postgate 1981, Streeter J.G., 1993. Tralocation. A Key factor limiting the efficiency of nitrogen fixation in légume nodules. *Physiol .plantarum.* 87 : 616 – 623 .

Prescott L.M., Harley J.P., Klein D.A., 2003. Microbiologie Ed DeBoek et Larcier S.a., Paris. 1137P.

Puppo A., Herrada G, et Rigaud J., 1991. Lipid peroxydation in peribacteroid membranes from french Bean nodules. *Plant Physiol.* 96,826-830.

Quinn J., 1999. Cowpea, a versatile légume for hot dry condition. Ed. Indiana, Missouri.

Rezgui K., Layazid J., 2006. Contribution à l'étude des paramètres de croissance et de nodulation chez quelques lignées du haricot sous deux doses de phosphore. 21-22 p.

Samson.C, Fetiaron.R., 1989. Nodulation du haricot cultivé en sol de rizière. CIRAD-IRAT, Paris. 153 pp

Segervia L., Young JP, and Martinez- Romero E., 1993. Reclassification of American Rhizobium Leguminosarum biovar phaseoli type 1 strains as Rhizobium etli sp. Nov. *Inter.J. Syst, Bact.* 42,374-377.

Stacey G., Brechenmacher L., Libault M. et Sachdev S. 2007. Functional Genomics of Soybean Root-Hair Infection. In : *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture.* Volume 42, Current Plant Science and Biotechnology in agriculture, Pedrosa F.O., Hungria M., Yates M.G. et Newton W.E.(Eds.), Kluwer Academic Publ ., Dordrecht. PP. 181-182.

Stantan W. R., 1970. Les légumineuses à graines en Afrique. Ed. Lavoisier. 365p.

Stougaard, J., 2000. Regulators and Regulation of légume Root Nodule Développement. *Plant Physiology* 124 :531-540.

Truchet, G., promet, J.C. et Denarie, J., 1993. Symbioses bactéries-légumineuses : un dialogue moléculaires. *La recherche.* 250 :92-94.

Vance CP. 2001. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. *Plant nutrition in a wold of declining renewable resources.* *Plant physiol.* 127 : 390-397.

Vincent J.M., 1979. The identification and classification of Rhizobium. Soc.Appl.Bact. Tech. Ser. 14 :49-69.

Voisin A.S. et Gastal F. 2015. Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses. eds. *Edition Quae*, 512p.

Wang, D., Yang, S., Tang, F., Zhu, H., 2012a. Symbiosis specificity in the légume : Rhizobial mutualism. Cellular Microbiology 14 :334-342.

Young J.P.W., et Haukka K.E., 1996. Diversity and phylogeny of rhizobia. New phytologist. 133, 87, 94.

Zahran H.H., 199 9. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 63, 968–989.

Zakhia F., et de Lajudie P., 2001. Taxonomy of rhizobia, mini-review. Agronomie, 21, 569-576.

Normes d'interprétations

Tableau 19 : Normes d'interprétation de la réaction du sol (pH). Memento de l'agronome.

Valeur du pH eau	Quantification
<4,5	Extrêmement acide
4,6 à 5,0	Très fortement acide
5,1 à 5,5	Fortement acide
5,6 à 6,5	Faiblement acide
6,6 à 7,3	Neutre
7,4 à 7,8	Légèrement alcalin
7,9 à 8,4	Fortement alcalin
8,5 à 9	Très fortement alcalin
>9,1	Très fortement alcalin

Tableau 20 : normes d'interprétation de la conductivité électrique à 25°C. Memento de l'agronome.

CE (μ s)	Quantification du sol
<0,6	Non salé
0,6 à 1,2	Peu salé
1,2 à 2,4	Salé
2,4 à 6	Très salé
>6	Extrêmement salé

Tableau 21 : Norme d'appréciation du calcaire total du sol. Memento de l'agronome.

Caco3%	Quantification
5 à 12,5	Faiblement calcaire
12,5 à 25	Modérément calcaire
25 à 37,5	Assez fortement calcaire
37,5 à 50	Fortement calcaire
> 50	Très fortement calcaire

Tableau 22 : Normes d'interprétation de la teneur en matière organique. Memento de l'agronome.

M.O (%)	Quantification
<0,7	Sol très pauvre
0,7 – 1,5	Sol pauvre
1,5 – 2,5	Sol moyennement pauvre
2,5 – 5	Sol riche en M.O
>6	Sol très riche en M.O

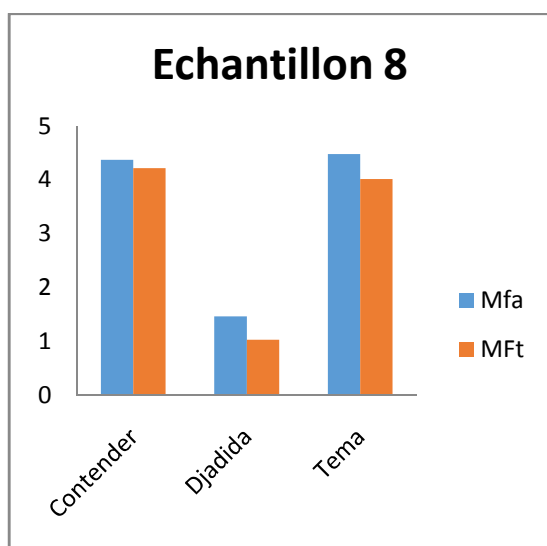


Figure 15 : La Mfa d'échantillon 8

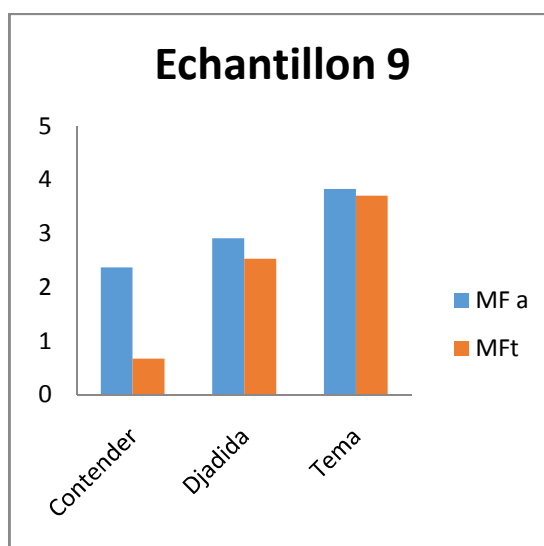


Figure 16 : La Mfa d'échantillon 9

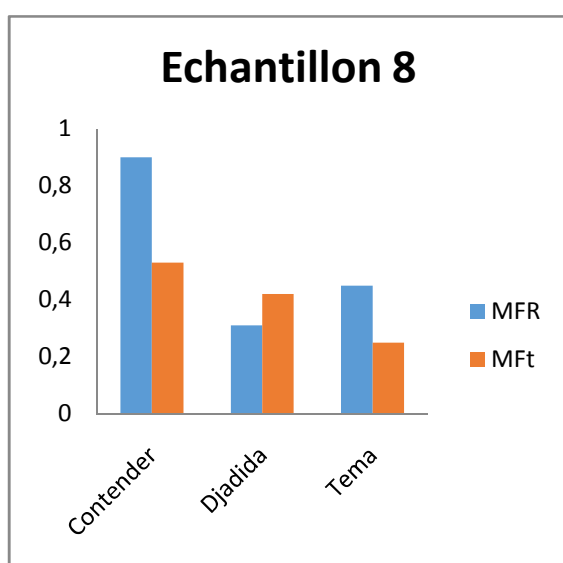


Figure 17 : La MFR d'échantillon 8

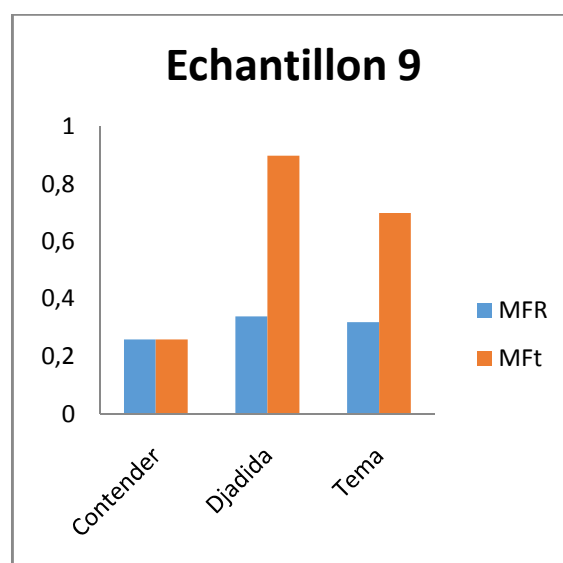


Figure 18 : La MFR d'échantillon 9

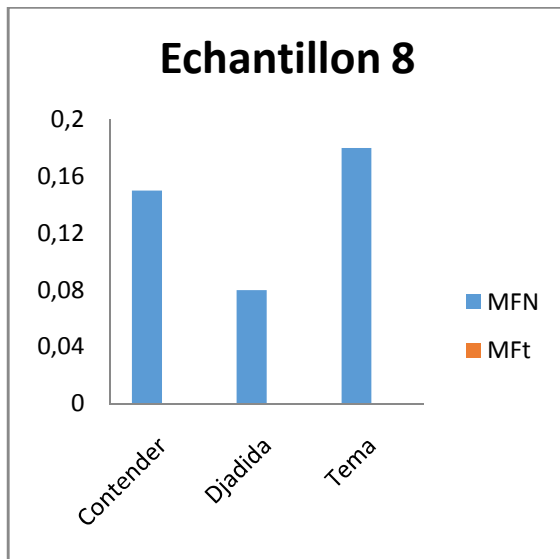


Figure19 : La MFN d'échantillon8

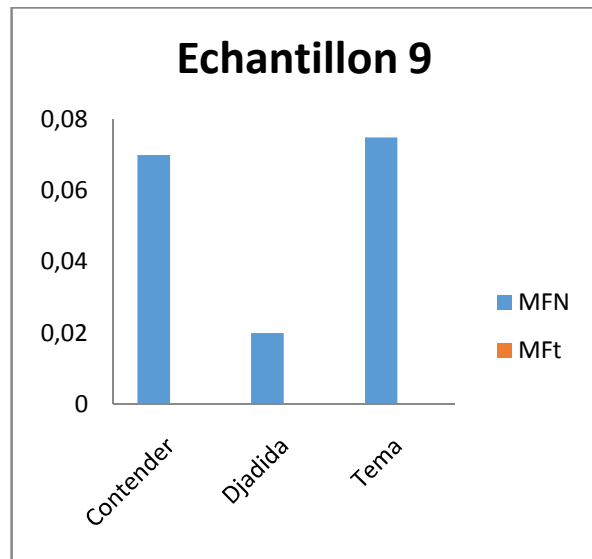


Figure 20 : La MFN d'échantillon

Sommaire

Introduction

Synthèse Bibliographique

Matériels et Méthodes

Résultats et Discussions

Conclusion

Annexes

Résumés

La culture du haricot est intéressante car elle peut améliorer la production agricole dans le bassin méditerranéen, fortement limité par la disponibilité en azote et en phosphore, ceci par son autosuffisance en azote grâce à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Notre étude a pour objectif de comparer quelques paramètres symbiotiques (cas des rhizobia) de trois variétés de haricot (Contender, Téma et El Djadida) cultivés sous serre sur deux sols contrastés (sol issu d'une culture biologique et l'autre de cultures intensives). Les résultats montrent qu'il existerait un lien étroit entre le sol et les paramètres symbiotiques et que la nodulation serait moins prononcée dans les trois variétés dans le sol issu de culture intensive. Les analyses de corrélation entre le poids de nodosités et le poids de la biomasse aérienne ont montré un effet significatif sous sol intensif. On peut s'assurer que le haricot couvrira au moins une partie de ses besoins en azote à partir de l'azote moléculaire de l'atmosphère du sol.

Mots clés: nodosité, *Phaseolus vulgaris* L., symbiose rhizobienne

Abstract

The cultivation of beans is interesting because it can improve agricultural production in the Mediterranean basin, strongly limited by the availability of nitrogen and phosphorus, by its self-sufficiency in nitrogen thanks to the symbiotic fixation of atmospheric nitrogen.

Our study aims to compare some symbiotic parameters (case of rhizobia) three varieties of beans (Contender, Tema and El Djadida) grown in a greenhouse on two contrasting soils (organically grown soil and intensive crops). The results show that there is a close link between soil and symbiotic parameters and that nodulation is less pronounced in all three varieties in the soil from intensive cultivation. Correlation analyzes between the weight of nodosities and the weight of aerial biomass showed a significant effect under intensive soil.

It can be ensured that the bean will cover at least part of its nitrogen requirement from the molecular nitrogen of the soil atmosphere.

Key words: nodosity, *Phaseolus vulgaris* L., rhizobial symbiosis