



Mémoire de fin d'études

En vue

De l'obtention du diplôme de Master II en Sciences Agronomiques

Spécialité : Science du sol.

Thème

**La symbiose mixte - légumineuse une
biotechnologie à notre portée**

Réalisé par :

M^{elle} MEHDI Yamna.

Devant le jury :

Présidente :

▪ **M^{me} OMOURI. O.** M.A.B à l'U.M.M.T.O.

Promotrice :

▪ **M^{me} ALKAMA. N.** M.C.A à l'U.M.M.T.O.

Co-promotrice :

▪ **M^{me} TOUATI. Z** Doctorante à l'U.M.M.T.O.

Examinatrices :

▪ **M^{me} OMARI . O.** M.A.A. à l'U.M.M.T.O.

▪ **M^{me} ISSAOUN . D** Doctorante à l'U.M.M.T.O.

Promotion 2017/2018

Remerciements

D'abord je tiens à remercier en premier lieu le bon « **Dieu** » de m'avoir donné, santé, courage et la foi pour mener mon travail avec volonte et beaucoup de patience.

J'adresse mes sincères remerciements à M^{me} ALKAMA N., Maître de Conférence au département d'agronomie à l'U.M.M.T.O., d'avoir accepté de m'encadrer, m'orienter tout au long de ce travail, pour l'aide compétente qu'elle m'a apporté, pour sa patience et son encouragement à finir ce travail.

J'adresse aussi une mention particulière à ma co-promotrice M^{elle} TOUATI, Z., pour son aide précieuse et ses conseils dans la réalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements vont aussi pour M^{me} OMOUARI O., Maître assistant au département d'agronomie à l'U.M.M.T.O., pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je ne manquerai pas, non plus, de dire un grand merci aux membres de jury qui ont accepté, sans réserve, d'évaluer ce travail à sa juste valeur, et de me faire part de leurs remarques sûrement pertinentes qui, avec un peu de recul, contribueront, sans nul doute au perfectionnement du présent travail.

Je présente ici le témoignage de ma sincère gratitude à M^{me} TALEB K., Maître de Conférence au département de biologie à l'U.M.M.T.O., pour son aide et sa gentillesse.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et reconnaissance à M^{me} LOUNAS F., Ingénieur de laboratoire à l'U.M.M.T.O, d'avoir mis à ma disposition tous les moyens humains et matériels pour la réussite de ma partie expérimentale.

Je désire remercier M^{elle} ISSAOUN D, pour son aide précieuse, de m'avoir permis d'acquérir des notions en informatique et traitement statistique.

Je rends hommage à Mr FEDALA K., Chef de Service OPAT à la DSA d'Alger, pour son aide et sa sympathie, au service OPAT et à tout le personnel de la DSA d'Alger, pour leurs encouragements et leurs soutiens.

En fin, nous ne saurons passer sous silence mes parents, mes frères, mes amis Sara et Hamza et les nombreux collègues qui, de près ou de loin, m'ont soutenu moralement, que tous vous retrouviez ici l'expression de nos sincères gratitude.

Dédicaces

A mon très chère Père

A ma très chère mère

A mes chères frères et mes neveux

A Khalou Awawche et Soumia

A Sara et Hamza

A Keltoum Maya

A tout le personnel de la DSA d'Alger

*A tous ceux qui m'ont soutenue durant la réalisation
du présent travail.*



Liste des abréviations

A : Argile.

APG : Angiosperm Phylogeny Group.

BAS : Biomasse aérienne sèche.

BNS : Biomasse nodulaire sèche.

BRS : Biomasse racinaire sèche.

C: Contender.

C (t) : Témoin de la variété Contender.

C.E : Conductivité électrique.

CMA : Champignons Mycorhiziens Arbusculaires.

Dj : El-Djadida.

Dj (t) : Témoin de la variété El-Djadida.

DSE : Dark Septate Endophyte.

E6 : Sol issu d'une agriculture intensive.

E13 : Sol issu d'une agriculture biologique.

FSN : Fixation Symbiotique d'Azote.

L : Limon.

S : Sable.

T : Tema.

T (t) : Témoin de la variété Tema.

Liste des figures

Figure 1 : Nodules formés sur le système racinaire du haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i>), (ALKMA, 2004)	05
Figure 2 : Processus de nodulation (Site web)	06
Figure 3 : Les différents types de mycorhize	08
Figure 4 : Les grains de haricot utilisés	13
Figure 5 : Situation géographique des zones d'échantillonnage	14
Figure 6 : Schéma d'un modèle d'échantillon utilisé dans notre expérimentation	16
Figure 7 : Dispositif expérimental utilisé	16
Figure 8 : Haricot au stade de croissance	23
Figure 9 : Variation de nombre de nodules en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.	23
Figure 10 : Variation de la biomasse nodulaire sèche en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.	24
Figure 11 : Variation de la biomasse racinaire sèche en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.	25
Figure 12 : Variation de la biomasse aérienne sèche en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions	26
Figure 13 : Variation BRS et BAS en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.	26
Figure 14 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de la Contender à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de C) (Original, 2018).	28
Figure 15 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines d'El-Djadida à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de Dj), (Original, 2018).	28

- Figure 16** : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de la Tema 28 à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de T), (Original, 2018).
- Figure 17** : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de Contender 29 à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de C), (Original, 2018).
- Figure 18** : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines d'El-Djadida 29 à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de Dj), (Original, 2018).
- Figure 19** : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de la Tema 29 à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de T), (Original, 2018).
- Figure 20** : Variation des taux de mycorhization chez les variétés de haricot au niveau des sols E6 et E13 30
- Figure 21** : Description morphologique de haricot Annexe 1
- Figure 22** : Cycle de développement de la culture du *Phaseolus vulgaris* (DIAW, 2002) Annexe 1

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : La production nationale en haricot (FAOSTAT, 2011)	04
<u>Tableau 2</u> : Résultats des analyses des sols utilisés	22
<u>Tableau 3</u> : Travaux de sol nécessaire, périodes et outils choisis pour la culture du haricot (ANONYME, 2008).	Annexe 1
<u>Tableau 4</u> : Analyses de la variance de nombre de nodules	Annexe 4
<u>Tableau 5</u> : Résultats du test NEMAN-KEULS pour le nombre de nodules chez trois variétés de haricot dans deux différents sols	Annexe 4
<u>Tableau 6</u> : Analyses de la variance de BNS	Annexe 4
<u>Tableau 7</u> : Résultats du test NEMAN-KEULS pour la BNS chez trois variétés de haricot dans deux différents sols	Annexe 4
<u>Tableau 8</u> : Analyses de la variance de BRS	Annexe 4
<u>Tableau 9</u> : Résultats du test NEMAN-KEULS pour la BRS chez trois variétés de haricot dans deux différents sols	Annexe 4
<u>Tableau 10</u> : Résultats du test NEMAN-KEULS pour la BRS chez trois variétés de haricot dans deux différents sols.....	Annexe 4
<u>Tableau 11</u> : Analyses de la variance de BAS	Annexe 4
<u>Tableau 12</u> : Résultats du test NEMAN-KEULS pour le taux de mychorization chez trois variétés de haricot dans deux différents sols	Annexe 4

Sommaire

Introduction Générale	01
------------------------------------	----

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

1. LE HARICOT	02
1.1. Classification du haricot	02
1.2. Intérêts et utilisation du haricot	02
1.2.1. Sur le plan nutritionnel	02
1.2.2. Sur le plan agronomique	03
1.2.3. Sur le plan économique	03
1.2.4. La production du haricot en Algérie	04
2. LA SYMBIOSE RHIZOBIA-LEGUMINEUSES	04
2.1. Définition.....	04
2.2. Processus de nodulation	06
2.2.1 Phase de pré-infection	06
2.2.2 Phase d'infection	06
2.2.3 Phase d'initiation des nodules	07
2.2.4 Phase de maturation	07
2.2.5 Phase sénescence des nodosités	07
3. MYCORHIZE ET ASSOCIATION MYCORHIZIENNE	07
3.1. Association mycorhizienne	08
3.2. Les différents types de mycorhizes	08
3.2.1. Les Ectomycorhizes	09
3.2.2. Les Endomycorhizes	09
3.2.3. Les Ectendomycorhizes	10

4. LES ENDOPHYTES	11
4.1. Généralités sur les endophytes	11
4.2. Interaction endophyte - hôte	11
4.3. Rôle des champignons endophytes	12
4.3.1. Rôles physiologiques des champignons endophytes	12
4.3.2. Rôle des endophytes dans la tolérance aux stress abiotiques	12

Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

1. MATERIEL D'ETUDE	13
1.1. Le haricot	13
1.2. Le sol	13
2. Méthode d'étude	15
2.1. Mise en place de l'essai	15
2.2. Analyses de sol	18
2.3. Mesure biométriques	20
2.4. Analyses microscopiques	20
3. Analyses statistiques	20

Chapitre 3 : Résultats et discussion.

1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols	21
2. Les mesures biométriques sur le haricot	23
2.1. Résultats des mesures biométriques	23
2.2. Discussion	26
3. Etude microscopique	27
3.1. Taux de mycorhization	27
3.2. Discussion	31
3.3. Les endophytes	31

Conclusion générale	35
Références bibliographiques.....	36
Annexe 1 : Généralités sur le haricot	
Annexe 2 : Etude de milieu	
Annexe 3 : Normes d'interprétation	
Annexe 4 : Analyse statistique	

Introduction

Face aux problèmes de malnutrition et de dégradation des sols, l'augmentation de la production agricole et la gestion de la fertilité du sol deviennent un enjeu majeur. Actuellement les mauvaises pratiques agricoles appauvrissent le sol en éléments nutritifs, conduisant ainsi à une forte diminution de leur productivité.

Certainement, pour assurer une meilleure productivité, les plantes ont des besoins nutritionnels majeurs en N, P et K, ainsi qu'en oligo-éléments tels que le Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, S ... etc (TYLER et *al.*, 2001 ; GRAHAM et *al.*, 2003 ; MORGAN et *al.*, 2013).

Naturellement, le sol héberge la plupart de ces éléments avec des teneurs variables suivant le type de sol (MARSCHNER et *al.*, 2003). En plus de ces éléments nutritifs, le sol abrite des milliers d'organismes différents, qui interagissent et contribuent aux cycles globaux qui rendent possible la vie. Il constitue l'un des habitats les plus diversifiés sur terre et l'un des écosystèmes les plus complexes de la nature. La présence d'une forte activité de microorganismes est souvent considérée comme un indice d'une bonne fertilité du sol (PATRA et *al.*, 2008).

Dans ce concept, l'importance de certains groupes de microorganismes tels que les bactéries fixatrices d'azote et les champignons mycorhiziens est mieux connue surtout chez les légumineuses à grains tels que le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) qui occupe une place privilégiée dans l'alimentation par leur richesse en protéines et leur valeur nutritive.

L'objectif de ce travail est de voir s'il existe une symbiose mixte- légumineuse (*Phaseolus vulgaris* L) sur deux types différents de sol : un sol issu d'une agriculture biologique et un autre issu d'une agriculture intensive.

Notre hypothèse de départ serait de supposer que le haricot comme les autres herbacées entre en symbiose avec les mycorhizes en plus de la nodulation, et que cette symbiose serait élevée dans le sol biologique que dans le sol intensif.

Pour se faire nous avons partagé notre travail en trois 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 à la discussion des résultats, suivi d'une conclusion.

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

1. LE HARICOT

1.1. Classification du haricot

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

Classification classique	Classification phylognétique
Règne : <i>Plantae</i> .	Clade : <i>Angiospermes</i> .
Sous règne : <i>Tracheobionta</i> .	Clade : <i>Dicotylédones vraies</i> .
Division : <i>Magnoliophyta</i> .	Clade : <i>Rosdées</i> .
Classe : <i>Magnoliopsida</i> .	Clade : <i>Fabidées</i> .
Sous classe : <i>Rosidae</i> .	Ordre : <i>Fabale</i> .
Ordre : <i>Fabale</i> .	Famille : <i>Fabaceae</i> .
Famille : <i>Fabaceae</i> .	Genre : <i>Phaseolus</i> .
Tribu : <i>Phaseoleae</i> .	Espèce : <i>Phaseolus vulgaris</i> .
Sous tribu : <i>Phaseolinae</i> .	
Genre : <i>Phaseolus</i>	
Espèce : <i>Phaseolus vulgaris</i> .	

Nom commun en français : Haricot ;

Nom commun en anglais : French bean, kidney bean, haricot bean, navy bean;

Nom commun en arabe : الفاصوليا .

1.2. Intérêts et utilisation du haricot

1.2.1. Sur le plan nutritionnel

La culture du haricot présente un double intérêt; elle est destinée à la consommation humaine (les gousses ou les graines sont consommés à l'état frais ou les grains à l'état sec) et à l'alimentation des animaux (les résidus de cultures : tige et gousses). En effet, le haricot constitue la base de la ration alimentaire quotidienne pour d'un demi-milliard d'être humains en raison de sa richesse en protéines (environ 25 %) (PUJOLA et *al.*, 2007). Les grains du haricot constituent aussi un complément nutritionnel indispensables pour les régimes alimentaires à base de céréales (riches en méthionine) ou de tubercules amylicés (NZUNGIZE, 2012 ; PUJOLA et *al.*, 2007), en leur apportant un ou plusieurs autres acides aminés essentiels dont, notamment, de la lysine. Outre les protéines, la richesse en vitamines et en minéraux (Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn) du haricot commun permet de lutter contre la malnutrition infantile. Les protéines des grains du haricot sont très proches de celle de la viande de mouton (QUINN, 1999).

1.2.2. Sur le plan agronomique

En tant que légumineuse, le haricot peut s'intégrer dans le système de production biologique qui utilise la bio-fertilisation. A cet effet, il est utilisé avec d'autres légumineuses dans les systèmes des rotations culturales ou associé à d'autres cultures, particulièrement les céréales, afin d'améliorer le statut azoté du sol, de diminuer les coûts de fertilisation et de limiter la pollution (CANADO *et al.*, 2003). Le haricot en tant que légumineuse ;

- ✓ Constitue un bon précédent cultural dans les systèmes de rotation , il peut bien s'installer après les Solanacées, les Cucurbitacées et les Brassicacées et il donne un meilleur rendement s'il est cultivé après l'orge, le blé ou le maïs (CANADO *et al.*, 2003).
- ✓ Possède un système de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique plus performant, du fait qu'il associe cette fixation à la photosynthèse (POCHON, 1981).
- ✓ Favorise le développement des mycorhizes qui améliorent la nutrition phosphatée des plantes lors d'une carence en phosphore, et augmente le degré d'infection des autres plantes par ces micro-organismes (MOZAFAR *et al.*, 2000; JANSA *et al.*, 2002).
- ✓ Apporte des masses importantes des résidus fermentescibles pouvant activer la vie microbienne du sol (ABDENOUR, 1982).
- ✓ Offre une rupture efficace dans le cycle des maladies et des ravageurs des céréales à pailles.

1.2.3. Sur le plan économique

Selon les statistiques publiées par la FAO en 2008, la production mondiale de haricot atteints d'environ 20,4 millions de tonnes en occupant une superficie agricole de 26,47 millions d'hectares dans les régions tempérées et tropicales d'Amérique, d'Europe, d'Afrique et d'Asie.

Sa richesse en protéines, le place parmi les cultures vivrières les plus importantes pour les populations des différents pays du Sud à dominance de terres d'altitude à faible potentialité d'élevage (BROUGHTON *et al.*, 2003 ; NYABYENDA, 2005 ; BLAIR *et al.*, 2006). Bien qu'il soit produit pour l'autoconsommation, sa production contribue à améliorer la sécurité alimentaire et les revenus des paysans dans certains pays du Sud.

Le rendement moyen en haricots secs par hectare en 2008 était cependant plus bas en Afrique 0,61 t/ha qu'en Amérique du Nord et dans l'Union Européenne respectivement 2 t/ha et 1,7 t/ha.

1.2.4. La production du haricot en Algérie

La production nationale de haricot a connu beaucoup de balancement, elle varie de 255230 q_x à 450964 q_x. Cette variation est accompagnée par des fluctuations imprévisibles des rendements de 42,60 q_x/ha en 2000 à 50,6 q_x/ha en 2009, avec un pic enregistré en 2003 de 60,44 q_x/ha, comme il indique le tableau 4.

Tableau 1 : La production nationale en haricot.

Année	Haricot vert			Haricot sec		
	Superficie (ha)	Production (q _x)	Rendement (q _x /ha)	Superficie (ha)	Production (q _x)	Rendement (q _x /ha)
2000	5990	255230	42.6	1280	4190	3.27
2001	6000	295270	49.21	1180	7340	6.22
2002	6400	297500	46.48	1190	8640	7.26
2003	6730	406810	60.44	1560	10960	7.02
2004	7530	411000	54.55	1992	15810	7.93
2005	6928	332650	48.1	9240	6660	5.52
2006	7766	335076	45.72	1496	9145	6.11
2007	8532	413220	48.4	1394	9170	6.6
2008	8622	401208	46.5	1040	5441	5.2
2009	8918	40964	50.6	1616	11588	7.2

Source : FAOSTAT, 2011.

2. LA SYMBIOSE RHIZOBIA-LEGUMINEUSES

2.1. Définition

La symbiose rhizobia-légumineuse consiste en association des bactéries du genre *Rhizobia* et les racines des légumineuses (les *Fabaceae*). Après les mécanismes complexes de reconnaissance entre les deux organismes, il aura la formation des nodosités sur les racines, à l'intérieur duquel la bactérie se différencie en bactéroïde capable de fixer l'azote atmosphérique. L'établissement et le fonctionnement de la symbiose sont sous le contrôle génétique de chacun des deux partenaires (GAGE, 2004).



Figure 1: Nodules formés sur le système racinaire du haricot (*Phaseolus vulgaris*), (ALKMA, 2004)

La fixation biologique de l'azote est effectuée par des microorganismes soit autonomes soit en symbiose avec des plantes supérieures. C'est un processus qui permet de produire des substances protéiques à partir de l'azote atmosphérique, c'est le processus de réduction enzymatique de N_2 en NH_3 (azote ammoniacal, ou ammoniac). Cette forme d'azote combinée représente la fin de la réaction de fixation et le début de l'incorporation de l'azote fixé dans le squelette carboné. Ce processus est comparable à celui de la photosynthèse qui permet de produire des substances glucidiques à partir du CO_2 de l'atmosphère (BERGERSEN, 1966).

2.2. Processus de nodulation

L'établissement de la symbiose est un phénomène complexe, qui se développe à travers une série d'événements et de transformations complexes et ordonnés.

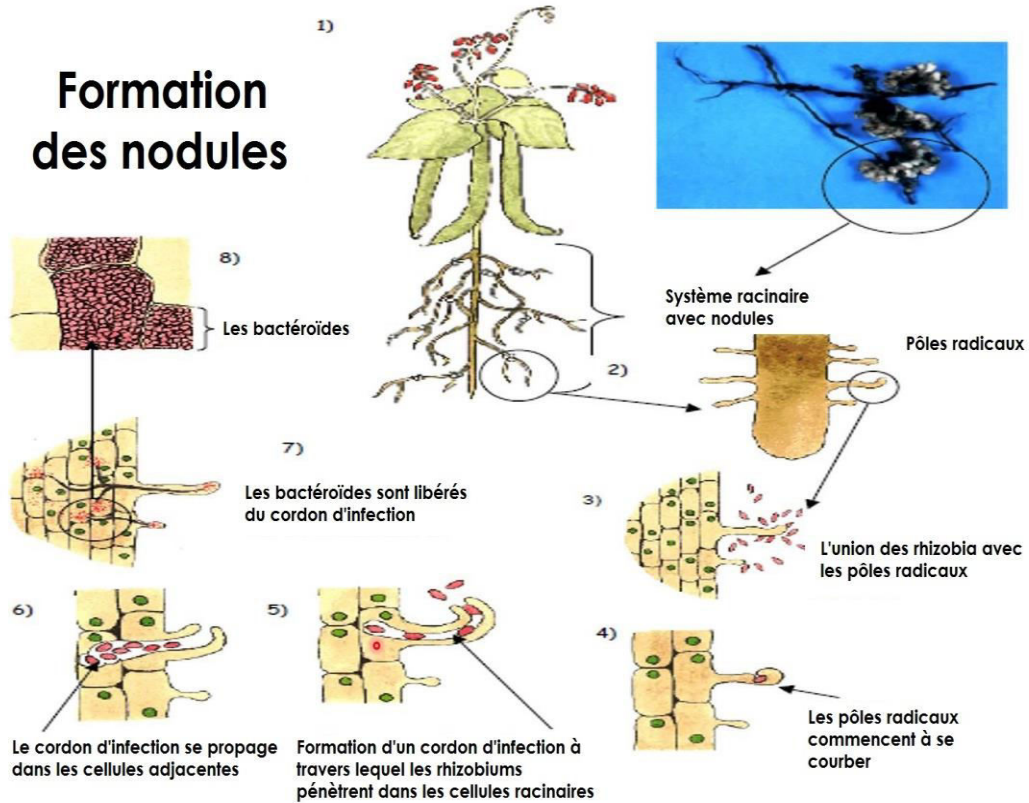


Figure 2: Processus de nodulation (Site web).

2.2.1. Phase de pré-infection

L'interaction entre la plante et la bactérie débute dans la rhizosphère, la croissance des bactéries se fait de manière sélective par la plante (SAVKA et *al.*, 2002) grâce aux exsudats racinaires. Des glycoprotéines de la plante, les lectines, permettent leur adhésion au poil absorbant de la racine qui réagit à la présence de rhizobia par une courbure qui serait provoquée par l'acide indole acétique.

2.2.2. Phase d'infection

Durant cette phase, le rhizobia pénètre à l'intérieur du poil absorbant, il induit le développement d'un cordon d'infection, qui est constitué d'une membrane cytoplasmique contenant un gel mucilagineux dans le quel les rhizobia se multiplient. Le cordon traverse la paroi pecto-cellulosique des cellules végétales ; il croit et se ramifie à l'intérieur du cortex racinaire.

2.2.3. Phase d'initiation des nodules

Les cellules corticales se différencient en méristème. Le transfert d'ADN plasmidique de la bactérie à la cellule hôte interviendrait dans ce processus. La nodosité naît et croît par l'activité de ce méristème. Le cordon d'infection se ramifie tandis que les rhizobia se multiplient (KHAN, 2010 ; ALKAMA, 2010).

2.2.4. Phase de maturation

Durant le stade de maturation, une nodosité fonctionnelle se forme et est capable d'assurer la FSN. Les bactéries, dans le cytoplasme des cellules racinaires de l'hôte, subissent ensuite des changements morphologiques avec une augmentation de la taille déclenchée par les programmes de différenciation de la plante et de la bactérie, donnant naissance à des bactéroïdes fixateurs, qui sont toujours entourés d'une membrane de séquestration et que chaque bactéroïde est maintenu séparément dans le cytoplasme des cellules de l'hôte (FOUCHER *et al.*, 2000).

Parallèlement à cette différenciation, les cellules racinaires de l'hôte augmentent considérablement de taille formant ainsi le tissu central du nodule qui est bien alimenté en sève et contiennent dans leur cytoplasme de la leghémoglobine qui donne à la région centrale de la nodosité de *P. vulgaris* une coloration brunâtre (O'BRAIN *et al.*, 1989). L'endoderme et le péricycle forment des couches concentriques empêchant toute dissémination bactérienne dans le système vasculaire de la plante (BLONDEAU, 1980).

2.2.5. Phase de sénescence des nodosités

La sénescence des nodosités peut être rapidement induite par de nombreux stress et aussi une réponse à des signaux systématiques des feuilles ou une régularisation hormonale, résultant en une activité protéolytiques accrue (PUPPO *et al.*, 1991).

3. MYCORHIZE ET ASSOCIATION MYCORHIZIENNE

En plus des interactions avec les microorganismes dans la rhizosphère, les racines des plantes établissent des relations symbiotiques spécifiques avec certains microorganismes du sol connues sous l'appellation de mycorhizes (DJIGAL, 2003). Ce sont des organismes asexués et symbiontes obligatoires qui vivent à l'intérieur des racines en formant des prolongements mycéliens présents dans le sol (DIEM *et al.*, 1998). Généralement, les mycorhizes stimulent la croissance des plantes hôtes en particulier lorsque les éléments minéraux dans le sol sont en faible quantité.

3.1. Association mycorhizienne

Certains champignons forment des mycorhizes, association mutuelle avec la racine des végétaux supérieurs (SMITH *et al.*, 1997). Cette association est à bénéfice réciproque, elle permet l'amélioration de la nutrition minérale (principalement le phosphore) et hydrique de la plante (PLENCHETTE, 1982 ; WALLANDER *et al.*, 1999 ; CHENA *et al.*, 2005) mais également l'apport en des assimilats photosynthétiques pour les champignons.

La stimulation de croissance des plantes mycorhizées est, en effet, souvent associée à un effet bénéfique des champignons symbiotes sur la nutrition phosphatée des plantes-hôtes (HATCH, 1937; MOUSAIN, 1989; BOLAN, 1991). Les mycorhizes sont capables d'exploiter le phosphate du sol au-delà d'épuisement de la racine et constituent en même temps son site d'accumulation (PLENCHETTE, 1982).

3.2. Les différents types de mycorhizes

Le mycorhize peut se développer, soit à l'extérieur de racine pour former une sorte de structure racinaire très caractéristique visible à l'œil nu (ectomycorhize), soit à l'intérieur des cellules racinaires pour produire des vésicules et des arbuscules (endomycorhize) (MEOTTO, 1996 ; DRENOU, 2006 ; BALZERGUE, 2010). Ce sont les deux principales formes d'associations mycorhiziennes qui sont les plus répandues et les plus étudiées (BRUNDRETT; 2004 ; SMITH *et al.*, 2008).

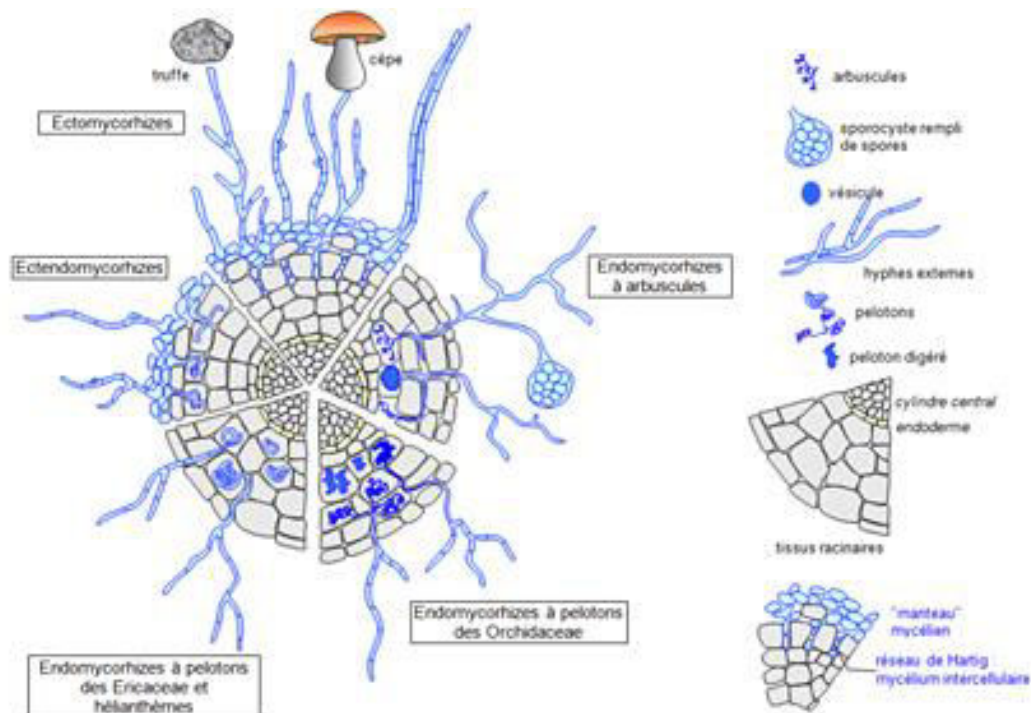


Figure 3: Les différents types de mycorhize.

3.2.1. Les Ectomycorhizes

Appartiennent aux groupes des champignons supérieurs à savoir les Basidiomycètes et les Ascomycètes (MILLER, 1982). Le champignon forme une gaine d'hyphe externe dense sur les racines fines latérales de leurs plantes hôtes. L'hyphe ne pénètre pas dans les cellules de la plante, mais il se développe vers l'intérieur entre les cellules de l'épiderme et du cortex externe pour former le réseau de Hartig (SMITH et *al*, 1997).

3.2.2. Les Endomycorhizes

Sont des champignons microscopiques, non cultivables à l'absence de l'hôte (YAMEOGO, 2009). Le filament mycélien formé se développe à l'intérieur des racines et pénètrent dans les cellules de la paroi pour former des arbuscules microscopiques qui augmentent la surface de contact avec la plante hôte (SMITH et *al*, 1997).

Cette symbiose se trouve dans tous les types de culture : les légumineuses dont le haricot fait partie, les formations à graminées, les cultures en serre et en pleins champs.

Les effets positifs des champignons mycorhizes à vésicules et à arbuscules sur la plante sont attribués à l'intense exploration du sol par les hyphes fongiques pour prélever les éléments minéraux ; un centimètre de racines peut être enveloppé par plus d'un mètre de filaments mycéliens reliés aux arbuscules (DIOP, 1996).

Ce type de mycorhizes est celui qui nous intéressera au cours de cette recherche dont nous présenterons quelques résultats dans le chapitre 3.

Il existe plusieurs types d'endomycorhizes :

- **Les Endomycorhizes éricoïde** : les hyphes forment des pelotons dans des racines transitoires de faible diamètre. elles impliquent des *Ascomycètes* ou *Basidiomycètes* (en symbiose avec les Ericales)
- **Les Endomycorhizes à pelotons intracellulaires** : les hyphes forment des amas dans les cellules corticales. Elles impliquent des *Basidiomycètes*, en symbiose avec les *Orchidacées*. Les hyphes pénètrent à travers la paroi cellulaire à l'intérieur des cellules du cortex racinaire en repoussant la membrane plasmique, sans la traverser. La surface de contact peut être augmentée par la formation des ramifications (ou arbuscules). Les racines ne sont pas déformées.

- **Les Endomycorhizes à arbuscules ou arbusculaires** : c'est le type le plus répandu à la surface du globe. Ils se sont adaptés à de nombreux environnements et différentes plantes hôtes. Ils peuvent former des associations mutualistes avec les racines fines d'environ 80 % de toutes les plantes terrestres (SMITH et *al*, 1997) ligneuses, herbacées, les mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes plusieurs conifères et la majorité des plantes à fleurs, mono et dicotylédones.

Le champignon mycorhizien à arbuscule forme plusieurs structures à l'intérieur des racines, principalement des arbuscules, des vésicules des spores et des hyphes non spécialisés (TOMMERUP, 1984).

- ✓ **Spore** : organe de stockage et de propagation des CMA. Elle germe et donne naissance à des filaments mycéliens (HARLEY et *al*, 1983; BONFANTE-FASOLO, 1984 cité par HAMZA, 2014)
- ✓ **Arbuscule** : Structure formée à l'intérieur des cellules racinaires des plantes (lieu d'échange entre la plante hôte et le CMA).
- ✓ **Vésicule** : structure de stockage à paroi fine, à contenu lipidique qui apparaît généralement dans les espaces intercellulaires (HAMZA, 2014).
- ✓ **Hyphe extra-radiculaire** : est l'un des organes de propagation qui peut coloniser une plante autre que la plante dont il est issu.

3.2.3. Les Ectendomycorhizes

C'est un type de mycorhize qui procède à la fois des ectomycorhizes et des endomycorhizes, autrement dit que c'est un type de mycorhize où les hyphes forment un manteau fongique autour de la racine et pénètrent aussi dans les cellules corticales.

4. ENDOPHYTES

4.1. Généralités sur les endophytes

La définition la plus couramment utilisée pour décrire les endophytes est celle de PETRINI (1991), qui définit les endophytes comme étant tous les microorganismes vivant dans les organes végétaux interne à un certain moment de leurs vie et peuvent coloniser les tissus végétaux internes sans causer de dommage apparents chez l'hôte (HYDE *et al.*, 2008).

En 1866, ANTON DE BARY, inventa le terme endophytes (MORICCA *et al.*, 2008), qui est composé de deux mots grecs, endon signifiant "au sein" et phyton désignant "plante" (STANIEK *et al.*, 2008), et qui désignait tout organisme survenant dans les tissus de plantes (HYDE *et al.*, 2008).

Les champignons sont les microorganismes les plus fréquemment isolé en tant qu'endophytes (STROBEL *et al.*, 2004), ce sont des champignons qui peuvent croître de façon intra et/ou intercellulaires (PIMENTEL *et al.*, 2011) dans les tissus internes des plantes, sous la couche des cellules épidermiques (MORICCA *et al.*, 2008), sans causer aucun symptôme apparent chez l'hôte (VEGA *et al.*, 2008). Leurs façons de croître asymptomatiquement dans les tissus de plantes a induit que leurs relations avec l'hôte était de l'ordre du mutualisme et de la symbiose mais leur biodiversité suggère qu'ils peuvent être également des saprophytes ou des pathogènes opportunistes (STROBEL *et al.*, 2004).

4.2. Interaction endophyte - hôte

Les endophytes possèdent différents modes de vie, donnant différentes interactions qui sont variables d'un endophyte à un autre et d'un hôte à un autre (ZABALGOGEAZCOA, 2008), elles dépendent des facteurs abiotiques, des interactions avec d'autres espèces, de la géographie et de la phylogénie (SAIKKONEN *et al.*, 1998), et varient de l'antagonisme au mutualisme, c'est pour cette raison que la gamme d'interactions endophyte-hôte est considérée comme un continuum (ZABALGOGEAZCOA, 2008).

La nature de l'interaction entre hôte et endophyte change selon la façon de transmission de ce dernier, elle sera une interaction mutualiste si la transmission est verticale par croissance dans les graines et sera plus hostile si le champignon est transmis horizontalement par les spores (SAIKKONEN *et al.*, 1998), à cause de l'arrêt de production de semences de l'hôte provoqué par l'endophyte antagoniste (SCHARDL *et al.*, 2004).

4.3. Rôles des champignons endophytes

Les champignons endophytes reçoivent la nutrition, la protection, et la possibilité de se propager grâce à leurs hôtes (CLAY *et al.*, 2002); et en retour la plante hôte bénéficie aussi de certains avantages procurés par l'endophyte.

4.3.1. Rôles physiologiques des champignons endophytes

Les plantes sont constamment menacées par une variété d'agents tels les champignons, bactéries et virus, les herbivores et les insectes. Cependant, les plantes possèdent un vaste arsenal inductible et constitutif de mécanismes de défense contre ses agents, dont les obstacles structurels qui se renforcent rapidement lors du processus d'infection (cire, lignine, cellulose, composés phénoliques et des protéines de la paroi cellulaire) sont le type le plus performant de défense.

Les plantes abritant des champignons endophytes sont protégées aussi contre ces agents par la contribution de ces endophytes. Divers mécanismes de lutte sont utilisés par ses derniers.

4.3.2. Rôles des endophytes dans la tolérance aux stress abiotiques

Plusieurs études ont démontré que les plantes associées à des champignons endophytes ont été plus tolérantes a la sécheresse, la chaleur, la toxicité des métaux et à une salinité élevée (LEWIS, 2004; RODRIGUEZ *et al.*, 2004; WALLER *et al.*, 2005).

Chapitre 2

Matériel et méthodes

1. MATERIEL D'ETUDE

1.1. Le haricot

Le matériel végétal utilisé est représenté par trois variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) qui sont : Contender, El Djadida et Tema.

- La variété **Contender (C)** : est une variété rustique, productive, résistante au virus de la mosaïque du haricot (BARGAZ, 2012), 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 présenterait une bonne nodulation quand les sols sont peu fertiles. Ce qui justifierait le surnom de «4x4» donné par les agriculteurs à cette lignée. 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.

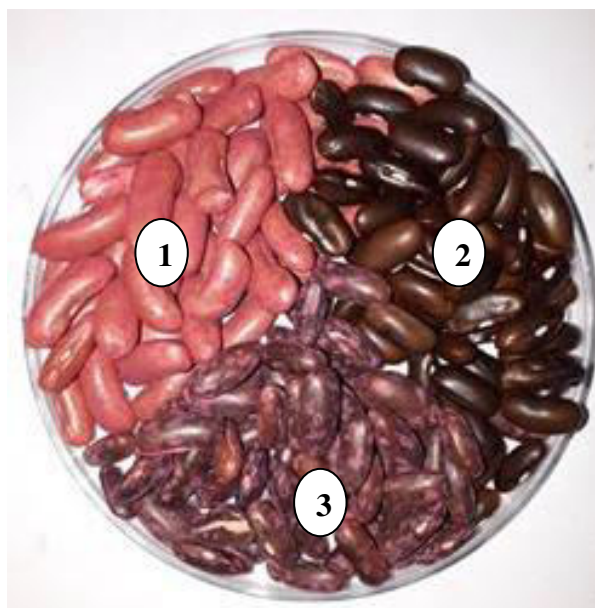


Figure 4 : Les grains de haricot utilisés

- 1 Variété Contender
- 2 Variété El Djadida
- 3 Variété Tema

1.2. Le sol

Les échantillons du sol utilisés dans notre expérimentation ont été prélevés à partir de deux stations (figure 5) : une à Ifehounène (Sol issu d'une agriculture biologique) et l'autre à Tadmaït (Sol issu d'une agriculture intensive).

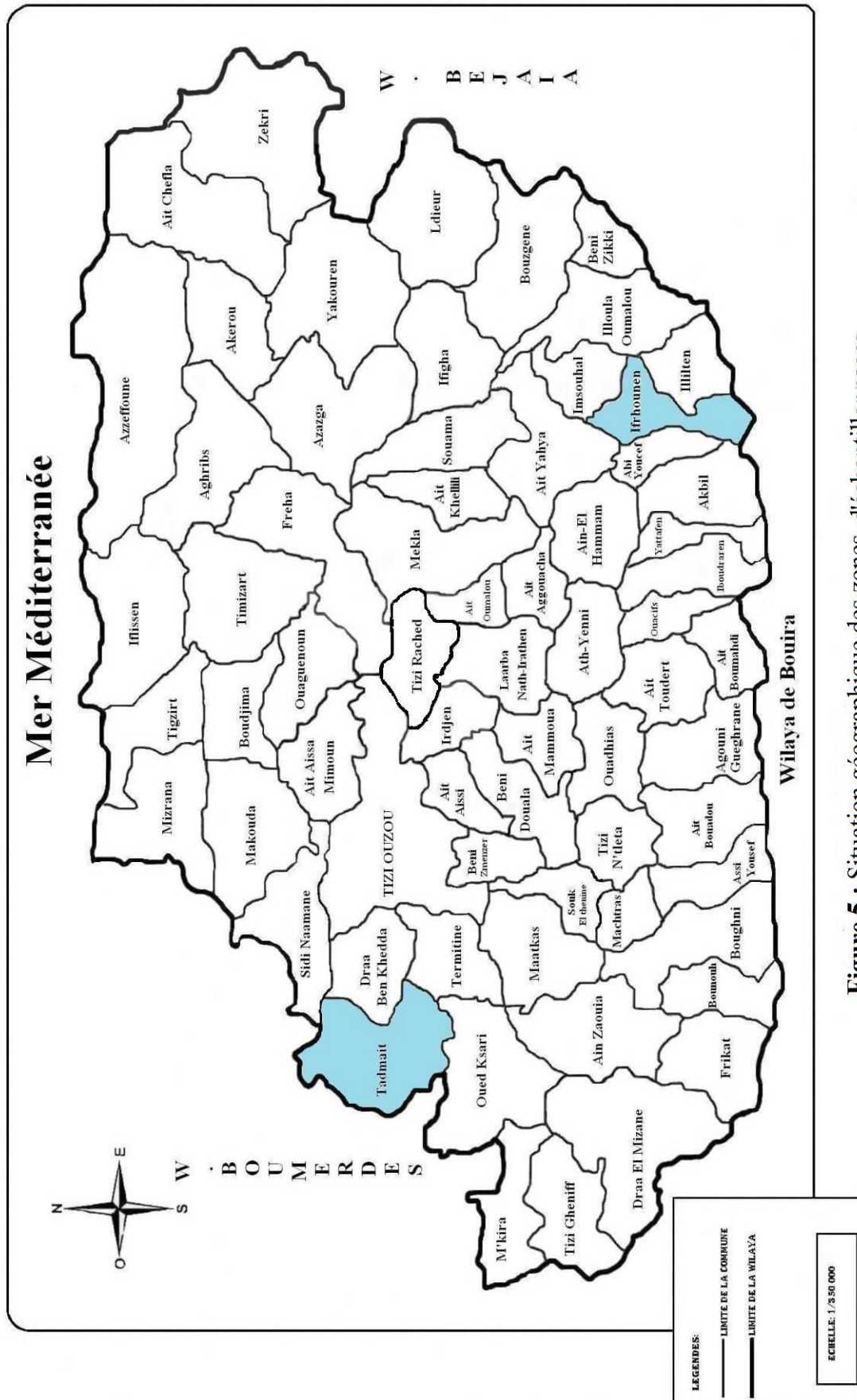


Figure 5 : Situation géographique des zones d'échantillonnages

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 à un tamis de 2 mm de diamètre.

2. Méthode d'étude

2.1. 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 Mouloud MAAMERI. Nous avons utilisé des tubes en PVC de 2 cm de diamètre 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 car nous n'avons pas une 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 utilisée 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 Whatman 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 1h pour détruire les microorganismes présents.

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 produits phytosanitaires n'a été appliqué.

Nous tenons à souligner que nous avons effectué, au préalable; un test de germination sur les trois variétés étudiées et il était de 100 %. Malheureusement, nous avons perdu quelques plants au cours de notre expérimentation, suite aux différents problèmes techniques rencontrés.

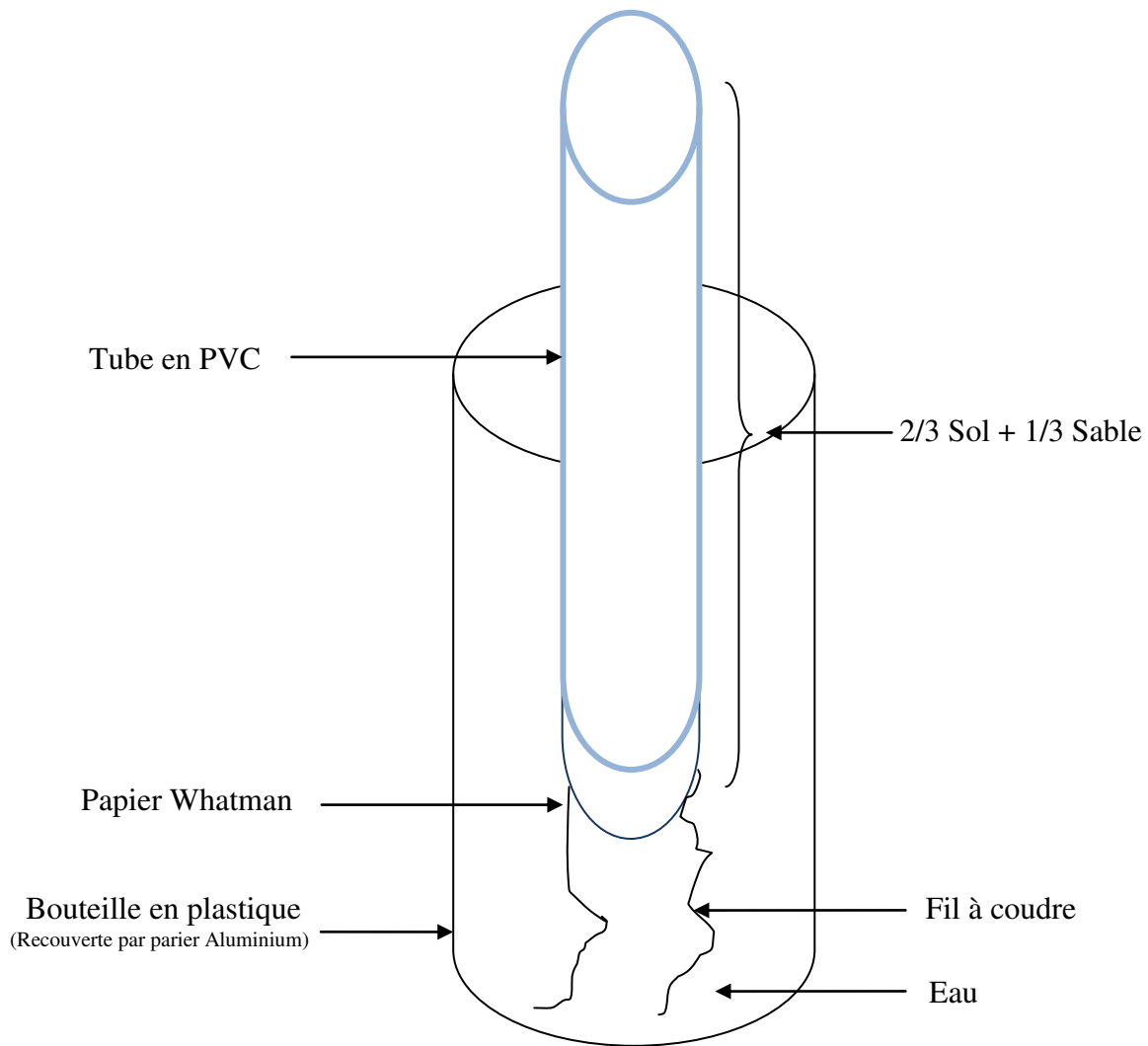


Figure 6 : Schéma d'un modèle d'échantillon utilisé dans notre expérimentation.



Figure 7 : Dispositif expérimental utilisé.

Le dispositif expérimental est schématisé de la manière suivante :

1^{er} essai : Sol intensif de Tadmaït, noté E6

1^{er} lot : destiné à recevoir la variété Contender



2^{ème} lot : destiné à recevoir la variété El-Djadida



3^{ème} lot : destiné à recevoir la variété Tema



2^{ème} essai : Sol biologique d'Iferhounène, noté E13

1^{er} lot : destiné à recevoir la variété Contender



2^{ème} lot : destiné à recevoir la variété El-Djadida



3^{ème} lot : destiné à recevoir la variété Tema



Chaque lot, des deux essais, présente une répétition destinée à l'observation microscopique

Il faut noter que :

- ✓ le semis est effectué de la même manière pour tous les tubes, dont la profondeur de semis est égale à deux fois le diamètre de la graine ($2 \times \emptyset$).
- ✓ les cultures sont semées en mi-mai et récoltées après floraison (durant un cycle végétatif d'environ 30 jours).

2.2. Analyses de sol

Avant de procéder aux analyses physiques et chimiques, les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre, puis tamisés avec un tamis à mailles de 2 mm de diamètre, homogénéisés et conservés dans un endroit sec.

- **L'analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique a été effectuée par la méthode internationale avec l'emploi de la pipette de Robinson, elle consiste à :

- ✓ détruire la matière organique avec l'eau oxygénée ;
- ✓ disperser l'argile enrobant les particules par l'Héxamétaphosphate de sodium et par agitation mécanique ;
- ✓ effectuer des prélèvements à des profondeurs et à des moments précis pour isoler les éléments non tamisables, argile, limons fins et grossiers ;
- ✓ séparer par tamisage les sables grossiers et fins (SOLTNER, 1990).

➤ **Texture**

L'analyse granulométrique permet de classer les particules minérales constitutives des agrégats en un certain nombre de fractions par catégories de diamètre en supposant que les particules minérales sont sphériques.

L'association internationale de science du sol a adopté en 1926 l'échelle d'Atterberg qui classe les particules constituant la terre fine (inférieure à 2mm) de la façon suivante :

- argile $< 2 \mu$;
- limons fins 2 à 20 μ ;
- limons grossiers 20 à 50 μ ;
- sables fins 50 à 500 μ ;
- sables grossiers 500 μ à 2000 μ (2 mm).

L'analyse granulométrique permet de classer les sols d'après leur texture et de définir les possibilités d'adaptation des cultures aux différents sols (JACQUES LAMBERT).

- **pH**

Le pH a été réalisé selon la méthode électrométrique à l'aide d'un pH mètre portant une électrode en verre, sur une suspension de terre fine dont le rapport sol / terre est de 1/2,5.

- **Conductivité électrique (C.E)**

La conductivité électrique est la conductance spécifique d'une solution entre deux électrodes. Elle mesure donc la salinité globale des solutions ou extraits des sols en utilisant un appareil appelé conductimètre dont l'extrait de sol est dilué selon un rapport terre/eau de 1/5. Elle est donnée par la formule :

$$CE_{(ds/m \text{ à } 25^{\circ}C)} = (C / K) \times f(t)$$

K : constante d'étalonnage du conductimètre,

r : résistivité en m ohm / cm,

C : conductance spécifique mesurée en mmhos ou ms,

CE : conductivité électrique en ds/m.

f (t) : facteur correctif tenant compte de la température de l'extrait de sol.

- **Calcaire total (CaCO₃ t):**

Le dosage de calcaire total se fait par attaque du carbonate de calcium contenu dans l'échantillon de terre par l'acide chlorhydrique, selon la réaction suivante :



Le dosage de calcaire total a été réalisé selon la méthode volumétrique qui consiste à titrer l'excès d'acide chlorhydrique par de la soude.

La connaissance du calcaire total est insuffisante : son aptitude à être dissout par les acides du sol, son « activité » dépend de sa dureté et de sa finesse. Dès que le taux de calcaire atteint 5 à 6 %, il devient nécessaire de calculer son activité (SOLTNER).

- **Le carbone et la matière organique**

Le carbone organique (%) est dosé par la méthode Anne, dont il est oxydé par du bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en excès, en milieu sulfurique. L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de mohr (qui réduit les bichromates) en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au vert. Une fois que la fraction du carbone total sera connue cette dernière sera utilisée pour calculer le taux de la matière organique selon la formule :

$$MO \% = C \% \times 1,72$$

2.3. Mesures biométriques

Le stade de pleine 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.

2.4. Analyses microscopiques

Suivant la méthode de VIERHEILIG *et al* (1998), les racines ont été colorées afin de déterminer le taux de mycorhization. Pour cela, elles ont été d'abord éclaircies dans une solution de KOH à 10 % pendant une durée d'incubation de 20 minutes à 90 °C. Elles ont été par la suite rincées à l'eau distillée froide avant de les plonger dans une solution de coloration acidifiée (5% d'acide acétique et 5% d'encre Shaeffer). Enfin, les racines ont été laissées pendant 24h dans une solution acidifiée (acide acétique 2%) pour décolorer les tissus racinaires. Seules les parois des champignons mycorhiziens retiennent le colorant grâce à leurs composés chitineux.

Trente fragments (d'environ 1cm) pour chaque système racinaire ont été établis entre lame et lamelle, afin d'être observés sous microscope photonique. Le taux de colonisation a été donné par la relation suivante :

$$M\% = Myco = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / Nb \text{ total} = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / 30$$

3. Analyses statistiques

Afin d'évaluer l'impact de la symbiose mixte-légumineuse sur les deux types de sol, sol biologique et sol intensif, nous avons procédé aux analyses statistiques réalisées à l'aide du logiciel STATBOX version 6.

Les paramètres étudiés sont testés à l'aide de l'analyse de la variance multi-way ANOVA. Les moyennes sont comparées grâce au test de comparaison de moyennes (test NEWMAN et KEULS) à un seuil de probabilité de 0.05.

Chapitre 3

Résultats et discussion

1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Les résultats des analyses physiques et chimiques de nos sols sont représentés dans le tableau 2 et sont interprétés selon le Mémento de l'agronome (1993) (Annexe 3). En examinant le tableau des résultats, il en découle ce qui suit :

D'après le triangle de texture, les résultats de l'analyse granulométrique indiquent que le sol de la station E-13 présente une texture limono-argileuse et que le sol de la station E-6 indique une texture argileuse. Selon CHAUX *et al* (1994), le haricot craint les sols franchement limoneux battants et asphyxiants qui sont défavorables à la germination et à la levée.

Le pH et le calcaire du sol de la station E13 est de 6.34, donc légèrement acide avec un taux de calcaire nul. Sachant que le calcaire et le pH sont intimement liés, cette légère acidité peut s'expliquer par le taux zéro de calcaire et un début de désaturation du complexe argilo-humique, c'est-à-dire, perte progressive des cations notamment Ca^{2+} (SOLTNER, 2005). En règle générale le pH s'abaisse, en raison de l'émission de protons par les racines lors de l'absorption des cations (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+). (DUCHAUFOR, 2001). Pour la station E6, le pH est de l'ordre de 8.02. Il est, donc, moyennement alcalin et le calcaire est de 10.94 % et par conséquent, faiblement calcaire. Contrairement au sol précédant, ce sol serait saturé en bases, notamment en Ca^{2+} suite à sa richesse en calcaire total qui se serait formé, vraisemblablement sur roche calcaire (DUCHAUFOR, 2001) et qui au cours des années aurait subi le phénomène de décarbonatation donc saturation du complexe en Ca^{2+} . Une autre explication sur les valeurs obtenues de pH et de CaCO_3 serait que ce sol est issu d'une agriculture intensive et qu'il serait riche en intrants contrairement au sol E13 qui est issu d'une agriculture biologique et par conséquent pas d'intrants chimiques.

La diminution de taux de CaCO_3 au niveau du sol pourrait s'expliquer par la solubilité des carbonates de calcium, au voisinage immédiat de la racine provoquée par la pression partielle de CO_2 libéré lors de respiration des racines (NYE, 1986 ; HINSINGER, 1998).

La conductivité électrique de nos échantillons varie entre 0.123 et 0.164 ds/m. La plus grande valeur se note au niveau du sol de la station E6 et la petite valeur se note au niveau du sol de la station E13. Selon les normes d'interprétation, on peut conclure que nos sols sont non salés. La non salinisation de nos sols signifie la non accumulation des sels, elle peut être justifiée par l'origine de la roche mère, l'irrigation et la fertilisation raisonnée.

Les teneurs en carbone organique des sols E6 et E13 sont de 0.67 et 1.60 % respectivement ce qui signifie que le sol E6 est très pauvre en matière organique, et que le sol E13 est moyennement pourvu en matière organique, mais reste toujours faible.

En se référant aux normes d'interprétation, on constate que cette teneur est située au milieu de la fourchette souhaitable, le sol donc est 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.

Les caractéristiques physique et chimiques sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Résultats des analyses des sols utilisés

Eléments	Unités	Teneurs		Méthodes de dosage
		Tadmait (Station E6) (Sol à agriculture intensive)	Iferhounène (Station E13) (Sol à agriculture biologique)	
Granulométrie				Pipette de Robinson
Argile	%	43.50	35.50	
Limons	%	35.90	20.50	
Sable	%	20.60	44.00	
Texture	-	Argileuse	Limono-argileuse	
pH	–	8.02	6.34	pH-mètre
CE	ds/cm	0.164	0.123	Conductimètre
Carbone	%	0.67	1.60	Anne
Matière organique	%	1.16	2.75	Anne
Calcaire total	%	10.94	Négligeable	Volumétrique

2. Les mesures biométriques sur le haricot

Après un cycle végétatif d'environ 30 jours, des mesures biométriques sur la haricot ont été réalisés.



Figure 8 : Haricot au stade de croissance

2.1. Résultats des mesures biométriques

- Nombre de Nodules

Selon les résultats obtenus, on remarque qu'au niveau du sol E6, le nombre de nodules varie entre 60 et 121 nodules par plant, dont le nombre le plus élevé est observé chez la variété **T** et le nombre le plus faible chez la variété **C**. Ainsi qu'au niveau du sol E13, on note une égalité de nombre des nodules pour les variétés **Dj** et **T** (81 nodules), dont le nombre de nodules est plus élevé chez la variété **C** (111 nodules). Par contre, le taux de nodulation est nul pour les témoins des deux sols.

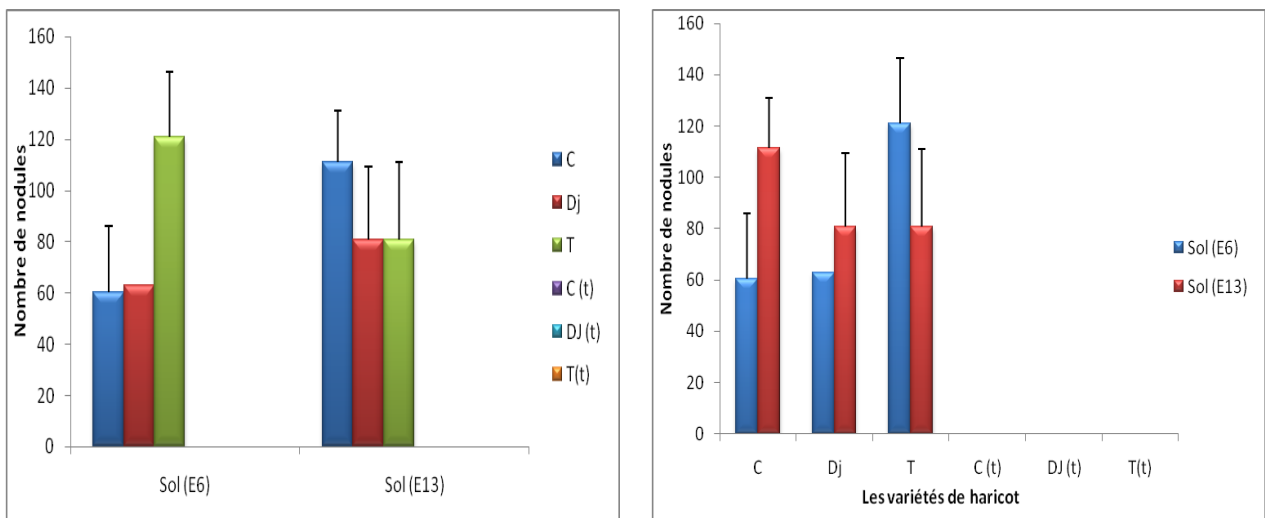


Figure 9 : Variation de nombre de nodules en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.

L'analyse statistique des résultats montre une différence non significative du facteur sol (Seuil > 5%) et une différence très hautement significative (Seuil < 1‰) de facteur variété, cette analyse nous a permis de révéler une interaction sol-variété d'une différence très hautement significative (Annexe 4).

D'après le test de NEWMAN-KEULS, on note que l'effet du facteur variété et le facteur sol-variété agissent indépendamment sur le nombre de nodules. Parallèlement, trois groupes homogènes ont été déterminés avec la meilleure variété **T** pour la variance F1 ainsi que la variété **T** sol **E6** et la variété **C** sol **E13** pour la variance interaction F1×F2.

- **La biomasse nodulaire sèche (BNS)**

D'après la figure 10, on constate que la BNS des différentes variétés de haricot, varie entre 0.02 et 0.11 g, elle est plus élevée chez la variété **Dj** sur les deux sols.

L'analyse de la variable BNS affirme que le facteur sol ne présente pas une différence significative et le facteur variété présente une différence très hautement significative. Notons aussi l'existence d'une interaction entre les deux facteurs (Annexe 4).

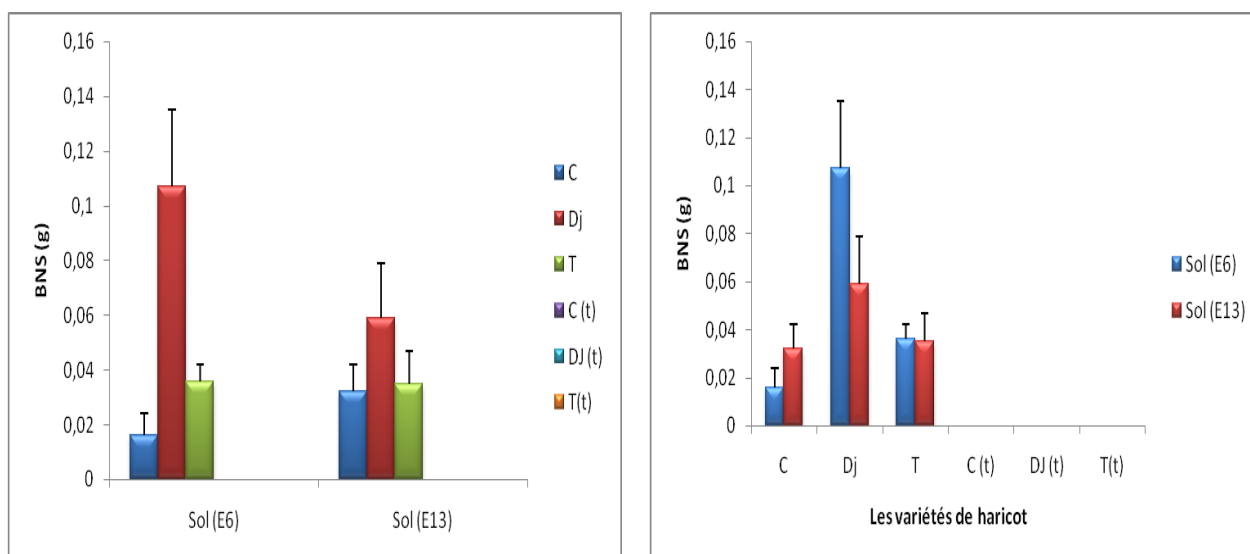


Figure 10 : Variation de la biomasse nodulaire sèche en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.

Le test de NEWMAN-KEULS montre que l'effet du facteur variété agit séparément sur la variable BNS, dont trois groupes homogènes ; groupe A pour la variété **Dj**, groupe B pour les variétés **C** et **T** et le dernier groupe pour les témoins. Parallèlement l'interaction sol-variété agit pour former quatre groupes homogènes ; groupe A, B, C et D.

• **La biomasse racinaire sèche (BRS)**

Au niveau des deux sols, nous avons remarqué une augmentation de la BRS des échantillons par rapport à celle des témoins à l'exception de la variété **T** qui présente une égalité de biomasse avec son témoin (Figure 11).

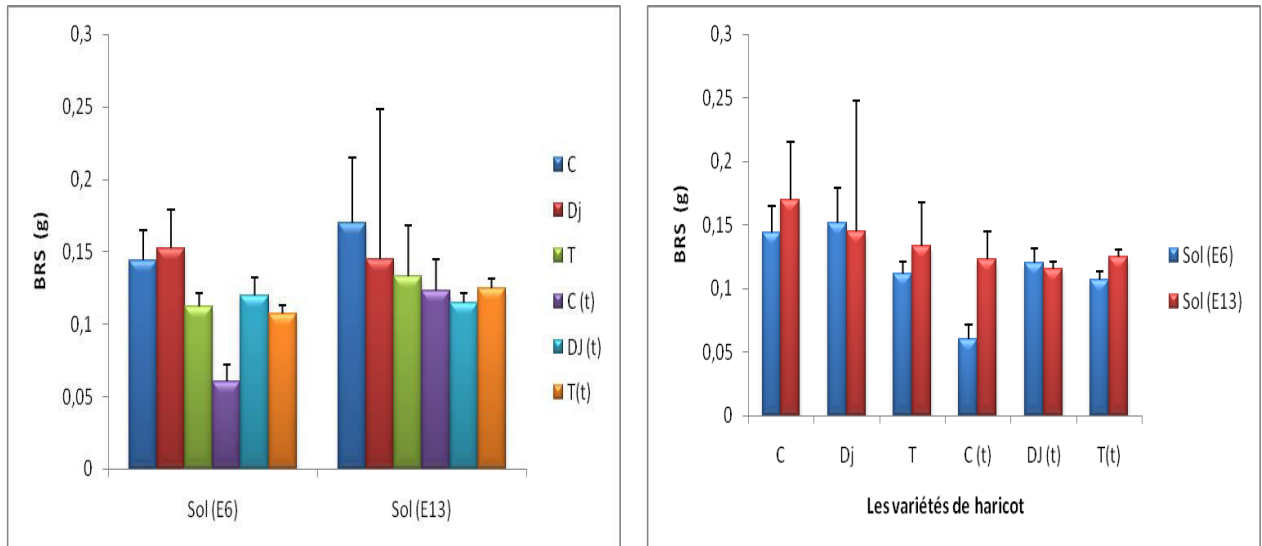


Figure 11 : Variation de la biomasse racinaire sèche en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.

L'analyse statistique des résultats de la variable BRS confirme que le facteur sol présente toujours une différence non significative (Seuil > 5%) et le facteur variété montre une différence significative (Seuil ≤ 5%, Annexe 4).

Selon le test de NEWMAN-KEULS, on note que l'effet du facteur variété agit indépendamment sur la biomasse racinaire sèche. Parallèlement, deux groupes homogènes ont été déterminés (Annexe 4).

• **La biomasse aérienne sèche (BAS)**

Les plantes enregistrent des BAS variables avec des valeurs de l'ordre de 0,45 g et 0,65 g pour les trois variétés, par ailleurs les plants témoins montrent une diminution des BAS (Figure 12).

L'analyse statistique des résultats révèle pour ce paramètre une différence significative pour le facteur sol et une autre très hautement significative pour le facteur variété (Annexe 4).

Le test NEWMAN-KEULS, révèle deux groupes homogènes pour le facteur sol et de trois groupes pour le facteur variété (Annexe 4).

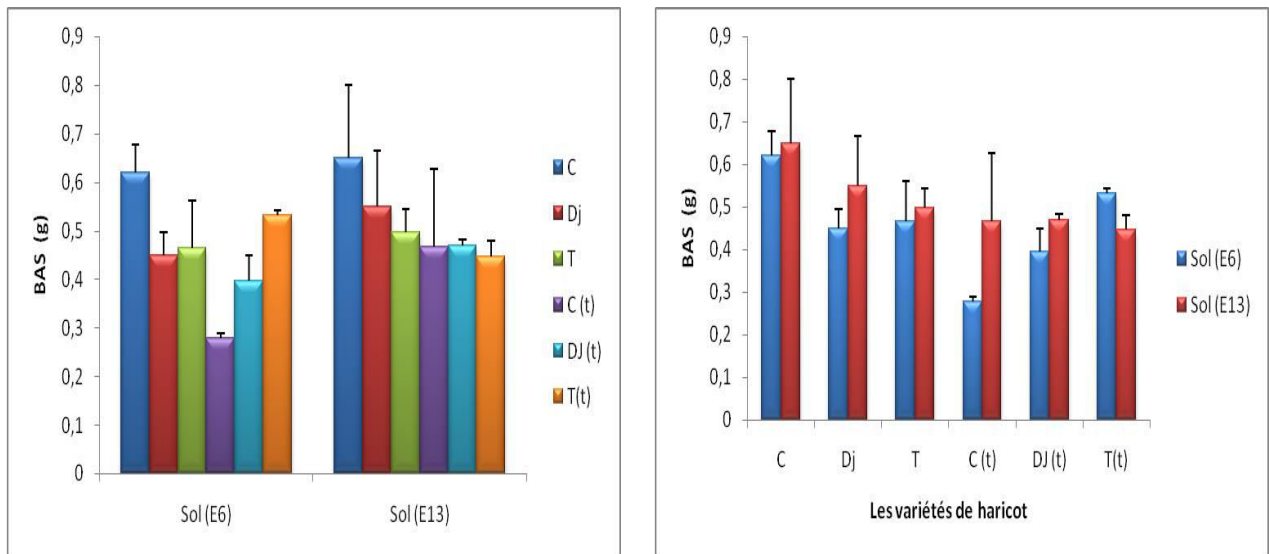


Figure 12 : Variation de la biomasse aérienne sèche en fonction des variétés de haricot et de sol , les données représentent la moyenne de 04 répétitions.

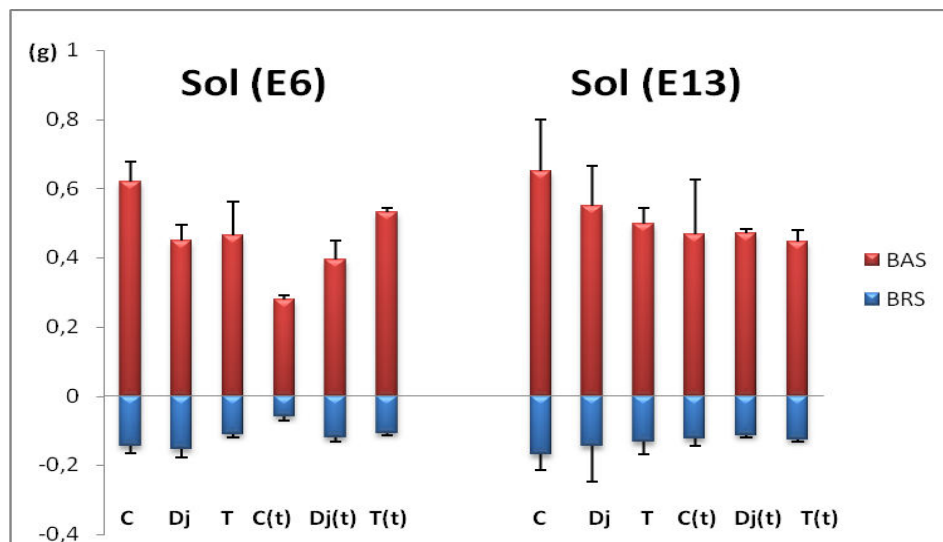


Figure 13 : Variation BRS et BAS en fonction des variétés de haricot et de sol, les données représentent la moyenne de 04 répétitions.

2.2. Discussion

• Nodosités

Pour le taux de nodulation, le sol issu d'une agriculture biologique a permis d'obtenir des taux élevés par rapport à celui issu d'une agriculture intensive. Ce qui confirme notre hypothèse de départ. En effet, Il a été démontré qu'une forte teneur en azote minéral dans le sol provoque une diminution de nodule et une diminution de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique chez les légumineuses (GENTILI et al., 2003; OUNANE, 2004 ; GENTILI et al., 2006; ALKAMA et al., 2009). RASON (2015), a souligné l'importance de la présence de P dans le sol

sur l'établissement et le fonctionnement des symbioses fixatrices d'azote. Aussi, il a été déjà rapporté qu'une bonne nodulation du haricot est toujours observée avec des bactéries performantes et en présence de P (LOF *et al.*, 1990; FAO, 2004 ; MIAO *et al.*, 2007).

Nous tenons à souligner au passage, que faute de moyens et de temps nous n'avons pu effectuer plus d'analyse.

Concernant les témoins, le fait de ne pas avoir des nodosités peut être justifié par la destruction totale des bactéries symbiotique suite à la stérilisation des sols avec un autoclave.

- **Biomasse sèches**

D'après les figures (11, 12 et 13), les biomasses sèches des différentes variétés de haricot récoltées d'un sol issu d'une agriculture biologique sont plus élevées que celles récoltées du sol issu d'une agriculture intensive et des plants témoins. Cette augmentation de la biomasse racinaire sèche peut être justifiée par l'insuffisance de P dans le sol, DJADJAGLO *et al* (2008) notent que sous déficience en phosphore, la biomasse racinaire développée chez le haricot devient plus importante que celle développée sous suffisance en P.

Les résultats obtenus par LATATI (2012), montrent que les effets de la déficience en phosphore se manifestent par une diminution de la biomasse sèche de la partie aérienne. A noté que, la biomasse sèche de la partie aérienne est un paramètre important pour l'évaluation de la sensibilité des légumineuses à la déficience en phosphore (VADEZ *et al.*, 1996 ; PAN *et al.*, 2008 ; ALKAMA, 2010).

Selon GUISSON *et al* (2001), Les champignons mycorhiziens arbusculaires assurent à la plante hôte une bonne nutrition minérale qui permis ainsi une meilleure croissance et un bon développement des parties aériennes.

3. Etude microscopique

3.1. Taux de myorhization

Afin de déterminer le taux de colonisation des racines par les mycorhizes, des observations microscopiques ont été effectuées.

- Série 1 : Observation microscopique des échantillons de sol E6

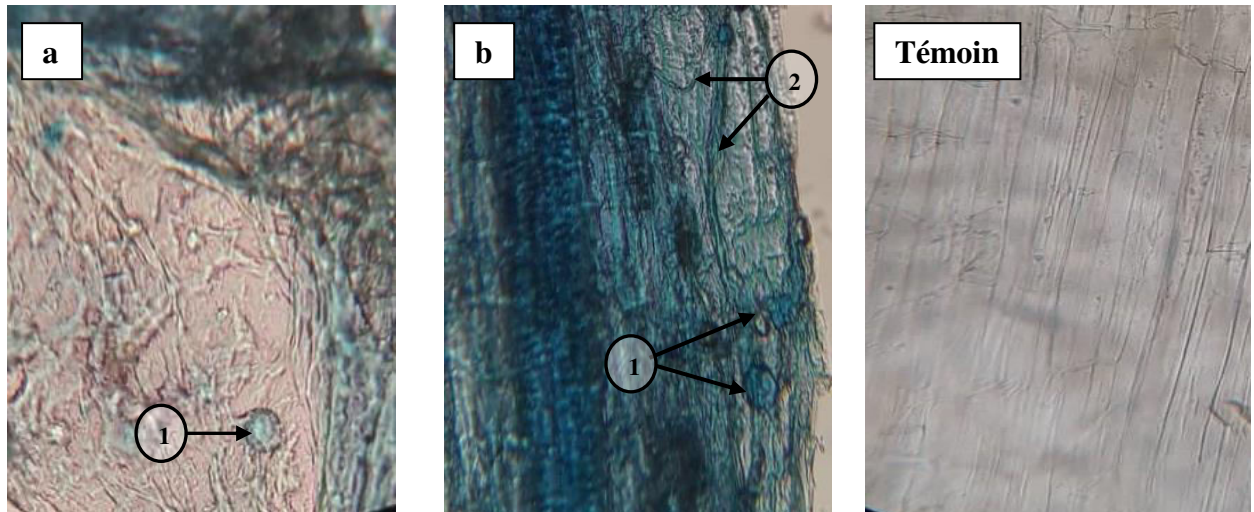


Figure 14 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de la Contender à grossissement x40 (a et b présentent des échantillons observés de C), (Original, 2018).

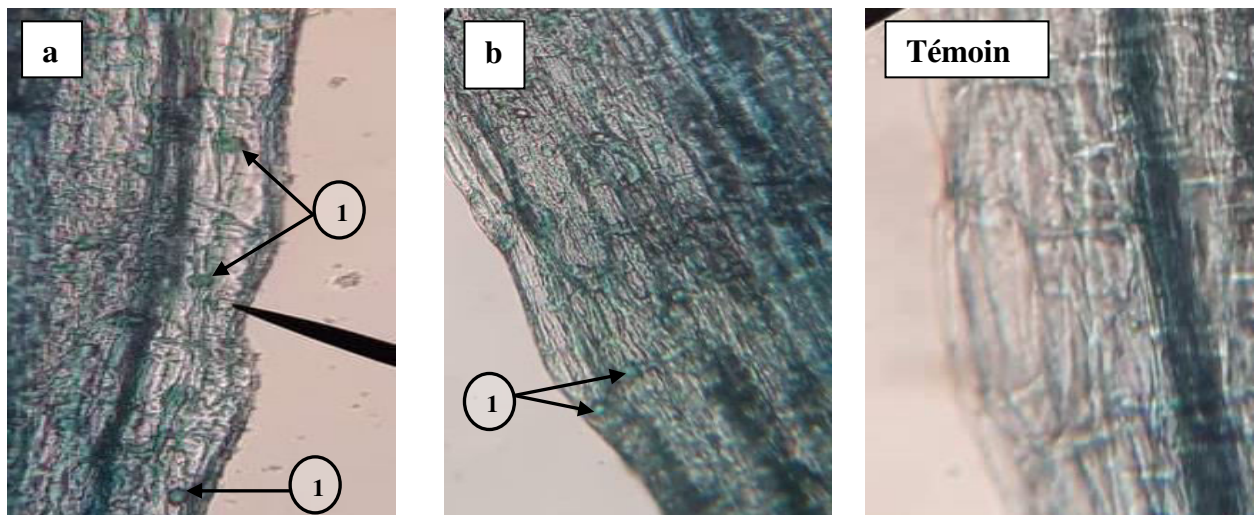


Figure 15 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines d'El-Djadida à grossissement x40 (a et b présentent des échantillons observés de Dj), (Original, 2018).

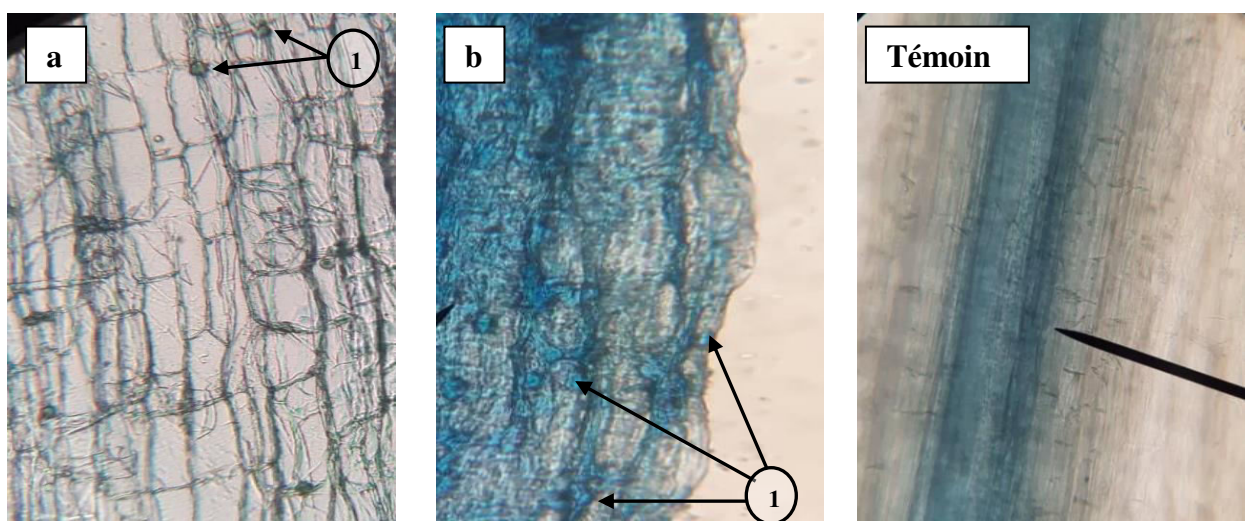


Figure 16 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de la Tema à grossissement x40 (a et b présentent des échantillons observés de T), (Original, 2018).

- Série 2 : Observation microscopique des échantillons de sol E13

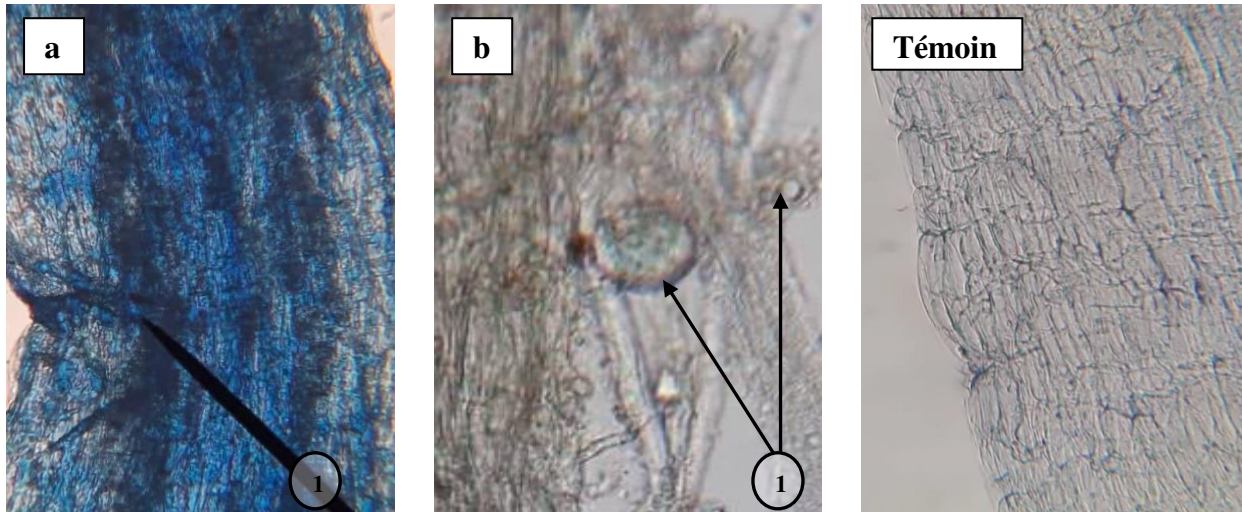


Figure 17 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de la Contender à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de C), (Original, 2018).

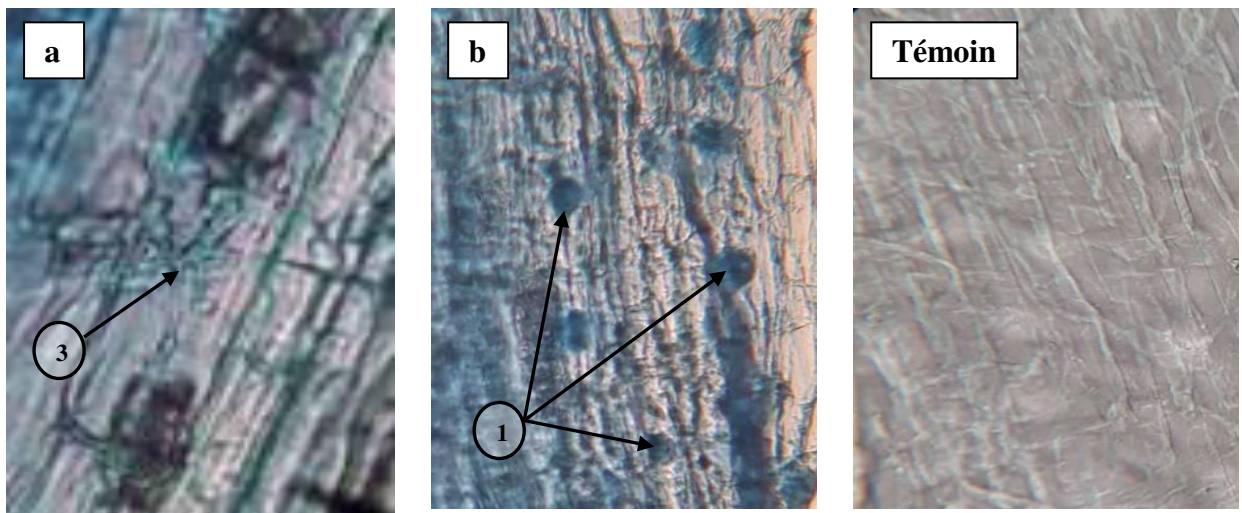


Figure 18 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines d'El-Djadida à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de Dj), (Original, 2018).

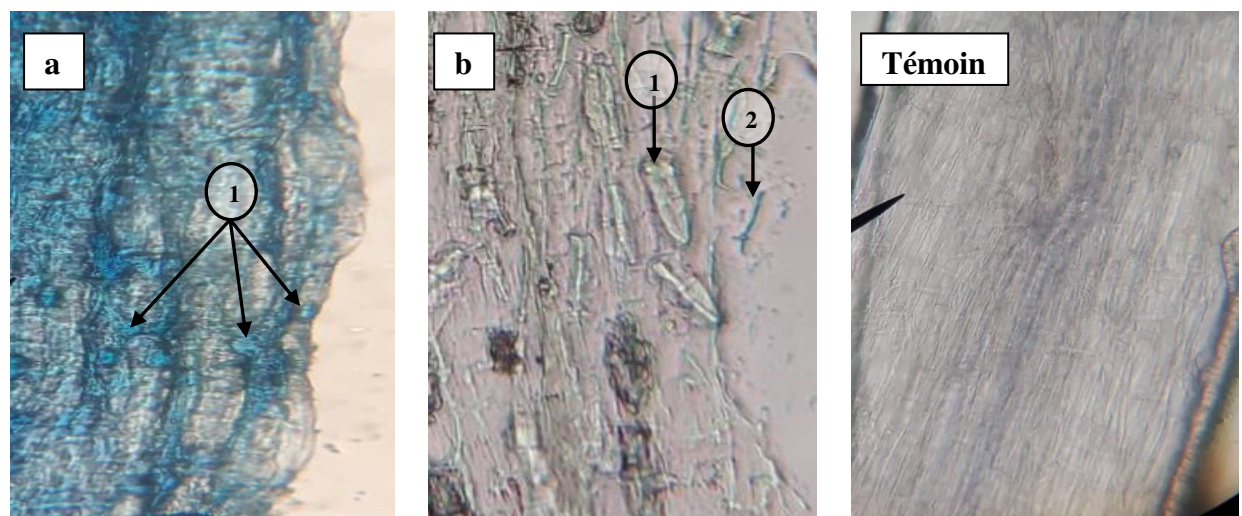


Figure 19 : Observation microscopique des mycorhizes au niveau des racines de la Tema à grossissement x 40 (a et b présentent des échantillons observés de T), (Original, 2018).

D'après la série 1 (figures 14, 15 et 16), on remarque que les taux de la colonisation mycorhizennes des racines de haricot semis sur le sol E6 sont faibles pour les trois variétés **C**, **Dj** et **T**, sont respectivement de l'ordre de 12.5, 13.07 et 10.87%. Par contre sont plus élevés au niveau des racines des trois variétés **C**, **Dj** et **T** semis sur le sol E13, sont respectivement de l'ordre de 18.17, 18 et 28.87 %, comme le montre la série 2 (figures 17,18 et 19). Notons aussi, que le taux de colonisation mycorhizienne est nul pour tous les témoins, ce qui est déjà indiqué par les résultats de l'analyse biométrique.

Les deux séries présentent des vésicules de *Glomus* (ce qui est représenté par le 1), des mycéliens intercellulaires (représenté par le 2) et des arbuscules (représenté par le 3)

Les taux de mycorhization sont représentés par le graphe ci-dessous

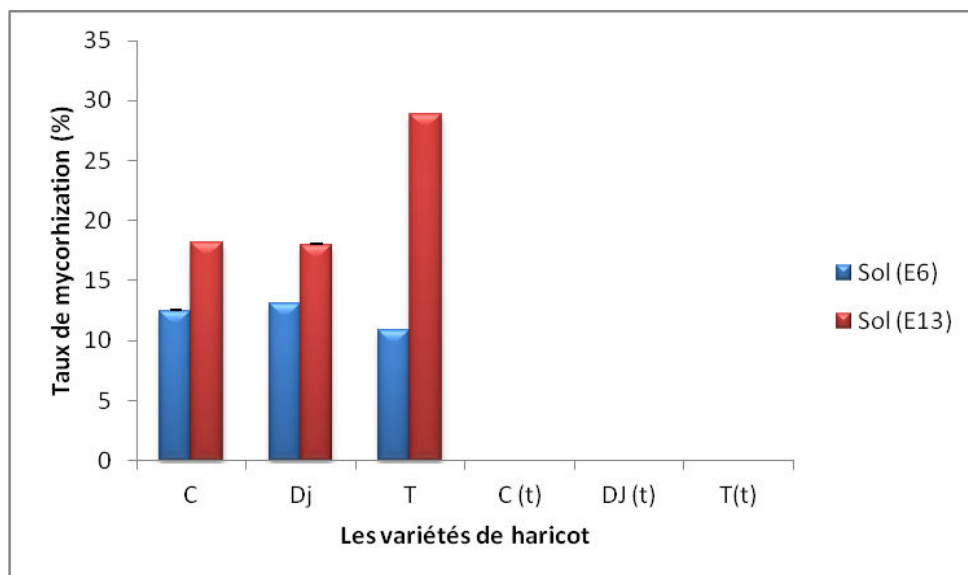


Figure 20 : Variation des taux de mycorhization chez les variétés de haricot au niveau des sols E6 et E13.

Si on compare entre les deux sols on note que le taux de mychorization est plus élevé au niveau des racine de sol E13 que celles de sol E6 (figure 20). Le taux de mycorhization des racines issues du sol E13 vari entre 18 et 28.87 %, par contre il est de l'ordre de l'ordre de 10.87 et 13.07 % des racines issues du sol E6, dont le nombre le plus élevé est observé chez la variété **T** et le nombre le plus faible chez la variété **C** pour les deux sols.

L'analyse de la variable mycorhization affirme que les deux facteurs sol et variété présentent une différence très hautement significative (Seuil < 1%), cette analyse a révélé une interaction sol-variété d'une différence très hautement significative (Annexe 4).

Le test de NEWMAN-KEULS montre que l'effet du facteur sol agit séparément sur la variable mychorization pour former deux groupes homogènes; groupe A pour le Sol **E13** et

groupe B pour le Sol E6. Corrélativement, le facteur variété agit pour former quatre groupes homogènes ; groupe A pour la variété T, groupe B pour la Dj, groupe C pour la C et le dernier groupe D pour les témoins. Aussi l'interaction sol-variété agit pour former sept groupes homogènes ; groupe A, B, C, D, E, F et le groupe G qui regroupe tous les témoins.

3.2. Discussion

D'après les résultats obtenus qui confirment que les taux de colonisation des racines par les mycorhizes sont plus élevés au niveau des plants issues de sol biologique E13, on peut conclure que l'absence des apports chimiques permet une meilleure croissance et colonisation mycorhizienne par rapport aux plants de sol E6 qui est issu d'une agriculture intensive. MARX *et al* (1977), attestent qu'une augmentation de la disponibilité en azote et en phosphore dans les solutions du sol accroît la synthèse protéique et la synthèse de composés phosphorylés (acides nucléiques, ADN et ARN, phosphates d'inositol), ce qui entraîne une diminution de la teneur en sucres solubles de la racine, or la teneur en sucre soluble de la racine détermine les possibilités de nutrition de l'associé fongique et donc le taux de la colonisation mycorhizienne.

Selon LACOMBE *et al* (2007), le taux élevé de mycorhization au niveau des plants issues de sol biologique E13, peut être justifié aussi par la texture limono-argileuse et la structure de ce sol, moins compact, plus aéré et perméable, qui favorisent ainsi le développement des hyphes mycélien et la colonisation mycorhizienne, contrairement au sol E6 qui présente une texture argileuse et structure compacte.

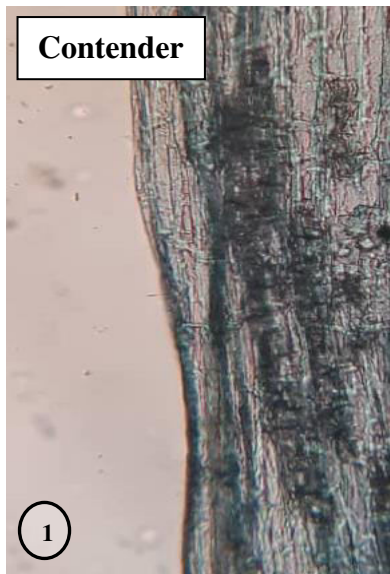
Les vésicules est la forme de champignon mycorhzien à arbuscule la plus répandue dans nos observations qui est un indicateur d'une bonne activité symbiotique (TCHAMENI *et al*, 2008). L'absence des arbuscules est liée à leur courte durée de vie, qui ne dépasse pas les dix jours (HAURSE *et al*, 2005)

À propos des témoins, le fait de ne pas avoir des mycorhizes est justifié par l'interrompu de processus de nodulation suite à la destruction totale des bactéries symbiotique lors de la stérilisation des sols avec un autoclave.

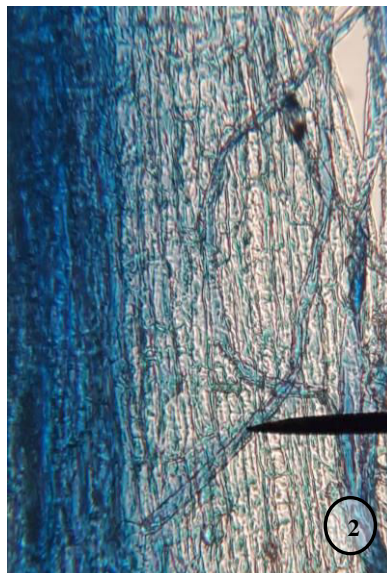
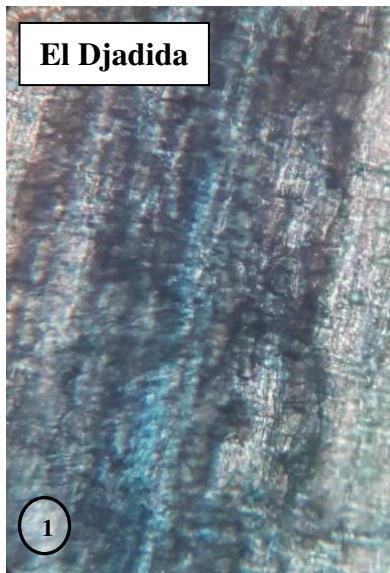
3.3. Les endophytes

Au cours de l'estimation des taux colonisation des racines par les mycorhizes on a observé la présence des endophytes qui sont des micro-organismes qui accomplissent tout ou une partie de leur cycle de vie à l'intérieur d'une plante, de manière symbiotique avec un bénéfice mutuel pour les deux organismes sans causer de dommages apparents chez l'hôte.

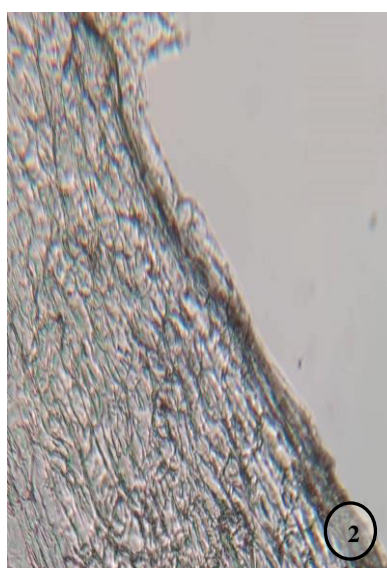
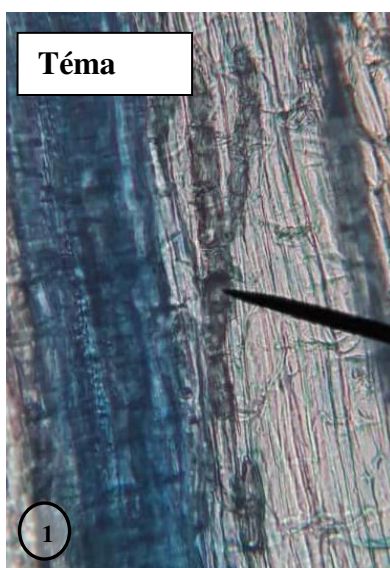
Cette série de photos présente des observations microscopiques, à grossissement x 40, des endophytes au niveau du sol E6 chez les trois variétés étudiées (Original, 2018).



1. Colonisation DSE, des cellules corticale
2. Pénétration des DSE, des cellules épidermiques



1. Endophyte à septum foncé
2. Chaînes de *Chlamydozoospores* (flèche).



1. Endophyte à septum foncé (flèche).
2. Pénétration des hyphes endophytes des cellules épidermiques,

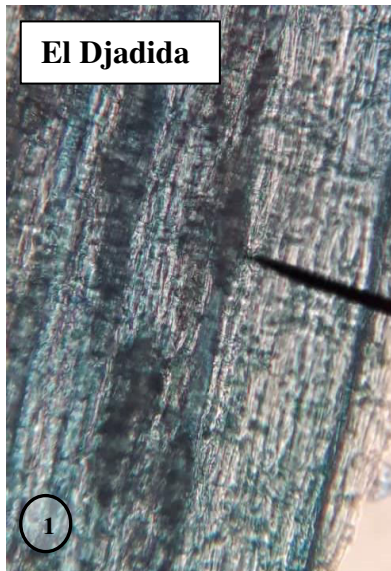
La série suivante présente des observations microscopiques, à grossissement x 40, des endophytes au niveau du sol E13 chez les trois variétés étudiées (Original, 2018).



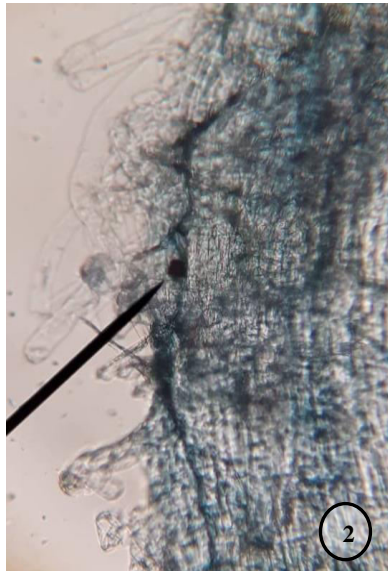
Contender



1. Endophyte à septum foncé (flèche).
2. Pénétration des hyphes endophytes des cellules corticale,



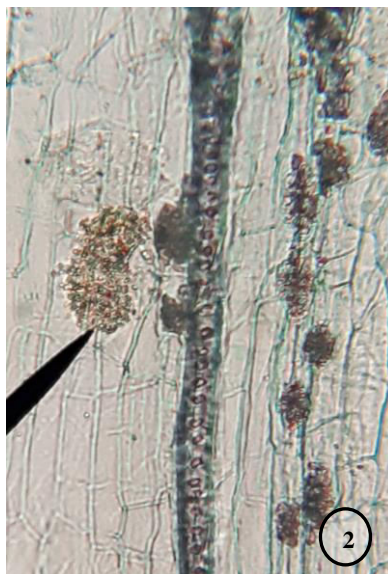
El Djadida



1. Endophyte à septum foncé (flèche).
2. Pénétration des hyphes endophytes des cellules épidermiques (flèche).



Téma



- 1.-2. Formation d'un sclérote (flèche).

Les endophytes observés chez les trois variétés de haricot, sont déterminés par la nature de leurs hyphes qui sont septées et de couleur sombre foncée suite à la présence de mélanine. Ce sont les endophytes à septum foncé DSE , ont un assemblage artificiel des mycètes qui ont obscurément pigmenté, des hyphes de septum et sont les associés intracellulaires fréquents ou distinctifs de racine des plantes apparent saines (PIERCEY et *al.*, 2004).

Dans les racines, les DSE forment de façon occasionnelle des micro-sclérotos et pour certaines espèces une structure similaire au réseau de Hartig, structure formée par les champignons ectomycorhiziens (RODRIGUEZ et *al.*, 2009).

D'après PORRAS-ALFARO (2008) , les DSE ont un rôle particulièrement important dans les milieux arides, semi-arides, alpins ou subalpins (environnement à haut-stress abiotique). Ils ont une importance similaire à celle des mycorhizes : leur distribution est large et leur taux de colonisation est important. Ils peuvent coloniser des plantes mycorhizées ou non.

Conclusion

L'objectif de ce travail était de voir s'il existe une symbiose mixte-légumineuse (*Phaseolus vulgaris* L) sur deux types différents de sol : un sol issu d'une agriculture biologique et un autre issu d'une agriculture intensive.

Les résultats de ce travail ont permis de démontrer l'existence d'une symbiose mixte chez les trois variétés étudiées (Contender, El-Djadida et Téma). Cette symbiose mixte renferme les associations suivantes ; haricot-rhizobia, haricot-mycorhize et haricot-endophytes. Il se confirme que les trois variétés de haricot se développent et s'accroissent mieux sur sol issu d'une agriculture biologique (pas enrichi et naturel) que sur sol issu d'une agriculture intensive (enrichi) et que les meilleures associations (nodulaire, mycorhizienne et endophytes) dominent toujours dans le sol biologique.

Le nombre de vésicules et d'arbuscules pour le sol enrichi est faible que ce qui est obtenu dans le sol biologique.

Les champignons mycorhiziens ont permis une stimulation de la croissance aérienne du haricot par rapport au témoin ce qui est confirmé par l'analyse statistique. Cela se traduit par l'effet positif qu'apportent les mycorhize à arbuscules à la plante hôte en favorisant une bonne nutrition minérale.

La symbiose mixte-légumineuse peut donc contribuer à l'économie de fertilisants, l'amélioration des propriétés physique, chimique et biologique des sols, la préservation des sols, l'augmentation des rendements et la protection de la santé de consommateur et de l'environnement.

A partir des résultats obtenus, des recommandations et des perspectives peuvent être proposées pour compléter ce travail :

- Il est souhaitable de poursuivre ce travail, par l'étude des propriétés chimiques des deux sols après la récolte et par l'établissement d'un diagnostic foliaire pour chaque variété de haricot.
- Il serait d'autant plus intéressant de travailler sur les taux d'infection des sols après dilution à différentes doses.
- Il est désirable d'étudier en détail chaque association et faire des observations plus poussées dans le cas des mycorhizes et des endophytes.

*Références
bibliographiques*

- **ABDENOUR, H (1982).** Etude de la fixation de l'azote chez quelques légumineuses. mém d'ing., ENSA (Ex. INA), EL HERRACH, 72 p.
- **ABDESLAM, M (1995).** Structure et fonctionnement d'un karst de montagne sous climat méditerranée. Exemple de Djurdjura occidental (Grande Kabylie). Thèse. Doc. Université de France., 120p.
- **ADAMS, M.W., COYNE, D.P., DAVIS, J.H.C., GRAHAM, P.H. et FRANCIS, C.A (1985).** Common bean (*Phaseolus vulgaris L.*), In R. J. Summerfield and E. H. Roberts, Grain Legume Crops, Colins, Londo, 433-476 p.
- **ALKAMA, N., BOLOU BI BOLOU, E., VAILHE, H., ROGER, L., OUNANE, S.M. et DREVON, J.J (2009).** Genotypic variability in P use efficiency for symbiotic nitrogen fixation is associated with variation of proton efflux in cowpea rhizosphere. Soil Biol. Biochem. 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, 174p.
- **ALLEN, D. J., AMPOFO, J. K. O. et WORTMANN, C. S (1996).** Ravageurs, maladies et carences nutritives du haricot commun en Afrique. CIAT, Colombie, 131 p.
- **DE BARY, A (1866).** *Morphologie und Physiologie der Pilze, Flechten und Myxomyceten.*
- **APG (2003).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for orders and families of flowering plants: APG II. Bot. J. Linn. Soc 141: 399 - 436.
- **AYERS, R.S et WESTCOT, D.W (1984).** Irrigation Water Quality Criteria. Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manuel. Ed. G.S. Pettygrove and T. Asano. California State Water Resources Control Board, 3.1-3.37p
- **BALZERGUE, C., PUECH-PAGES, V., BECARD, G et ROCHANGE, S.F (2010).** The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate involves early and systemic signalling events. Journal of Experimental Botany 62, 1049-1060.
- **BARGAZ, A (2012).** Caractérisation agro-physiologique et biochimique de symbioses haricot (*Phaseolus vulgaris*)-Rhizobia performantes pour la fixation symbiotique de l'azote sous déficit en phosphore, Thèse, Doc, Université de Marrakech, 146 p.
- **BELL, A (1994).** Plantes à fleurs : la morphologie descriptive et dynamique des plantes à fleurs. Ed. Masson, Paris, 340 p.
- **BERGERSEN, F.J (1966).** Some properties of nitrogen-fixing breis prepared from soybean root nodules. Biochimica and Biophysica Acta General Subject 130 (28): 304-312.

- **BLAIR, M. W., CALDAS, G. V., AVILA, P et LASCANO, C (2006).** Tannin content of commercial classes of common bean. *Annu., Rep., Bean Improv., Coop.* **49**:151–152.
- **BLONDEAU, R (1980).** Fixation biologique de l'azote atmosphérique. Librairie Vuibert, Paris, 103 p.
- **BORGET, M (1989).** Les légumineuses vivrières. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris.161 p.
- **BOLAN, N. S (1991).** A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134:189-207
- **BONFANTE-FASOLO, P (1984),** Anatomy and morphology of VA mycorrhizae, In VA mycorrhiza, Powell, CL et Bagayaraj, DJ, CRC Press, Boca Raton, 5-33.
- **BRUNDRETT, M (2004).** Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*; 79(3):473-95.
- **BROUGHTON, W.J., HERNANDEZ, G., BLAIR, M., BEEBE, S., GEPTS, P et VANDERLEYDEN, J (2003).** Beans (*Phaseolus sp*). Model food legumes. *Plant and Soil* 252, 55-128.
- **CANADO, I. C., DOUSSINAGUE, C et VILLENA, E (2003).** Technicien en agriculture. Ed. Cultural S. A, Madrid, 519 p.
- **CENTRE INTERNATIONAL D'AGRICULTURE TROPICALE (1989).** Diversité génétique dans le genre *Phaseolus*. Cahier d'étude destiné à être utilisé comme complément de l'unité audiotutorielle traitant le même sujet. D. G. Debouck. Production : Luz Maria Medina. Cali, Colombia, CIAT, 52p.
- **CHAUX, C. et FOURY, C (1994) .** Les productions légumières. Ed. TEC et DOC. Tome 3, Paris, 562 p.
- **CHENA, M., ZHU, Y., SUA, Y., CHENA, B., Fu, B et MARSCHNER, P. (2007).** Effects of soil moisture and plant interactions on the soil microbial community structure. *European journal Soil Biology* 43: 31-38.
- **CLAY, K et SCHARDL, C (2002).** Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *American Naturalist*; 160 Suppl 4: S99-S127.
- **CLELAND, E. E et HARPOLE, W. S (2010).** Nitrogen enrichment and plant communities. *New York Academy of Sciences*, 1195: 46 – 61.
- **DIAW, N.F (2002).** Utilisation des inoculums de rhizobium pour la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal. Thèse doctorat., Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 97 p.

- **DIEM, G. H., DOMMERGUES, Y et DUHOUX, E (1998).** Les arbres fixateurs d'azote : Caractéristiques et rôles dans les écosystèmes méditerranéens et tropicaux. IRD-FAO-CIRAD. 500 p.
- **DJIGAL, D (2003).** Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorrhiziens) et les nématodes bactérivores : Effets sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes, Dakar (SEN); Dakar: UCAD; IRD, 2003, 143 p. multigr. Th. 3e cycle: Biologie Végétale, UCAD: Dakar.
- **DIOP, T. A (1996).** Les mycorhizes à vésicules et à arbuscules. Journal de la faculté des Sciences de l'Université de Dakar, BI, 49-64.
- **DRENOU, C (2006).** Les racines face cachée des plantes. Institut pour le développement forestier, 335 p.
- **DUCHAUFOR, P (2001).** Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement, 6^{ème} Ed. Dunod, Paris, 331p.
- **DUPONT, F. et GUIGNARD, J.L (1989).** Haricot nain (Bulletin des variétés). Ed. Masson. Collection : Abrégés pharma, Paris, 510 p.
- **DUTHIL (1971).** Eléments d'écologie et d'agronomie. Tome I. Connaissance de milieu. Ed. Lavoisier, Paris, 385p.
- **FOUCHER, F et KONDOROSI, E (2000).** Cell cycle regulation in the course of nodule organogenesis in *Medicago*. *Plant. Mol. Biol.* 43, 773-786.
- **FUSAGx. Laboratoire de Phytopharmacie (2004).** Maladie et ravageurs du haricot. In : FUSAGX, Fiches : Maladies et ravageurs. Vol. 7. Rungis (France) : COLEACP, Programme Initiative Pesticides, 1-52.
- **GAGE, D. J (2004).** Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 68, 280-300.
- **GENTILI, F. et HUSS-DANELLE, K., (2002).** Phosphorus modifies the effects of nitrogen on nodulation in split-root systems of *Hippophaë rhamnoides*. *New Phytol.* 153, 53-61.
- **GENTILI, F., WALL, L.G. et HUSS-DANELLE, K., (2006).** Effect of phosphorus and nitrogen on nodulation are seen already at the stage of early cortical cell divisions in *Alnus incana*. *Annals of Botany* 98, 309 - 315.
- **GOUST, J. et SEIGNOBOS, F (1998).** Le haricot. Ed. Arles : Actes Sud, Paris, 92 p.
- **GOUST, J (2003).** L'encyclopédie du potager. Ed. Actes Sud, 944 p.
- **GRAHAM, P. H et ROSAS, J. C (1979).** Phosphorus fertilization and symbiotic nitrogen fixation in common bean. *Agronomy Journal* 71. 925 - 926.

- **GRAHAM, R.D et STANGOULIS, J .C.R (2003)**. Trace Element Uptake and Distribution in Plants. American Society for Nutritional Sciences. 133, 1502-1505
- **HACHEMI, B et MOSTFAOUI, Y (2004)**. Occupation et évaluation des terres de la vallée du haut Sébaou, région de Fréha. Mém. Ing. Agro., U.M.M.T.O., 134 p.
- **HAMZA, N (2014)**. Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*), Thèse, Magister, Université Ferhat ABBAS, Sétif, 54p.
- **HARLAN, J.R (1987)**. Les plantes cultivées et l'homme. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Conseil International de la Langue Française et Presses Universitaires de France, 279 p
- **HARLEY, J.L (1989)**. The significance of mycorrhiza. *Mycological Research* 92: 129-139.
- **HATCH, A. B (1937)**. The physical basis of mycotrophy in the genus *Pinus*. Black Rock For. Bull.6, 1-168; In International Union of Geodesy Geophysics, Vol. 2, pp. 443 - 445.
- **HINSINGER, P (1998)**. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in Agronomy* 24: 225-265.
- **HYDE, K. D., HUANG, W. Y., CAI, Y. Z., CORKE, H. et SUN, M (2008)**. Biodiversity of endophytic fungi with 29 traditional Chinese medicinal plants. *Fungal Diversity*; **33**: 61-75.
- **JANSA, J., MOZAFAR, A., ANKEN, T., RUH, R., SANDERS, I.R et FROSSARD, E (2002)**. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza* 12, 225 - 234.
- **KHAN, U., O'NEILL, A., LOTYA, M et COLEMAN, J.N (2010)**. High-Concentration Solvent Exfoliation of Graphene. *Small*, 6 (7), 864-871.
- **KYEI-BOAHEN, S., SLINKARD, A.E et Walley, F (2002)**. Evaluation of rhizobial inoculation methods for chickpea. *agronomy journal* 94, 851-859.
- **LACOMBE, O., AMROUCH, K., MOUTHEREAU, F et DISSEZ, L (2007)**. Calcite twinning constraints on late Neogene stress patterns and deformation mechanisms in the active Zagros collision belt. *Geology* 35 (3), 263–266.
- **LATATI, M (2012)**. Adaptation de la symbiose légumineuse haricot-rhizobium à la déficience en phosphore, incidence sur la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère, Thèse ,Magister, ENSA (Ex. INA), EL HERRACH, 104 p.
- **LAUMONNIER, R (1979)**. Les cultures légumières et maraîchères, tome III. 3^{ème} Ed. J-B. Baillière, Paris, France, 276 p

- **LEWIS, G. C (2004).** Effect of biotic and abiotic stress on the growth of three genotypes of *Lolium perenne* with and without infection by the fungal endophyte *Neotyphodium lolii*. *Annals of Applied Biology*; 144: 53-63.
- **LOF, G., TOPS, A et NETJES, J (1990).** Le soja. Agrodok-séries N °10 ; 1^{ère} Ed Française traduite par Evelyne Codazz,i 1- 7 p.
- **MARSCHNER, P., Fu, Q.L et RENGEL, Z. (2003).** Manganese availability and microbial populations in the rhizosphere of wheat genotypes differing in tolerance to Mn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166: 712–718.
- **MARX, S.J., SPEIGEL, A.M., BROWN, E.M et AURBACH, G.D (1977).** Family studies in patients with primary parathyroid hyperplasia. *Am. J. M.* 62, 698-706.
- **MEOTTO, F (1996).** Identification of mycorrhizas in the field. *Cahiers Options Méditerranéennes* 20: 33-41.
- **MESROUK (1984).** Caractérisation et gène des sols de la région de Tizi-Ouzou (Grande Kabylie). Thèse de doctorat. 173 p.
- **MIAO, S. J., QIAO, Y. F et HAN X. Z. (2007).** Nodule formation and development in Soybean (*Glycine max* L.) in response to Phosphorus supply in solution culture. China. Pp 36- 43.
- **MILLER, O. K (1982).** Taxonomy of ectomycorrhizal and ectendomycorrhizal fungi. In: *Methods and mycorrhizal researches* by N.C. Schenk. American Phytopathology Press, St Paul, Minesota pp. 510-517.
- **MONNET, Y., PIGEON, M et THIBAUT, J (1999).** Produits phytosanitaires autorisés à la vente : cultures légumières et fraisier. Ed. INRA, Paris, 330 p.
- **MORGAN, J.B et CONNOLLY, E.L (2013).** Plant-Soil Interactions: Nutrient Uptake. *Nature Education Knowledge* 4 (8) : 2.
- **MORICCA, S et RAGAZZI, A (2008).** Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: a lesson from *Discula quercina*. *Phytopathology*; **98**: 380-386.
- **MOUSAIN, D (1989).** Étude de la nutrition phosphatée de symbiotes ectomycorhiziens. Montpellier : Université des Sciences et Technique du Languedoc, Thèse de Doctorat d'État en Sciences.
- **MOZAFAR, A., ANKEN, T., RUH, R et FROSSARD, E (2000).** Tillage intensity, mycorrhizal and non mycorrhizal fungi and nutrient concentrations in maize, wheat and canola. *Agronomy Journal* 92, 1117 – 1124

- **NIAN, H., JU AHN, S., YANG, Z. M et MATSUMOTO, H (2003).** Effect of phosphorus deficiency on aluminum - induced citrate exudation in soybean (*Glycine Max*). *Physiologia plantarum*, 117 (2) : 229-236
- **NYABYENDA, P (2005).** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : Généralités, Légumineuses alimentaires, Plantes à tubercules et racines, Céréales. Presse agronomique Gembloux Agro bio Tech. Gembloux.
- **NYE, P (1986).** Acid–base changes in the rhizosphere. *Advances in Plant Nutrition*; 2 : 129-153.
- **NZUNGIZE, R. J (2012).** Identification of *Pythium* species inducing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) root rot symptoms and development of backcrosses to improve the level of varietal resistance to this disease, these de Doctorat., Sciences Agronomiques et Ingénierie biologique., Université de Liege Gembloux Agrobio Tech, Belgique, 119 p.
- **PATRA, AK., LE ROUX, X., GRAYSTON, SJ., LOISEAU, P et LOUAULT, F (2008).** Unraveling the effects of management regime and plant species on soil organic carbon and microbial phospholipid fatty acid profiles in grassland soils. *Bioresource Technology* 99, 3545–3551.
- **PAN, X.W., LI ,W. B., ZHANG, Q.Y., LI, Y.H et LIU, M.H (2008).** Assessment on Phosphorus efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in phosphorus-deficient Soils. *Agric Sci China* 7: 958-969.
- **PEREIRA, P. A et BLISS, F. A (1987).** Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) at different levels of phosphorus available. *Plant Soil* **104**, 79 - 84.
- **PERON, J.Y (2006).** Références productions légumières. 2^{ème} Ed. Librairie GERMER BAILLIERE et CIE, Paris, 650 p.
- **PIMENTEL, M. R., MOLINA, G., DIONISIO, A. P., MAROSTICA JUNIOR, M. R. et PASTORE, G. M (2001).** The use of endophytes to obtain bioactive compounds and their application in biotransformation process. *Biotechnol Res Int*.
- **PITRAT, M. et FOURY. C (2003).** Histoires de légumes. Ed. INRA, 376 p.
- **PITRINI, O (1991).** Fungal endophytes of tree leaves. in: *Microbial Ecology of leaves* (eds) ANDREWS, J.H and HARINO, S.S. Spring-Verlag, New York, USA, 179-197 p
- **PLENCHETTE, C (1982).** Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VA). Un potentiel à exploiter en agriculture. *Phytoprotection*, 63, pp. 86-108.
- **POCHON (1981).** La prairie permanente à base de trèfle blanc. Ed. L'institut technique de l'élevage bovin, Paris, 104 p.

- **PREVOST, P (1999)**. Les bases de l'agriculture moderne. 2^{ème} Ed. TEC et DOC, Paris, 254p.
- **PUJOLA, M., FARRERAS, A et CASANAS, F (2007)**. Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Chemistry 102: 1034-1041.
- **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 legume for hot dry conditions. Ed. Indiana, Missouri.
- **RASON, L. S (2015)**. Fonctionnement microbien du sol de culture de haricot sous l'effet de l'inoculation par des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote et de la fertilisation phosphatée au niveau des parcelles paysannes, Mém, Etude Approfondie en Biochimie, Université d'Antananarivo, 42 p.
- **RODRIGUEZ, R. J., REDMAN, R. S et HENSON, J. M (2004)**. The role of fungal symbioses in the adaptation of plants to high stress environments. *Migration and Adaptation Strategies for Global Change*; **9**: 261-272.
- **SAIKKONEN, K., FAETH, S. H., HELANDER, M et SULLIVAN, T. J (1998)**. Fungal endophytes: A continuum of interactions with host plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*; **29** :319-343.
- **SAVKA, J. S., DESSAUX, Y., OGER, P et ROSSBACH, S (2002)**. Engineering bacterial competitiveness and persistence in the phytosphere. Mol Plant Microbe Interact. 15: 866-874.
- **SCHARDL, C. L., LEUCHTMANN, A. et SPIERING, M. J (2004)**. Symbioses of grasses with seedborne fungal endophytes. *Annual Review of Plant Biology* 2004; **55**: 315-340.
- **SMITH, H. F., O'CONNOR, P. J., SMITH, S. E et SMITH, F. A (1997)** .Vesicular arbuscular mycorrhizas of durian and other plants of forest gardens in W. Kalimantan, Indonesia. Pp 192-199 in *Forest Soils in the Humid Tropics: Characteristics, Ecology and Management* eds by Schulte A., Ruhiyat D. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- **SMITH, S.E et READ, D. J (1997)**. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press, 2nd Ed. London, 605 p.
- **SMITH, S. E et READ, D. J (2008)**. *Mycorrhizal symbiosis*. 3^{ème} Ed. Academic Press Ltd.: Cambridge, UK, 787 p.
- **SOLTNER, D (1990)**. Les grandes productions végétales. 17^{ème} Ed. Collection des sciences et techniques agricole, Bressuire Cedex, 464 p.
- **SOLTNER, D (2005)**. Les grandes productions végétales ; le sol et son amélioration. 24^{ème} Ed. Collection des sciences et techniques agricole, Bressuire Cedex, 472 p.

- **STANIEK, A., WOERDENBAG, H. J. et KAYSER, O (2008)**. Endophytes exploiting biodiversity for the improvement of natural product-based drug discovery. *Journal of Plant Interactions*; **3**: 75-98.
- **STROBEL, G., DAISY, B., CASTILLO, U et HARPER, J (2004)**. Natural products from endophytic microorganisms. *Journal of Natural Products* ; **67**: 257-268.
- **SSALI, H et KEYA, S. O (1986)**. The effects of phosphorus on nodulation, growth and dinitrogen fixation of three bean cultivars. SSSA. Special Publication number 28, Madison. Pp. 161-182.
- **TIRILLY, Y. et BOURGEOIS, C.M (1999)**. Technologie des légumes. Ed. La Maison Rustique, Paris, 558p.
- **TYLER, G et OLSSON, T (2001)**. Plant uptake of major and minor minéral éléments as influenced by soil acidity and liming. *Plant & Soil*. 230(2):307-321.*vulgaris L.*) at différent levels of phosphorus availability. *Plant Soil* 104, 79-84.
- **VADEZ, V., RODIER, F., PAYRE, H. et DREVON, J.J (1996)**. Nodule permeability to O₂ and nitrogenase-respiration in bean genotype varying in the tolerance of N₂ fixation to P deficiency. *Plant Physiol Biochem* 346: 871-878.
- **VEGA, F. E., POSADA, F., AIME, M. C., RIPOLL, M. P., INFANTE, F et REHNER, S. A (2008)** . Entomopathogenic fungal endophytes. *Biological Control*; **46**: 72-82.
- **VIERHEILIG, H., COUGHLAN, A., WYSS, U et PICHÉ, Y (1998)**. Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (12), pp. 5004 -5007
- **WALLANDER, H et WICKMAN, T (1999)**. Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings. *Mycorrhiza* 9:25-32.
- **WALLER, F., ACHATZ B., BALTRUSCHAT, H., FODOR, J., BECKER, K., FISCHER, M., HEIER T., HUCKELHOVEN, R., NEUMANN, C., VON, W. D., FRANKEN, P et KOGEL, K. H (2005)**. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*; 102: 13386-13391.
- **WORTMANN C. S. (2006)**. *Phaseolus vulgaris L.* (common bean). PROTA (Plant Ressources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale).
- **WILLIAMS, W.A., GRAVES, W.L, THOMSEN, C.D (1996)**. Berseem Clover: A winter Annual Forage for California Agriculture. Université de Californie Division d'Agriculture et des Ressources Naturelles.

- **YAMEOGO, W. M (2009)**. Diversité des champignons endomycorhiziennes et des bactéries fixatrices d'azote associées au niébé (*Vigna unguiculata L*) Walp. Dans différentes zones climatiques du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural, Université Burkina Faso.
- **YAKOUB, B (1997)**. Le problème de l'eau en Kabylie. Le bassin versant de Sébaou et de wilaya de Tizi Ouzou. Ed. U.T.O., 210p.
- **ZABALGOGEAZCOA, I (2008)**. Fungal endophytes and their interaction with plant pathogens. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2008; **6**: 138-146.
- **ZAHRAN, H. H (1999)**. *Rhizobium* - Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate, *Microbiology and Molecular biology Reviews* : 63 (4), pp 968-989.

Annexes

1. Description morphologique de la plante

Phaseolus est une plante, annuelle, à croissance déterminée ou indéterminée (LAUMONNIER, 1979). Elle peut prendre plusieurs types de port selon les variétés; les haricots grimpants et les haricots nains à port érigé et plus ramifié.

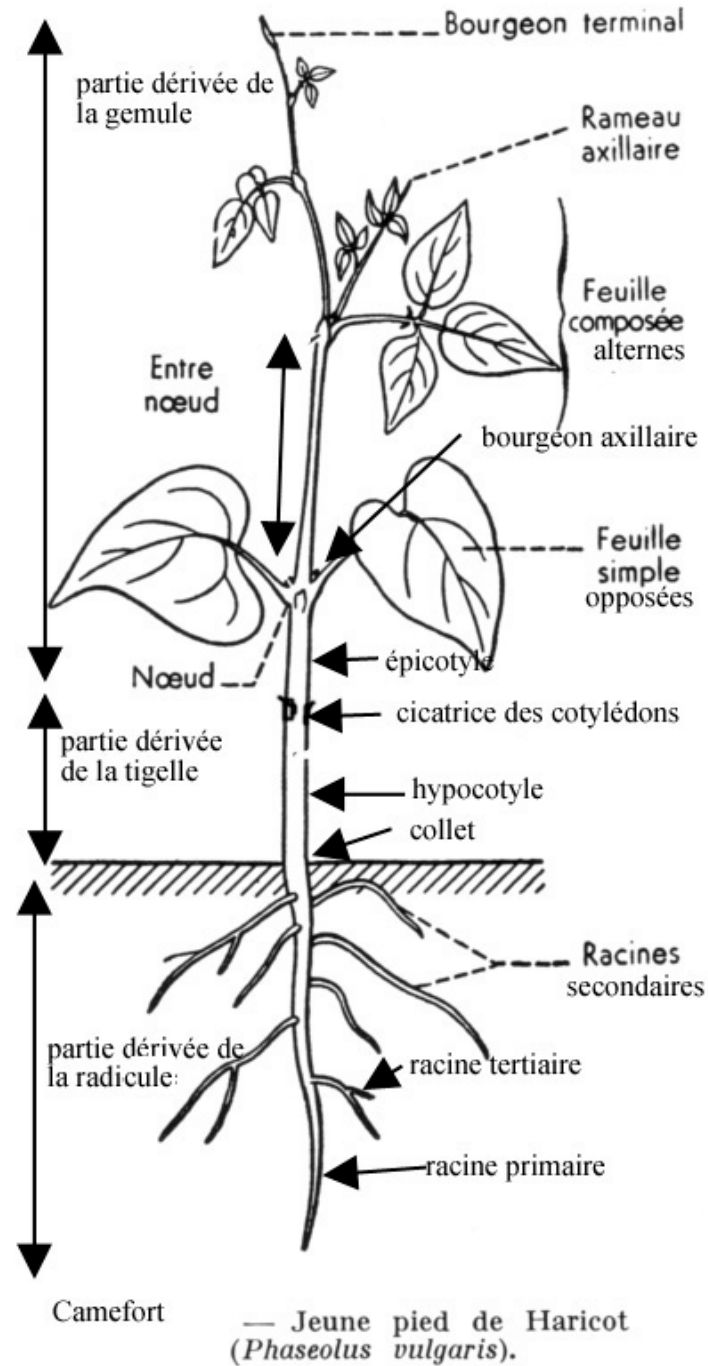


Figure 21 : Description morphologique de haricot.

- **Racines**

Le système racinaire de haricot est profond et peut descendre jusqu'à 1,20 m. Le plus grand nombre de racines se trouve entre 0,20 m et 0,25 m de profondeur sur un diamètre de 0,50 m autour de la tige. Après 15 à 30 jours de semis, des nodules peuvent se former sur ces racinelles (Adams et *al*, 1985).

- **Tiges**

Les tiges de haricot sont plus ou moins longues selon les variétés. Deux à trois mètres de long chez les haricots à rames mais 30 à 40 cm de longueur chez les haricots nains. (DUPONT et *al*, 1989).

- **Feuilles**

Les premières feuilles, au nombre de deux, sont simples, les suivantes sont formées de trois folioles ovales, vertes, de 10 à 12 cm de longueur environ, terminées chacune par une pointe (BELL, 1994). Elles possèdent des nervures bien visibles. Ces folioles s'insèrent sur un pétiole commun de 12 cm de long environ, par l'intermédiaire de pétiolules de 3 à 4 mm de long. A la base de ces pétiolules, on trouve deux stipelles très courtes. A la base du pétiole, on distingue une petite gaine et deux stipules de forme ovale ayant 4 mm de long environ (GOUST et *al*, 1998).

- **Fleurs**

Ce sont des fleurs hermaphrodites, zygomorphes, du type papilionacé comprennent cinq sépales, 5 pétales (3 libres et 2 soudés entre eux), 10 étamines dont 9 soudées par leur base et une libre, un ovaire, une loge refermant 4 à 8 ovules, surmonté par un style portant un stigmate (PREVOST, 1999). Chaque fleur a environ 2 cm de long et de couleur très variée ; blanche, rose, rouge, violette, jaunâtre, ou même bicolore (BELL, 1994).

La fécondation croisée varie avec l'importance de l'activité des insectes compris entre 2 et 80 %. Elle s'effectue surtout la nuit

- **Fruits**

Les fruits sont des gousses allongées, déhiscents, généralement droites, de forme et de longueur variable, terminées par une pointe. Chaque gousse renferme en moyen 4 à 8 graines (TIRILLY et *al*, 1999).

- Graines

Elles sont soit sphériques ou cylindriques, selon les variétés, et sont très diversement colorées; en blanc, vert, rouge, violet, noir, bruns ou même bicolores ou tachetés. Elles sont plus ou moins grosses selon les variétés (PERON, 2006).elle peuvent garder leur faculté germinative de 3 à 5 ans (MONNET et al, 1999).

2. Cycle végétatif

Le cycle de végétation chez le haricot se déroule pendant les périodes les plus chaudes de l'année. Il varie considérablement selon les variétés. En climat méditerranéen le semis s'effectue à partir de la fin avril allant jusqu'à fin mai.

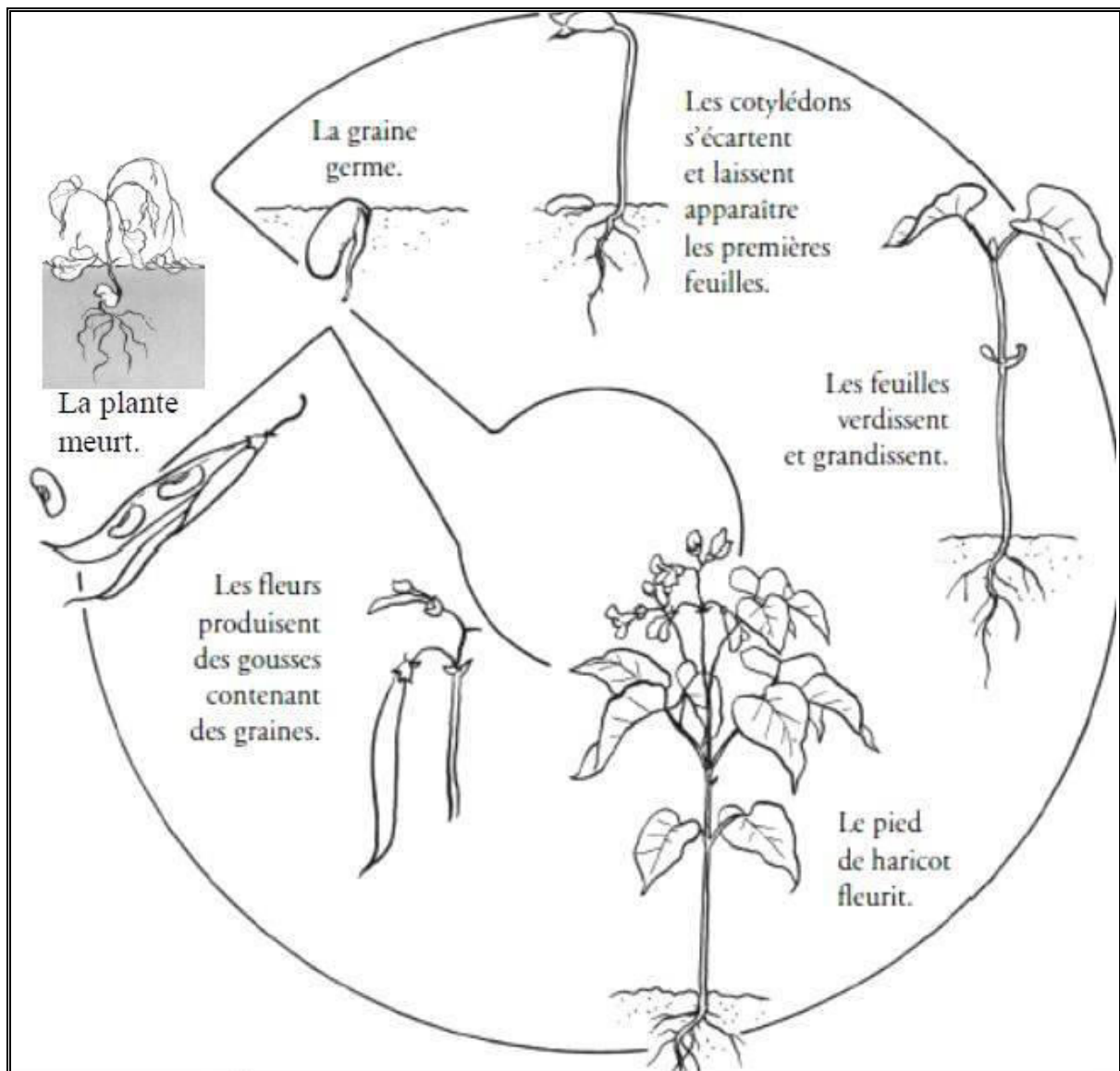


Figure 22: Cycle de développement de la culture du *Phaseolus vulgaris* (DIAW, 2002)

- **Phase de germination**

Elle commence par le semis et prend fin à la sortie des cotylédons en dehors du sol. Les graines semées directement dans un sol bien drainé germent au bout de 5 à 7 jours suivant la température.

- **Phase de croissance**

Trois à quatre jours de la levée, les cotylédons commencent à se faner (PITRAT et *al*, 2003), cinq à six jours après la levée apparaît la première feuille trifoliolée, cinq à six jours après l'apparition de la première feuille trifoliolée apparaît la deuxième, au bout d'un mois le pied de haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et il atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm pour les variétés naines (DUPONT et *al*, 1989).

- **Phase de floraison**

La floraison s'effectue entre 24 et 42 jours après le semis selon les conditions climatiques, sa durée est de 5 à 30 jours. Le remplissage des graines dure de 23 à 50 jours.

- **Phase de maturation**

La maturation des graines dure de 60 à 130 jours et qui varie considérablement selon les variétés. La nodulation apparaît 15 à 30 jours après le semis (DIAW, 2002).

3. Exigences de la plante

3.1. Exigences climatiques

- **Température**

La température est un facteur climatique important pour le bon développement de l'haricot, la somme des températures nécessaires pour son cycle végétatif va de 1800°C à 2000°C, ce qui fait d'elle une plante thermophile

Le zéro de végétation ou la température en dessous de laquelle la croissance de la plante s'arrête est de 10°C, les semences ne germent qu'au dessus de 11°C, et gèlent au voisinage de -1°C (LAUMONNIER, 1979).

En stade floraison, l'haricot marque des besoins intenses en température, qui peut atteindre une moyenne journalière de 12 °C à 28 °C.

- **Lumière**

Le haricot exige des quantités importantes en lumière et surtout étroitement en liaison avec la température. Pour un bon rendement, BORGET (1989) a estimé l'intensité lumineuse optimale à 5000 lux.

- **L'humidité**

Une humidité supérieure à 80°C est nuisible à l'haricot, car elle favorise la multiplication des maladies et entraîne aussi la coulure des fleurs par *Botrytis cinerea* (pourriture grise).

3.2. Exigences édaphiques

- **1.5.2.1. Sol**

LAUMONNIER (1979), a décrit le sol qui rend, ce dernier doit être argilo-sableux, à structure fine, grumeleuse, présentant une bonne perméabilité, sain de toutes sorte de pathogènes et riche en éléments nutritionnelles.

- **pH**

Pour obtenir une bonne activité microbienne aux alentours des racines d'haricot, et d'éviter le problème des levées des graines causés par les fortes acidités des sols, il est recommandé de maintenir le pH du sol entre 6,1 et 7,4 (CHAUX C et *al*, 1994).

- **Eau**

Les besoins en eau de haricot sont presque les mêmes durant tout le cycle végétatif, la nutrition hydrique va de 500 mm à 800 mm (AYERS et *al*, 1984).

Un déficit hydrique pourra être une cause majeure qui limite la production du haricot sous contrainte hydrique (WHITE et *al*, 1994).

4. Travail cultural

- **Travail du sol :**

Pour une bonne production d'haricot, il est très important de mener un bon lit de semence, afin d'obtenir une structure adéquate au développement racinaire.

Tableau 3 : Travaux de sol nécessaire, périodes et outils choisis pour la culture du haricot (ANONYME, 2008).

Travail effectué	Outil utilisé	Période choisie
Le labour profond	Charrue à soc de 30 à 35 cm	de fin Septembre au début Octobre
Le labour de surface	Charrue à soc de 20 à 25 cm.	de Décembre au début Juillet
Le disquage	Charrue à disque de 15 cm ou Vibrocuteur	en Février
Le hersage	Herse ou rotavator moyen	Mi-Mai

- **Semis**

Le semis du haricot dépend de type de culture et de climat, il diffère d'une zone à une autre. En Algérie, on distingue trois périodes de semis :

- ✓ Pour les récoltes primeurs en mode sous abris; de fin décembre à fin février en zone centrale et mi-janvier à mi-mars à l'est.
- ✓ Pour les récoltes de saison ; de première quinzaine d'avril à la première quinzaine de juin à l'est, et de mars à mi-mai vers les autres régions.
- ✓ Pour les récoltes d'arrière saisons ; du début juin à mi-août en régions littorale et de mi-juillet à fin août dans les autres régions.

La densité recommandée de semis est de 80 à 120 kg/ha.

- **Entretien**

L'entretien des cultures est souvent très rudimentaire et consiste en quelques binages et sarclages après la levée, un léger buttage des plantes, trois semaines après le semis. Il est essentiel de bien maîtriser les adventices durant 30 premiers jours de la culture jusqu'à la floraison, avant que la canopée ne couvre suffisamment le sol.

- **Fertilisation**

Les analyses de sol permettent d'adapter la fertilisation des cultures, pensez y. Les apports d'engrais sont raisonnés en fonction des besoins de la culture et des teneurs en éléments fertilisants déjà disponibles dans le sol.

LAUMONNIER (1979), a calculé la formule adéquate de la combinaison idéale d'une parcelle d'un hectare d'un sol moyennement riche

- ✓ 50 kg d'ammonitrates.
- ✓ 70 kg de superphosphate.
- ✓ 150 kg de sulfate de potassium.

- **Récolte et conservation**

La récolte se fait, suivant les variétés, deux mois et demi à trois mois après le semis pour la récolte en grains secs, à partir de 40 jours pour la récolte en gousses immatures. Pour la récolte en grains secs, il convient d'attendre que les gousses aient jauni mais ne soient pas complètement sèches, pour éviter leur déhiscence.

Les récoltes doivent se faire tous les 2 à 3 jours afin d'avoir une bonne rotation et permettre au plant de continuer à produire correctement.

La conservation des haricots n'est pas très longue à moins de les congeler. Elle est de :

- ✓ 2 à 3 jours, dans des lieux frais et aérés,
- ✓ plusieurs mois, au congélateur.

5. Maladies, ravageurs et traitement

5.1. Maladies

En Afrique, les principales maladies du haricot sont occasionnées par des agents pathogènes d'origines fongique, bactérienne et virale (ALLEN et *al*, 1996 ; FUSAGx-Laboratoire de Phytopharmacie, 2004 ; NYABYENDA, 2005).

- **Maladies fongiques**

La maladie des taches anguleuses des feuilles est la plus répandue des maladies qui affectent la production du haricot en Afrique subsaharienne (WORTMANN et *al*, 2006 ; NYABYENDA, 2005). Elle est causée par *Phaeoisariopsis griseola*. Cet agent fongique se développe sous une humidité variable et à des températures comprises entre 18 et 25°C. Les lésions peuvent envahir une grande partie de la surface de la feuille, entraînant la chlorose conduisant à la défoliation prématurée.

L'anthracnose du haricot, causée par *Colletotrichum lindemuthianum*. Elle se propage dans des conditions d'humidité relativement élevée et par des températures allant de 14 à 24°C. Les lésions se présentent sur les cotylédons, pétioles, rameaux et tiges ainsi que sur les gousses.

La rouille brune du haricot, causée par *Uromyces appendiculatus*, elle se développe dans des régions très humides et sous températures allant de 18 à 25°C. Une infection grave entraîne la défoliation prématurée de la plante. La rouille ne se transmet pas aux graines (CIAT, 1987).

- **Maladies bactériennes**

La bactériose à halo, causée par *Pseudomonas syringae*, est une maladie rencontrée dans les zones de haute altitude. Elle est favorisée par des températures basses et des pluies abondantes. La dissémination peut se faire par les gouttes de pluie et par l'homme (CIAT, 1987).

La bactériose commune, ou le flétrissement bactérien, est causée par *Xanthomonas campestris*. Elle est largement répandue dans les zones de basse altitude mais on la rencontre également dans les altitudes plus élevées que 1500 mètres. Elle occasionne des symptômes dans des conditions d'humidité relative et de température élevées.

Ces deux maladies d'origine bactérienne sont transmises par les semences infectées.

- **Maladies virales**

Presque une vingtaine de virus ont été répertoriés comme étant des ennemis naturels du haricot (ALLEN et *al*, 1996) :

La mosaïque commune du haricot (BCMV) et la mosaïque nécrotique commune du haricot (BCMNV) également connu sous le nom de « racine noire », sont transmises par les pucerons et les graines infectées.

La mosaïque jaune dorée du haricot (BGYMV) est une maladie transmise par une mouche blanche *Bemisia tabaci Glennadius*.

5.2. Ravageurs

Les ravageurs sont aussi nombreux et détruisent toutes les parties de la plante, des racines aux tiges, ainsi que les gousses et les graines, les plus connus sont:

Les mouches mineuses du haricot (*Ophiomyia phaseoli*) sont des ravageurs des feuilles et des tiges, dans lesquelles elles causent des dégâts en creusant des galeries.

La bruche brésilienne (*Zabrotes subfasciatus Boheman*) et la bruche des haricots (*Acanthoscelides obtectus Say*), qui ravagent le haricot stocké. La première occasionne des dégâts en zones chaudes de basse altitude ; la seconde en zones froides de moyenne altitude. Les pertes dues aux bruches varient en fonction de la durée de stockage (ALLEN et *al*, 1996).

Les thrips (*Frankliniella occidentalis* et *Megalurothrips sjostedti*) sont à l'origine de 80 000 - 90 000 tonnes de pertes de rendement par an (WORTMANN, 2006).

5.3. Moyens de lutte

La lutte contre les maladies et les ravageurs repose sur certaines actions préventives de grand intérêt :

- ✓ La rotation culturale,
 - ✓ L'emploi de variétés résistantes et de semences saines,
 - ✓ L'aération du sol,
 - ✓ Le bon drainage,
 - ✓ L'irrigation maîtrisée et sans excès,
 - ✓ La fertilisation raisonnée et équilibrée,
 - ✓ Le maintien de la parcelle dans un état propre et sain,
 - ✓ Le traitement phytosanitaire (l'emploi de fongicides et d'insecticides) adaptés.
-

1. Etude de milieu

L'étude de milieu qui entoure le végétal représente une connaissance indispensable à l'agronomie. Puisque, c'est à travers ce milieu que le végétal pourra exprimer ces capacités individuelles (DUTHIL, 1971).

A cet effet, nous allons décrire les facteurs de formation du sol dans notre zone d'étude à s'avoir : la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie et le climat.

1.1. Situation géographique

1.1.1. Cadre régionale

La wilaya de Tizi-Ouzou est située au nord de l'Algérie, elle est distante de 100 Km à l'est de capitale Alger. Elle s'étend sur une superficie de 2957.93 km².

La wilaya de Tizi-Ouzou est délimitée :

- Au nord : par la méditerranée avec 70 Km de côte ;
- A l'est : par la wilaya de Bejaïa ;
- A l'ouest : par la wilaya de Boumerdes ;
- Au sud : par la wilaya de Bouira.

Cette région est constituée d'une succession de chaînes de montagnes qui sont des formations anciennes, d'orientation Est-Ouest et qui emprisonnent des plaines alluviales très étroites (MESROUK, 1984). La Kabylie est une région accidentée parcourue, d'ouest en est, par deux chaînes de montagnes, se rejoignant à leurs extrémités.

1.1.2. Cadre locale

- **Commune d'Iferhounène**

Iferhounène est une commune de la wilaya de Tizi Ouzou, située dans le massif central de Djurdjura, à la limite de la wilaya de Bouira. Elle est distante de 70 km au sud-est du chef lieu de la wilaya, s'étend sur une superficie de 3 295 ha. Elle est délimitée :

- Au Nord : par les communes d'Aït Yahia et d'Imsohal ;
 - A l'Est : par les communes d'Illoula Oumalou et d'Illiltene ;
 - A l'Ouest : par les communes d'Akbil et d'Abi Youcef ;
 - Au Sud : par la Wilaya de Bouira.
-

- **Commune de Tadmait :**

Tadmait est une commune de la wilaya de Tizi Ouzou, elle est distante de 18 km à l'ouest du chef lieu de la wilaya et à 85 km à l'est d'Alger. Elle s'étend sur une superficie de 6 366 ha.

La délimitation du territoire de la commune de Tadmait est donnée comme suit :

- Au Nord : par la wilaya de Boumerdes (Commune de Baghlia) ;
- A l'Est : par les communes de Sidi Naamane, Draa Ben Khedda et Tirmatine ;
- A l'Ouest : par la wilaya de Boumerdes (Commune de Naciria) ;
- Au Sud : par la commune d'Ait Yahiya Moussa

1.2. La géologie

D'après YAKOUB (1997), la lithologie de la région est dominée par des formations géologiques imperméables. On relève une large répartition du socle cristallophyllien essentiellement constitué de marne, de calcaire et de flysch.

- **La chaîne littorale :** C'est un vaste synclinal parallèle à la mer allant de la Métidja jusqu'à Akfadou, il est constitué de terrains oligo-miocènes dont les éléments constitutifs des flysch (marnes schisteuses) et des grès numidiens rapportés au crétacé (mésozoïque).
 - **Le socle métamorphique :** Les terrains sont cristallophylliens de nature magmatique (granite pégnatique) et métamorphique (micaschistes quartziques) d'âge paléozoïque.
 - **La chaîne de Djurdjura :** Elle présente un relief, dominant toute la Kabylie, de nature calcaire reposant sur les terrains d'âge primaire, c'est un karst de montagnes nu (ABDESLAM, 1995). Elle est constituée par un ensemble sédimentaire allant du paléozoïque supérieur au cénozoïque correspondant à une ouverture plissée et fracturée du socle cristallophyllien.
 - **Les dépôts alluvionnaires :** Les alluvions sont des formations déplacées et redéposées par l'eau, de ce fait la composition des matériaux alluvionnaires est souvent très indépendantes des matériaux constituant les formations. En grande Kabylie, ils forment la dépression de l'Oued Sébaou, ce sont des dépôts du quaternaire qui reposent sur un substratum de marnes miocènes, post nappes.
-

1.3. La géomorphologie : Les principales formes de reliefs de la grande Kabylie sont les massifs montagneux (les djebels), les collines et les plaines alluviales (YAKOUB, 1997).

- **Les djebels :** Les djebels couvrent une grande partie de la grande Kabylie depuis la cote jusqu'au Djurdjura, ils sont découpés par des profondes.
- **Les collines :** Au pied du grand massif Kabyle, s'étendent ces collines qui marquent une transition nette entre les bas fonds et les premières pentes des montagnes. Elles se caractérisent par leurs reliefs arrondis avec des pentes souvent très douces de nature marneuse.
- **Les plaines alluviales :** La grande Kabylie possède en général de petites plaines constituées d'étroites pentes alluviales, la plus importante de ces vallées est celles bordant le cours de l'Oued Sébaou et qui représente la vraie richesse foncière de la wilaya de Tizi-Ouzou.

1.4. Les caractéristiques naturelles de la région de Tizi-Ouzou :

1.4.1. Le relief :

Du point de vue relief, la wilaya de Tizi-Ouzou est constituée de sept grands ensembles morphologiques, orientée sur un axe Est-Ouest qui sont :

- La chaîne côtière,
- La vallée du Sébaou,
- Le massif montagneux de Grande Kabylie,
- La zone collinaire de Tizi-Ouzou,
- La dépression de Draa-El-Mizan,
- La chaîne de Djurdjura de type calcaire.

1.4.2. Le sol :

Les sols de la wilaya de Tizi-Ouzou sont de plusieurs natures. On trouve les sols peu évolués, les sols brunifiés, les sols calcimagnésiques, les sols sesquioxydes de fer rouge et les vertisols (MESROUK, 1984).

- **Les sols peu évolués :** Ce sont des sols jeunes, formés sur des alluvions récents. Ils forment ainsi la majeure partie des terrasses récentes.
 - **Les sols brunifiés :** Sont des sols avec un ou plusieurs horizons diagnostiques qui peuvent se former assez rapidement et ne présentent pas d'alluvions (MESROUK, 1984).
 - **Les vertisols :** Sont largement répandus dans la plaine de Sébaou (MESROUK, 1984).
-

1.4.3. L'hydrologie :

Tizi-Ouzou est une zone montagneuse qui bénéficie d'une forte pluviosité (1000 mm/an) répartie dans l'année, selon le régime climatique méditerranéen. Le réseau hydrographique est très dense, les capacités des stockages sont dérisoires. L'essentiel des eaux provenant du Djurdjura sont recueillies par l'Oued Sébaou qui constitue le plus important cours d'eau de la wilaya de Tizi-Ouzou, il occupe une superficie très importante de l'ordre de 2500 km² sur un périmètre de 240 km² et compte d'importants affluents, notamment l'Oued-Aissi, le barrage de Taksebt (175 millions de mètres), neufs petits barrages (HACHEMI et *al*, 2004).

1.4.4. La végétation :

La végétation est caractérisée par : l'olivier sauvage (l'oléastre), le genêt (d'où l'appellation de Tizi-Ouzou : le col de genêts), le laurier rose (dans les lits des oueds), les lentisques, le frêne et le chêne.

A ceci s'ajoutent les végétaux introduits par l'homme, tel le figuier, l'olivier, le cerisier, la vigne, les agrumes, l'eucalyptus....etc.

Proprement endommagé par les insectes, ce patrimoine végétal est toujours sous la menace du feu, en particulier pendant l'été.

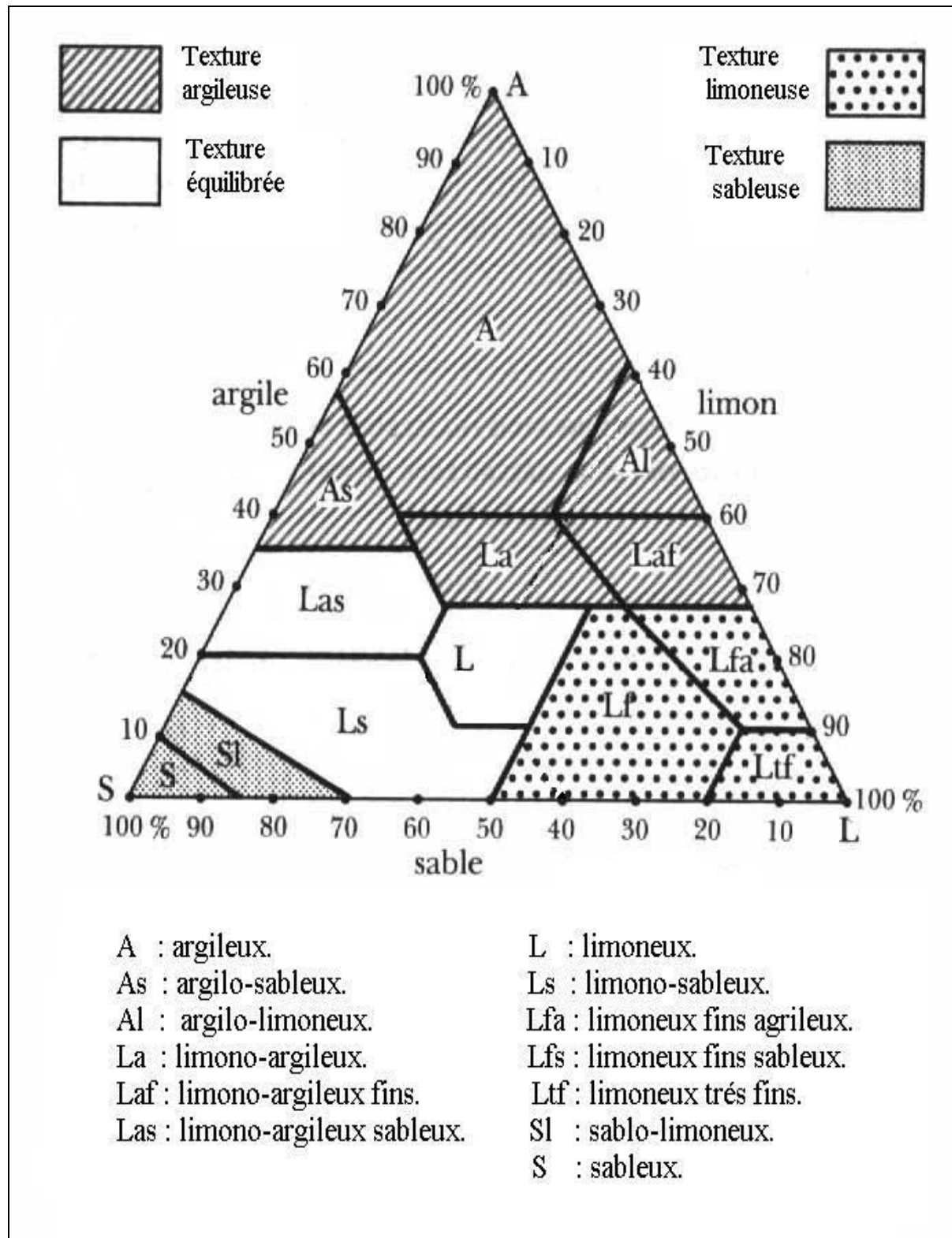
1.4.5. Le climat :

Le climat de la région de Tizi-Ouzou relève du climat méditerranéen caractérisé par :

- Un hiver froid à pluviosité importante,
- Un été chaud et sec.

Interprétation des résultats de l'analyse granulométrique :

Utilisation du triangle de texture (d'après U.S, département of agriculture).



**Interprétation des résultats des analyses chimiques du sol selon
Mémento de l'agronome 1993**

Echelle d'interprétation de la réaction du sol (pH)

Valeur pH	Qualification
< 4.5	Extrêmement acide
4.6 – 5	Très fortement acide
5.4 – 5.5	Fortement acide
5.6 – 6.75	Faiblement acide
6.75 – 7.3	Neutre
7.4 – 7.8	Légèrement alcalin
7.9 – 8.4	Moyennement alcalin
8.5 – 9	Fortement alcalin
> 9.1	Très fortement alcalin

Normes d'interprétation de la conductivité électrique du sol (ds/m à 25 °C)

C.E (ds/m)	Qualification
< 0.6	Non salé
0.6 – 1.4	Peu salé
1.4 – 2.4	Salé
2.4 – 6	Très salé

Correction pour calculer la CE à 25 °C.

Température °C	F (t)	Température °C	F (t)
10	1.411	20	1.115
11	1.375	21	1.095
12	1.341	22	1.064
13	1.309	23	1.043
14	1.277	24	1.020
15	1.247	25	1.000
16	1.218	26	0.979
17	1.189	27	0.960
18	1.163	28	0.942
19	1.136	29	0.929

Normes d'appréciation du calcaire total du sol

CaCO_{3t} (%)	Qualification
5 – 12.5	Faiblement calcaire
12.5 – 25	Modérément calcaire
25 – 37.5	Assez fortement calcaire
37.5 – 50	Fortement calcaire
> 50	Très fortement calcaire

Normes d'interprétation de la matière organique

MO %	Qualification
0 - 7	Très pauvre
0.7 – 1.5	Pauvre
1.5 – 3	Moyennement pourvu
3 – 6	Bien pourvu
> 6	Très bien pourvu

Tableau 4 : Analyses de la variance de nombre de nodules.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E
Var. Totale	111879,7	47	2380,418					111879,7
Var. Sol	270,75	1	270,75	0,942	0,34003			270,75
Var. Variété	92462,42	5	18492,48	64,353	0			92462,42
Var. inter Sol × Variété	8801,5	5	1760,3	6,126	0,00036			8801,5
Var. Résiduelle 1	10345	36	287,361			16,952	39,35%	10345

Tableau 5 : Résultats du test NEMAN-KEULS pour le nombre de nodules chez trois variétés de haricot dans deux différents sols.

Variété	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes		
3.0	T	100,875	A		
1.0	C	85,75	A	B	
2.0	Dj	71,875		B	
5.0	Dj(t)	0			C
6.0	T(t)	0			C
4.0	C(t)	0			C

Sol × Variété	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes		
1.0 3.0	E6 T	121	A		
2.0 1.0	E13 C	111,25	A		
2.0 3.0	E13 T	80,75		B	
2.0 2.0	E13 Dj	80,75		B	
1.0 2.0	E6 Dj	63		B	
1.0 1.0	E6 C	60,25		B	
1.0 5.0	E6 Dj(t)	0			C
2.0 4.0	E13 C(t)	0			C
2.0 5.0	E13 Dj(t)	0			C
2.0 6.0	E13 T(t)	0			C
1.0 6.0	E6 T(t)	0			C
1.0 4.0	E6 C(t)	0			C

Tableau 6 : Analyses de la variance de BNS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E
Var. Totale	0,052	47	0,001					0,052
Var. Sol	0	1	0	2,817	0,09816			0
Var. Variété	0,043	5	0,009	67,31	0			0,043
Var. inter Sol × Variété	0,005	5	0,001	7,464	0,00008			0,005
Var. Résiduelle 1	0,005	36	0			0,011	47,33%	0,005

Tableau 7 : Résultats du test NEMAN-KEULS pour la BNS chez trois variétés de haricot dans deux différents sols.

Variété	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes		
2.0	DJ	0,083	A		
3.0	T	0,035		B	
1.0	C	0,024		B	
5.0	Dj(t)	0			C
6.0	T(t)	0			C
4.0	C(t)	0			C

Sol × Variété	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes			
1.0 2.0	E6 Dj	0,107	A			
2.0 2.0	E13 Dj	0,059		B		
1.0 3.0	E6 T	0,036			C	
2.0 3.0	E13 T	0,035			C	
2.0 1.0	E13 C	0,032			C	
1.0 1.0	E6 C	0,016			C	D
1.0 5.0	E6 Dj(t)	0				D
2.0 4.0	E13 C(t)	0				D
2.0 5.0	E13 Dj(t)	0				D
2.0 6.0	E13 T(t)	0				D
1.0 6.0	E6 T(t)	0				D
1.0 4.0	E6 C(t)	0				D

Tableau 8 : Analyses de la variance de BRS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E
Var. Totale	0,082	47	0,002					0,082
Var. Sol	0,004	1	0,004	3,345	0,07238			0,004
Var. Variété	0,023	5	0,005	3,404	0,0128			0,023
Var. inter Sol × Variété	0,006	5	0,001	0,952	0,46055			0,006
Var. Résiduelle 1	0,048	36	0,001			0,037	29,18%	0,048

Tableau 9 : Résultats du test NEMAN-KEULS pour la BRS chez trois variétés de haricot dans deux différents sols.

Variété	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes	
1.0	C	0,157	A	
2.0	Dj	0,148	A	
3.0	T	0,122	A	B
5.0	Dj(t)	0,118	A	B
6.0	T(t)	0,116	A	B
4.0	C(t)	0,091		B

Tableau 10 : Analyses de la variance de BAS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E
Var. Totale	0,672	47	0,014					0,672
Var. Sol	0,038	1	0,038	5,571	0,02265			0,038
Var. Variété	0,303	5	0,061	8,808	0,00002			0,303
Var. inter Sol × Variété	0,082	5	0,016	2,374	0,05795			0,082
Var. Résiduelle 1	0,248	36	0,007			0,083	17,12%	0,248

Tableau 10 : Résultats du test NEMAN-KEULS pour la BRS chez trois variétés de haricot dans deux différents sols.

Sol	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes
2.0	E13	0,513	A
1.0	E6	0,456	B

Variété	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	C	0,635	A		
2.0	Dj	0,499		B	
6.0	T(t)	0,488		B	
3.0	T	0,481		B	
5.0	Dj(t)	0,433		B	C
4.0	C(t)	0,373			C

Tableau 11 : Analyses de la variance de BAS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E
Var. Totale	4298,724	47	91,462					4298,724
Var. Sol	272,653	1	272,653	372262,3	0			272,653
Var. Variété	3537,79	5	707,558	966052,4	0			3537,79
Var. inter Sol × Variété	488,255	5	97,651	133326,1	0			488,255
Var. Résiduelle 1	0,026	36	0,001			0,027	0,32%	0,026

Tableau 12 : Résultats du test NEMAN-KEULS pour le taux de mychorization chez trois variétés de haricot dans deux différents sols.

Sol	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes
2.0	E13	10,84	A
1.0	E6	6,073	B

Sol × Variété	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes		
3.0	T	19,87	A		
2.0	Dj	15,535		B	
1.0	C	15,335			C
5.0	Dj(t)	0			D
6.0	T(t)	0			D
4.0	C(t)	0			D
3.0	T	19,87	A		

Sol×Variété	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes						
2.0 3.0	E13 T	28,87	A						
2.0 1.0	E13 C	18,17		B					
2.0 2.0	E13 Dj	18			C				
1.0 2.0	E6 Dj	13,07				D			
1.0 1.0	E6 C	12,5					E		
1.0 3.0	E6 T	10,87						F	
1.0 5.0	E6 Dj(t)	0							G
2.0 4.0	E13 C(t)	0							G
2.0 5.0	E13 Dj(t)	0							G
2.0 6.0	E13 T(t)	0							G
1.0 6.0	E6 T(t)	0							G
1.0 4.0	E6 C(t)	0							G

Résumé

L'objectif de ce travail était de voir s'il existe une symbiose mixte-légumineuse (*Phaseolus vulgaris* L) sur deux types différents de sol : un sol issu d'une agriculture biologique et un autre issu d'une agriculture intensive. Pour mieux atteindre notre objectif sur le plan agronomique, une expérience s'est déroulée au laboratoire dans une mini serre en verre, sur trois variétés de haricot, à savoir : la Contender, El-Djadida et la Téma, dans le but de suivre et de comparer leurs développement et leurs activité microbiologique par rapport à deux différents sols (Intensif et biologique). Les résultats montrent que l'association symbiotique du haricot peut être mixte notamment haricot-rhizobia-mycorhize-endophytes. Cependant, nous notons que dans le sol intensif la mycorhization est faible et les endophytes sont plus présentes par rapport au sol biologique. Aussi, le nombre de vésicules dans les variétés du sol enrichi (intensif) est beaucoup plus faible.

Mots clés : Endophyte, Mycorhizes, Nodules, *Phaseolus vulgaris* L. Rhizobia.

The aim of this work is the was to see if there is a mixed-legume symbiosis (*Phaseolus vulgaris* L) on two different types of soil : a soil resulting from a biological agriculture and another resulting from an intensive agriculture. To better achieve our goal agronomically, an experiment was conducted in the laboratory in a mini glass greenhouse, on three varieties of beans, namely: the Contender, El-Djadida and Tema, in order to monitor and compare their development and their microbiological activity compared to two different soils (Intensive and biological). The results show that the symbiotic association of the bean can be mixed in particular bean-rhizobia-mycorrhiza-endophytes. However, we note that in intensive soil mycorhization is weak and endophytes are more present compared to the biological soil. Also, the number of vesicles in enriched (intensive) soil varieties is much lower.

Key words: Endophyte, Mycorrhizae, Nodules, *Phaseolus vulgaris* L. Rhizobia.