

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA 1



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLIGIES

Mémoire en vue de l'obtention de Master :

Biotechnologie et valorisation des plantes

Thème :

**Recherche et évaluation des potentialités biostimulantes
des mycorhizes à arbuscules sur la culture de la fève
(*vicia faba.L*)**

Présenté par : _ **Ali tagoubait Nour Elhouda**

Devant le jury composé de :

Mme Belguendouz.R	M.C.A	USDB1	Présidente
Mme Faidi.H	M.C.A	USDB1	Examinatrice
Mme Moumene S.	M.C.A	USDB1	Promotrice
Mr Elbey.M	Doctorant	USDB1	CO-Promoteur

Année universitaire : 2020/2021

Epigraphe

La biotechnologie permettant
Désormais d'envisager des interventions
conséquentes sur le génome humain, on
assiste à la disparition progressive de la
frontière entre la nature que nous sommes
et l'équipement organique dont nous nous
dotons.

Tables des matières

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Tables des matières

Introduction1

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

1. Généralité sur la plante hôte (<i>vicia faba</i> L.)	
1.1. Historique et origine de la fève.....	4
1.2. Position systématique de la fève.....	4
1.3. Description de la plante hôte.....	5
1.4. Cycle biologique et développement annuelle de la fève.....	9
1.5. Situation et importance de la culture de la fève.....	10
1.6. La culture de la fève.....	11
1.7. Différentes variétés de la fève (<i>vicia faba</i> L.) présente en Algérie.....	12
1.8. Les contraintes de la culture.....	13
1.9. Intérêt de la culture de la fève.....	14
2. Généralité sur les mycorhizes	
2.1. Historique.....	16
2.2. Définition.....	16
2.3. Type des mycorhizes.....	16
2.4. Rôle des mycorhizes.....	18
2.4.1. Nutrition minéral.....	19
2.4.2. Résistance à la sécheresse.....	20
2.4.3. amélioration de l'agrégation du sol.....	20
2.4.4. production d'hormone.....	21
2.4.5. protection phytosanitaire.....	21
2.4.6. interaction des champignons mycorhiziens avec la microflore du sol.....	22

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

2.1. introduction.....	24
2.2. Matériel biologique.....	24
2.3. Installation du l'essai de culture.....	24
2.3.1. Préparation du substrat de culture.....	24
2.3.2. Dispositif expérimental.....	25
2.3.3. Lecture des résultats.....	26
2.3.4. Recherche des contraintes phytosanitaires.....	27
2.3.5. Etudes de la mycorhization.....	27
2.3.6. Analyse statistique.....	28

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

Résultat

3.1. Etude des paramètres de croissance.....	30
3.1.1. La hauteur des plantes.....	30
3.1.2. Le nombre de feuilles.....	32
3.1.3. Le nombre de fleurs.....	34
3.1.4. Le nombre de gousses.....	36
3.1.5. Pois sec de la plante.....	37
3.2. Teneur en pigments foliaires.....	38
3.3. Etat phytosanitaires des plantes.....	39
3.4. Suivis de la mycorhization des plantes inoculés.....	40
Discussion.....	42
Conclusion générale.....	43
Référence bibliographie.....	45
Annexes	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : la production mondiale de fève, campagne 2016 /2017

Tableau 2 : Evaluation de la superficie et production de la fève en Algérie

Tableau 3 : Le tableau nutritif de la fève (*Vicia faba* L.)

Tableau 4: mycorhization des plants traités en fonction du temps

Liste des Figures

Figure 1 : représente des racines de la plante hôte *Vicia faba* L.

Figure 2 : la tige de *Vicia faba* L.

Figure 3 : les feuilles de *Vicia faba* L.

Figure 4 : les fleurs de *Vicia faba* L.

Figure 5 : les fruits de *Vicia faba* L.

Figure 6 : les graines de *Vicia faba* L.

Figure 7 : graines de la fève (*Vicia faba* L.) en germination

Figure 8 : principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de racine d'après de le Tacon, 1985

Figure 9 : le développement de mycorhize arbusculaire à l'intérieur d'une cellule végétale

Figure 10 : racines colorées montées sur des lames

Figure 11: analyse de la variance des hauteurs des plantes de fève cultivée selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 12: cinétique de la croissance de la tige principale sur les 9 semaines de culture traitée à l'inoculum endémique (TA), et l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 13: analyse de la variance du nombre de feuilles produites par les plants de la fève traités à l'inoculum endémique (TA), et l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 114: Cinétique de la production des feuilles sur les 9 semaines de culture de fève traitée par l'inoculum endémique (TA), l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 115: analyse de variance du nombre de fleurs produites par les plantes de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 116: Cinétique de la floraison sur les 9 semaines de culture de la fève traitée par l'inoculum endémique (TA), l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 17: étude de la variance du nombre de gousses produites par les plantes de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 18: Cinétique de la production des gousses sur les 9 semaines de la culture des plantes de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 19: analyse de variance de poids sec des plants de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 20: histogramme des concentrations en pigments foliaires à la 4^{ème}, 6^{ème} et 8^{ème} semaines et selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST).

Figure 21: évaluation des taux de l'infestation des plants de fève par les pucerons chez les plantes de fèves selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Figure 22: les plants de la fève infestés par les pucerons

Figure 23 : observation microscopique de racines mycorhizées des plantes de fèves inoculées par les mycorhizes endémiques.

Liste des abréviations

- ADN: Acide Désoxyribonucléique
- AM: Mycorhize arbusculaire
- Ar: Arbuscule
- ARN: Acide Ribonucléique
- ATP: Adénosine triphosphate
- CMA: champignons mycorhiziens arbusculaire
- h: Hectare
- KOH: Hydroxyde de potassium
- myc: mycélium
- pH: Potentiel Hydrogène
- qx: quintaux
- ST: sol témoin
- TA: mycorhize endémique
- TC: mycorhize canadienne
- Ves: vésicule

Remerciement

*Avant tout, je dois remercier ALLAH qui m'a donné l'envie et la force
Pour mener à terme ce travail*

*Ce travail de thèse à été réalisé Au laboratoire de biotechnologie et Valorisation des
plantes médicinales et aromatiques l'université de Saad dahleb, Blida.*

*Mes remerciements s'adressent particulièrement à M^m **MOUMENE S**, pour avoir dirigé
ce mémoire. Je la remercie infiniment pour la confiance et le respect qu'elle m'à toujours
accordé et pour les idées qui m'ont beaucoup aidée à progresser. Sa haute compétence, ses
qualités humaines, ses conseils judicieux ont été pour moi une source inestimable de
réconfort et d'encouragements pour mener à terme ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression
de ma profonde gratitude.*

*Mes remerciements vont également à M^r **Mohamed Amine Elbey**, qui m'a régulièrement
suivie dans la réalisation de ce travail, pour son soutien, ses conseils, sa simplicité, sa
générosité scientifique et ses qualités humaines.*

*Mes remerciements vont M^m **Belguendouz.R** pour avoir accepté de présider jury de
thèse.*

*Je tiens également à remercier M^m **FAIDI .H** qui m'a fait l'honneur de juger ce travail.*

*Je remercie également toute l'équipe du laboratoire de biotechnologie et valorisation des
plantes médicinales, aromatiques de la Faculté de science de la nature et de vie à l'université
de Blida surtout « **Safia Benamor** »*

Dédicace

A mes très chers parents

Je dédie ce mémoire à mes parents, pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études.

Aucun mot, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération, et mon amour pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être.

Trouvez ici, chère mère et cher père, dans ce modeste travail, le fruit de tant de dévouements et sacrifices ainsi que l'expression de ma gratitude et de mon profond amour.

Puisse Dieu leur accorder santé, bonheur, prospérité et longue vie afin que je puisse un jour combler de joie leurs vieux jours.

A mes chères sœurs Aicha, Wissal pour leurs encouragements, et leur soutien moral, A mon petit frère Abd el Rahmen que j'aime beaucoup.

A mes amies Yousra, Wissam, Ilham, Nesrine, Sirine, Fatima, Fella, Maroua, Hanan, Amel

Nulle dédicace ne pourrait exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude pour tous les encouragements et soutiens qu'ils ont consentis à mon égard.

Résumé :

La présente étude vise l'évaluation de l'effet biostimulant des mycorhizes à arbuscules pour l'augmentation de la croissance de la fève (*Vicia faba* L.), deux traitements ont été étudiés : un inoculum mycorhizien formulé du Canada (TC) et un inoculum mycorhizien endémique (TA), appliqués sur une culture de fève de la variété « histel » en pots et sous serre, comparés à un lot témoin composé de substrat stérile dans les mêmes conditions culturales, L'inoculation a permis l'apparition d'une symbiose mycorhizienne à arbuscule à partir de la 6^{ème} semaine chez le lot traité à l'inoculum endémique. Nous avons observé une absence totale des structures mycorhiziennes chez les plants inoculés à l'inoculum canadien et chez le lot témoin. L'absence de mycorhization chez les plantes inoculées par les mycorhizes canadiennes serait due aux conditions climatiques non adéquates à leur développement. L'inoculum endémique a induit une meilleure croissance de la tige (83,46 cm) chez la fève par rapport au témoin, quant au nombre de feuilles l'inoculum canadien a induit un meilleur rendement (129,2 feuilles en moyenne). Concernant le nombre des fleurs et des gousses, le poids sec racinaire et aérien, ont donné des différences non significatives entre les différents traitements et les plants témoins. Concernant les concentrations des pigments chlorophylliens, le lot témoins a donné un meilleur résultat à la quatrième semaine (24,63 mg/g de feuille), à partir de la sixième semaine c'est le lot inoculé aux mycorhizes endémiques algériennes qui a montré les meilleurs résultats (15,30 mg/g de feuille).

Mots clés : mycorhizes, *Vicia faba* L. biostimulation, inoculum

Abstract: (Research and evaluation of the biostimulating potential of arbuscular mycorrhizae on the culture of the bean (*Vicia faba* L.)).

The present study is concerned with the evaluation of the biostimulating effect of arbuscular mycorrhizae for the increase of the yield of the bean (*Vicia faba* L.), two treatments were studied: a formulated mycorrhizal inoculum from Canada (TC) and an endemic mycorrhizal inoculum (TA), applied to a bean culture of the variety "histel" in pots and in greenhouses, compared to a control batch composed of sterile substrate under the same growing conditions, Inoculation allowed the development of an arbuscular mycorrhizal symbiosis from the 6th week in the batch treated with the endemic inoculum. We observed a complete absence of mycorrhizal structures in plants inoculated with Canadian inoculum and in the control lot. The absence of mycorrhizae in plants inoculated by Canadian mycorrhizae is due to climatic conditions not adequate for their development.

The endemic inoculum induced better stem growth (83.46 cm on average), while the Canadian inoculum induced a better yield in the number of leaves (129.2 leaves on average). Concerning the number of flowers and pods, the dry weight root and aerial parts of the plants, gave non-significant differences statistically between the different treatments and the control plants.

Regarding the concentrations of chlorophyll pigments, the control batch gave a better result at the fourth week (24.63 mg / g of leaf), from the sixth week it was the batch inoculated with endemic Algerian mycorrhizae which showed the best chlorophyll concentrations (15.30 mg / g of leaf).

Key words: mycorrhizae, *Vicia faba* L., biostimulation, inoculum.

ملخص: (البحث والتقييم من إمكانات التحفيز الحيوي من *mycorrhizae arbuscular* على زراعة فول (*vicia faba L.*)

الغرض من هذه الدراسة هو تقييم تأثير المحفزة بيولوجيا من *mycorrhizae arbuscular* لزيادة غلة الفول (فيسيا فابا L.) ، ودرس علاجين : *inoculum mycorrhizal* وضعت من كندا (TC) والمتوطنة *inoculum mycorrhizal* (TA)) ، وتطبيقها على ثقافة الفاصوليا من مجموعة متنوعة "histel" في الأواني وفي الدفيئة ، مقارنة بدفعة تحكم مكونة من ركيزة معقمة في نفس ظروف النمو، سمح التطعيم بظهور تكافل ال *mycorrhizal* الى *arbuscule* من الأسبوع السادس في الكثير المعالجة مع *inoculum* المتوطنة. لاحظنا غيابا تاما للهياكل *mycorrhizal* في النباتات تلقى مع *inoculum* الكندية وفي الكثير السيطرة. غياب *mycorrhizae* في النباتات التي تلقىها *mycorrhizae* الكندية ويرجع ذلك إلى الظروف المناخية التي لا تكفي لتنميتها. المستشري *inoculum* تسبب في تحسين نمو الجذعية (83.46 سم) في الفول، في حين أن عدد يترك *inoculum* الكندية تسبب في غلة أفضل (129.2 يترك في المتوسط). فيما يتعلق بعدد الزهور والقرون ، أعطى الجذر والوزن الجاف الجوي ، اختلافات غير كبيرة بين العلاجات المختلفة ونباتات التحكم. وفيما يتعلق بتركيزات أصباغ الكلوروفل، أعطى الكثير السيطرة على نتيجة أفضل في الأسبوع الرابع (24.63 ملغ / غرام من ورقة)، من الأسبوع السادس هو الكثير تلقى مع *mycorrhizae* الجزائرية المتوطنة التي أظهرت أفضل النتائج (15.30 ملغ / غرام من ورقة).

الكلمات الرئيسية: فطريات جذرية شجيرية ، الفول. *Vicia faba L.* . التحفيز الحيوي ، اللقاح.

Introduction

Introduction

Introduction :

Les légumineuses alimentaires constituent une source importante de nutrition humaine vue leur richesse en hydrates de carbones, en vitamines, en éléments minéraux et principalement en protéines végétales servant à corriger le déficit en protéines animales (Anthleme, 1978 ; Benabdeli, 2002 ; Shaht et *al.*, 2008 ; Ben Mbarek et *al.*, 2009 ; Rajeev et *al.*, 2013 ; Sagel et *al.*, 2009).

Les superficies consacrées à leur culture varient d'une année à l'autre. La production mondiale des légumineuses est en progression régulière depuis les années 1960. En 2014, le premier pays producteur de légumineuses au monde était l'Inde, Venaient ensuite le Canada, le Myanmar, la Chine, le Brésil et l'Australie. Les trois plus gros pays producteurs d'Europe et d'Asie centrale sont la Fédération de Russie, suivie de la Turquie et de la France (FAO, 2016).

Parmi les légumineuses, la fève représente une production mondiale de 3.515.748 T. La Chine est le plus producteur avec 1.650.000 T pour la campagne 2016/2017, puis vient l'Ethiopie en deuxième position avec une production de 610.845T. La France est Classée en troisième position (FAO, 2017).

En Algérie, la fève reste la plus importante culture vivrière, couvrant une surface de 58.000 hectares avec une production totale de 254.000 tonnes (Laamari et *al.*, 2008). Elle occupe la première place parmi les légumineuses en Algérie en raison de sa valeur nutritionnelle élevée et de ses divers usages. Elle est principalement cultivée dans les plaines et les régions sublittorales ; et a un rôle important dans l'économie nationale et dans la production agricole (Aouar-Sadli et *al.*, 2008).

Cependant, cette culture est soumise à certaines contraintes, limitant sa production, sa croissance et son extension. Ces dernières peuvent être abiotiques (sécheresse, gelées...) et / ou biotiques (virus, insectes....) (Zaghouane, 1991).

En effet, Les plantes vasculaires terrestres sont capables d'établir des symbioses avec de nombreux micro-organismes utiles. Au niveau des racines, les plantes peuvent se combiner avec des champignons mycorhiziens pour produire des mycorhizes. Ces symbiotes sont très communs dans divers écosystèmes terrestres, même dans les régions arides telles que les zones tempérées (Parniske, 2005.).

Introduction

L'interaction mycorhizienne se caractérise par un transfert bidirectionnel de nutriments. Le CMA champignon mycorhizien à arbuscules (CMA), étant hétérotrophe pour le carbone, qui provient de la plante. Les CMA, en échange du carbone fourni par la plante, améliorent la nutrition hydrique et minérale de celle-ci. Ces échanges nutritionnels réciproques assurent le bon fonctionnement de cette symbiose mutualiste. Ils permettent non seulement une meilleure croissance des deux partenaires symbiotiques mais également une meilleure résistance de la plante aux stress environnementaux biotiques et abiotiques (Lenoir, I et *al.*, 2016).

Ainsi, les quantités importantes de fertilisants chimiques apportés à cette culture occupant une place importante au sein de l'agriculture nationale et dont la sécurité alimentaire dépend, nous avons jugé important de rechercher des alternatives biologiques et respectueuses de l'environnement. Notre modeste travail vise en premier lieu à établir le statut mycorhizien de la fève dans les conditions culturales conventionnelles, ensuite nous tentons d'évaluer l'effet biostimulant des champignons mycorhiziens à arbuscules sur la culture de la fève (*Vicia faba* L.) dans des conditions contrôlées sous serre, pour ce faire nous avons suivi cette culture en évaluant les paramètres de croissance par des prises de mesures morphométriques et un suivi ponctuel sur une durée de 9 semaines pour déterminer les teneurs en chlorophylle, l'état phytosanitaire et la mycorhization des plantes.

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

1. Généralité sur la plante hôte (*Vicia faba* L.)

1.1. Historique et origine de la fève

Selon Mathon, (1985), la fève est l'une des plus vieilles légumineuses issues de plantes cultivées par l'homme depuis le Néolithique, elle est originaire des régions méditerranéennes du Moyen-Orient. Selon Peron, (2006), c'est la plus vieille variété végétale introduite en agriculture (10 000 ans).

D'après Gallias et Bannerot, (1992) et Nuessly et *al.*, (2004), l'espèce *Vicia faba* L. regroupe les trois sous-espèces :

-*Vicia faba* major, la fève maraichère à grosses graines destinées à la consommation humaines.

-*Vicia faba* minor, la petite fève ou féverole utilisée pour l'alimentation du bétail.

-*Vicia faba* equina, la fève à cheval à grains moyen aussi appelée féverole ou févette dans certaines régions, comme son nom l'indique, elle également destinée à l'alimentation du bétail.

1.2. Position systématique

La fève est une plante annuelle appartenant à la famille des légumineuses, appelées

Vicia faba L.

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

Selon Dajoz, (2000), la fève est classée comme suit :

- Règne : Plante
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiosperme
- Classe : Dicotylédone
- Sous-classe : Dialypétales
- Série : Calicifores
- Ordre : Rosales
- Famille : Fabacées (légumineuses)
- Sous-famille : Papilionacées
- Genre : *Vicia*
- Espèce : *Vicia faba* L.

1.3. Description botanique

Vicia faba L. est une plante diploïde ($2n=12$). elle fait partie des plantes hétérosexuels (Wang et *al.*, 2012). Elle est composée d'organes végétaux et d'instruments la reproduction. Le système nutritionnel comprend : les racines, la tige et les feuilles. Son système reproducteur, est composé de fleurs qui sont à l'origine des fruits et des graines.

D'après Duc (1997), le système racinaire de *Vicia faba* L. est composé d'une racine principale pivotante et des racines secondaires portant parfois des nodules (Figure 1) renfermant des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum*).

Selon Chaux et Foury (1997), le système racinaire de la fève pouvant atteindre jusqu'à 80 cm de profondeur, il est riche en nodules dans les 30 premiers centimètres.

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques



Figure 17: Morphologie des racines de la plante hôte *Vicia faba* L. (Daoui, 2007)

La tige est simple (Figure 2), droite, creuse et a une section transversale quadrilatérale. La hauteur est généralement comprise entre 0,80 à 1,20 m. Selon Chaux et Foury, (1994),



Figure 18 : la tige de *Vicia faba* L. (Daoui, 2007)

Les feuilles sont alternes, composées-pennées, composées de deux (02) à quatre (04) paires de folioles ovales, courtes et pointues, aucune vrille, de couleur blanc-vert à gris clair. Les stipules vont bien visibles en forme dentées (Figure3) (Chaux et Foury, 1994).

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques



Figure 19 : morphologie des feuilles de *Vicia faba* L. (Daoui, 2007)

Les fleurs sont en forme de papillon et varient en hauteur de deux (02) à trois (03) cm de long. Leur couleur est blanche, brunes ou violettes. Chacune a une Aile maculées noires ou brunes (Duc, 1997).

L'inflorescence est une grappe axillaire portant d'une (01) à six (06) fleurs. La fleur est constituée d'un calice à cinq à (05) sépales, et d'une corolle blanche à cinq (05) pétales (carène, aile et étendard), 10 étamines parmi ceux-ci, neuf (09) étaient soudés et une (01) libre (Figure 4).

L'ovaire est supérieur et sessile, avec deux (02) à quatre (04) ovules allant parfois jusqu'à neuf nœuds (09), (Brink et Belay, 2006).

La reproduction chez la fève peut être basée sur les lignées auto correspondantes, mais l'activité de butinage des abeilles sur la fève assure la pollinisation croisée et augmente considérablement le rendement. La plante est comparée à l'autofécondation (Benachour et *al.*, 2007).

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques



Figure 20 : Morphologie des fleurs de *Vicia faba* L. (Daoui, 2007)

Le fruit est une gousse charnue, qui peut avoir la longueur de 10 à 20 cm (Figure 5). Il dépend de la variété et contient un nombre variable de graines (4 à 9). Lorsqu'elles sont jeunes, mais quand elles arrivent à maturité, le vert s'assombrit. Chaux et Foury, (1994). Ces gousses ont un bec et elles sont en graines (Brink et Belay, 2006).



Figure 21 : Morphologies des fruits de *Vicia faba* L. (Daoui, 2007)

Les graines sont charnues, de couleur vert tendre à l'état immature (Figure 6), elles développent, à maturité complète, un tégument épais et coriace de couleur brun rouge à blanc verdâtre et prend une forme aplatie à couleur presque circulaire ou réniforme (Chaux et Foury, 1994).

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

Les graines possèdent un hile clair ou de couleur noir parfois entouré de taches de couleur marron (Duc, 1997).

Chaux et Foury (1994) rapportent que la faculté germinative de la graine peut se maintenir 6 à 10 ans et même au-delà et que la graine est à germination hypogée c'est-à-dire que les cotylédons restent en terre et c'est l'épicotyle qui émerge du sol (Figure 6).



Figure 22: Morphologie des graines immatures(a) et des graines matures (b) de *Vicia faba* L. (Daoui, 2007)

1.4.Cycle biologique et développement annuelle de la fève

Le cycle biologique de la fève est variable dans le temps en fonction du type, de la date de semis et les conditions environnementales. Cinq étapes principales sont distinguées pour caractériser la croissance de la fève à savoir : la germination et l'émergence, le développement végétatif, reproducteur, sénescence des la gousses et sénescence de la tige. Le développement se poursuit plus tard lorsque le développement reproducteur a déjà commencé, ce qui signifie que les deux stades sont simultanés. (Brink et Belay, 2006).

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques



Figure 23 : phases de germination des graines de la fève (*Vicia faba* L.) en germination (Brink et Belay, 2006)

1.5.Situation et importance de La culture de la fève

Les légumineuses sont d'une importance incontestable. Elles contribuent dans l'amélioration de la fertilité du sol et rentrent dans l'alimentation humaine et du cheptel. Les légumineuses à graines fournissent au moins 33% des besoins en protéines de l'alimentation humaine. Cette part de marché est principalement assurée par les cultures du petit pois, l'haricot, le pois chiche, et la fève. Ces dernières cultures ont une importance considérable dans les pays d'Asie, du Nord et du Nord-est de l'Afrique. Parmi les légumineuses, la fève, qui représente une production mondiale de 351850 T. La Chine est le plus grand pays producteur avec 1650300 T pour la campagne 2016/2017, puis vient l'Éthiopie en deuxième position avec une production de 610875 T, la France est classée en troisième position (FAO, 2017).

Tableau 3 : la production mondiale de fève, campagne 2016 /2017

Position	Pays	Production (T)
1	chine	1650300
2	Ethiopie	610875
3	France	438450
4	Egypte	297930
5	Maroc	153080
6	Australie	192030
7	Soudan	112540
8	Royaume-Uni	100300

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

9	Italie	97420
10	Tunisie	70230
11	Pérou	69645
12	République Arabe Syrienne	37798
13	Algérie	36517

L'objectif de La nouvelle politique du ministère de l'Agriculture et du Développement Rural en Algérie, vise à développer l'économie du pays comme objectif, la sécurité alimentaire, il est lié à la production végétale et au développement de légumineuses sèches.

En Algérie, la fève est semée en automne et fleuri entre février et avril. Il est signalé qu'elle est cultivée dans les régions agro-écologiques d'Algérie. On la retrouve dans les plaines côtières, les plaines intérieures et les plateaux, (Benachour et *al.*, 2007).

En raison de son exigence hydrique et thermique, 80% de la superficie de fève est cultivée dans les zones de plaines côtières et intérieures (Benachour et *al.*, 2007).

La superficie de fève en 2009-2010 est de (34250 ha) avec une production de 128950 qx, par contre en 2013-2014 la superficie de cette culture est la plus élevée durant les années de 2009-2015 (36777ha), avec une production aussi élevée (320530)

Les données statistiques agricoles sur la superficie et la production de la fève en Algérie pour la décennie 2009-2015 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Evaluation de la superficie et production de la fève en Algérie (Benachour et *al.*, 2007.)

Compagne agricole	Superficie (ha)	Production (qx)
2009-2010	34250	128950
2010-2011	31450	212300
2011-2012	33610	229330
2012-2013	34050	307000
2013-2014	36777	320530
2014-2015	35082	268860

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

1.6. La culture de la fève

Il est recommandé de procéder à un labour dans le but de travailler profondément le sol, d'éliminer les obstacles structuraux et assurer une bonne infiltration des eaux de pluie, et un meilleur développement du système racinaire. (Koppen; Verschaeve, 1996).

Il est également prodigué d'obtenir un lit de semence appuyé et non soufflé. La reprise superficielle du sol doit être faite à l'aide d'un outil à disque comme le pulvérisateur dissymétrique léger (COVE CROP), qui peut être suivi d'un hersage ou d'un roulage selon l'état du sol. (Ocaña et *al.*, 1996)

La fève, qui est une légumineuse fixatrice de l'azote atmosphérique, aucun apport azoté n'est nécessaire. Cependant, un apport initial d'environ 20 unités d'azote /ha, soit environ 50 Kg/ha d'urée ou 60 Kg/ha d'ammonitrate au début du cycle à la plante à travers les nodosités. (Douba, 2016).

Il est nécessaire d'ajouter une fumure organique de 5t/ha et un complément phosphopotassique modéré 35 Kg. (Ocaña et *al.*, 1996).

Le semis de fève doit avoir lieu de mi-octobre à fin décembre selon les zones agroclimatiques. Les semis précoces sont préconisés pour les zones côtières et les semis tardifs pour les plaines intérieures et les zones montagne. La levée intervient généralement entre 10 et 20 jours, suivant la température du sol. (Daoui et *al.*, 2009).

Il est important de faire un semis précoce des les première pluies d'automne sans dépasser le début de décembre, car les cultures trop tardives peuvent souffrir de la sécheresse de fin de saison (été). Ainsi on évitera aussi de faire coïncider la période de floraison à la période gélive, et aussi le danger d'attaque les pucerons. (Daoui et *al.*, 2009).

Il est recommandé, en semis manuel, de semer une graine tous les 40 cm, en lignes distantes de 70 à 80 cm dans un sillon profond de 5 cm, selon la technique choisie pour la lutte contre les adventices. Ceci correspond à une dose comprise entre 80 et 180 Kg/ha. (Daoui et *al.*, 2009)

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

1.7. Différentes variétés de la fève (*Vicia faba* L.) présente en Algérie

Quatre variétés de fèves, et la féverole sont utilisées en Algérie :

- La séville est une variété précoce avec de longues gousses, renferment cinq (5) à six (6) grains volumineux. Sa tige mesure de 70 cm de haut, diffère des autres variétés par la couleur du feuillage qui est d'un vert assez évident (Chaux et Foury, 1994). Ses gousses mesurent actuellement environ 3 cm de large et une longueur de 25 cm.
- Aguadule possède des gousses de couleur ver franc, volumineuse et très longue, pouvant atteindre 20 à 25 cm renfermant sept (07) à neuf (09) graines. c'est une variété très productive (Chaux et Foury, 1994). Elle est introduite, avec la Séville d'Espagne (Zaghouane, 1991).
- Muchaniel est une variété très précoce, elle a des gousses de couleur vert claire, de 20 cm de longueur en moyenne, renfermant cinq (05) à six (06) grains blancs, elle est très productive (Chaux et Foury, 1994).
- Sidi Moussa est sélectionnée à El-Harrach en 1965, elle est convenable à tous les sols, résiste aux maladies cryptogamiques (*Botrytis*), aux insectes (*Aphis fabae*), aux plantes parasites (*Orobanche sp*) et aux nématodes (Zaghouane, 1991).
- La féverole possède un système racinaire très repoussant et structurant, et de surcroît l'une des plus performantes, en matière de fixation de l'azote (Thomas, 2008).

1.8. Les contraintes de la culture

En Algérie la culture de la fève est soumise à un certain nombre de contraintes, qui limitent sa production, son développement et son extension, ces contraintes sont d'abord biotiques et abiotiques.

Les plus importantes contraintes abiotiques qui influent sur les fèves par ordre d'importance, les froids hivernaux, les gelées printanières, la sécheresse terminale, la chaleur et la salinité. (Zaghouane, 1991)

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

- **Les Mauvaises herbes :**

La fève est une plante peu compétitive vis-à-vis des mauvaises herbes, particulièrement pendant le stade plantule. Les pertes de rendements liées au manque de désherbage ou à un désherbage inadéquat varient entre 30 à 70%. Le désherbage est donc très important pour permettre des rendements optimums (Zaghouane, 1991).

Il est préconisé de nettoyer les champs de fève pendant les premiers deux mois du cycle de la culture. Ce nettoyage peut se faire manuellement pour les parcelles de petites superficies (Zaghouan, 1991).

Par ailleurs, les principales contraintes biotiques qui limitent la culture de la fève sont représentées par les virus, les insectes, les nématodes et les maladies fongiques.

Un grand nombre de maladies virales est rencontré sur la fève. Ces virus sont pour la plupart disséminés dans les cultures par insectes vecteurs (pucerons, coléoptères) ou par la semence.(Zaghouane, 1991).

Les bruches et les pucerons sont de sérieux insectes qui influencent directement ou indirectement (par la transmission des virus) la productivité des fèves, lorsque les infections sont très sévères. (Zaghouane, 1991).

Parmi les nématodes les plus redoutables sur les légumineuses, on distingue *Ditylenchus dispaci*, qui provoque un gonflement du collet et un affaiblissement de la plante (Zaghouane, 1991).

Parmi les principaux agents fongiques pouvant provoquer des dégâts, on distingue ceux des taches foliaires pouvant induire une perte de 56% du rendement, les principales maladies fongiques que redoute la fève dont la maladie dite tache de chocolat causée par *Botrytis cinerea* et *Botrytis fabea*, (Zaghouane, 1991).

1.9.Intérêt de la culture de fève

Vicia faba L. est aujourd'hui l'une des cultures maraichères les plus cultivées dans le monde. Sa culture dans les pays du bassin méditerranéen représente environ de 25% de la superficie

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

totale cultivée et de la production mondiale de fèves, avec des rendements très proches de la moyenne mondiale (38 qx/ha) (Abrás et *al.*, 2016).

Comme toutes les légumineuses comestibles, la fève contribue aux nutriments azotés du sol, ce qui affecte le rendement des cultures qui les suivent (Khaledi et *al.*, 2002).

Selon Hamadach, 2003, les fèves améliorent la teneur du sol en azote avec un apport annuel de 20 à 40 kg /ha. Elle améliore également sa structure par son système racinaire puissant et dense. Ses résidus, s'ils sont enfouis ils enrichissent le sol en matière organique.

La fève est une plante alimentaire riche en matières nutritives et de santé. Sa composition est riche et diversifiée (Tableau 4)

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

Tableau 3 : Le tableau nutritif de la fève *Vicia faba* L. (Fachmann et Kraut, 2006).

Les éléments nutritifs
• Calories 151
• Calories provenant des lipides 4
• Lipides totaux 0,4 g 1
• Lipides saturés 0.1g 0
• Lipides polyinsaturés 2.4mg 0% 0
• Lipides moins saturés 2.1mg 1.1% 0
• Cholestérol 0mg 0% 0
• Sodium 9mg 0% 0
• Potassium 123,76 magnésium 3 % 3.9
• Glucides 34.7g 3.9% Glucides
• Fibres alimentaires 8.2g 33
• Sucres 0.3g
• Protéines 4.5g
Vitamine A 0% – Vitamine C 0%
• Calcium 3.1 % – Fer 10 %

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

2. Généralités sur les mycorhizes

2.1. Historique

Il y a de cela environ 400 millions d'années, les premières plantes ont quitté le milieu aquatique pour vivre sur la terre ferme. Cependant, ce changement ne se fait pas tout en un et seul aide. An revanche, les plantes qui ont besoin d'alliés pour ce tour sont puissante et parmi elles se trouvent les champignons. Grâce à leur combinaison avec certains champignons, les plantes ont pu survivre dans des environnements qui fournissent de l'humidité et de nutriments. Cette association, ou symbiose, est appelée mycorhize. (Ronsheim, 2012)

2.2. Définition

Par conséquent, le mot «mycorhize » signifie une combinaison d'un champignon et d'une racine de plante. En fait, cette association résulte d'un commun accord entre la plante et le champignon. Elle repose sur le fait que les deux partenaires bénéficient de cette liaison. Les champignons éliminent des sucres de la plante afin qu'elle puisse accéder aux minéraux des champignons. (van der Heijden et *al.*, 2015).

Les champignons ne sont pas tous des champignons mycorhiziens. En fait, certains ne forment pas de symbiote avec les plantes. On parle alors de champignons saprophytes ou pathogènes, qui se nourrissent de cellules végétales vivantes ou mortes. Tout comme ces autres champignons, les mycorhiziens ont une forme dite mycélienne, constituée d'un réseau d'hyphes qui ressemble en fait à un amas de filaments. Ces hyphes leur permettent de parcourir des distances beaucoup plus longues que les racines des plantes, ce qui leur donne accès à des nutriments inaccessibles par les plantes. (Standish et *al.*, 2007).

2.3. Les types des mycorhizes

Il existe deux types principaux de mycorhizes (Figure 8) définis par la relation physio-anatomique entre les deux partenaires (Peterson et *al.*, 2004) :

- **Les ectomycorhizes** : sont des associations courantes entre les plantes des régions tempérées (telles que les Fagacées, les Pinacées ou les Bétulacées) et les Ascomycètes ou les Basidiomycètes. (Boullard, 1982 ; Durrieu, 1993 ; lafon et *al.*, 1996).

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

Les champignons sont d'abord s'associés à des racines fines à croissance déterminée, dépourvues de poils absorbants. Ensuite, il enveloppe les racines d'une couche de mycélium, le manchon mycorhizien. D'autres hyphes se croissent entre les cellules à l'extérieur du parenchyme cortical, formant une interface symbiotique ou « réseau de Hartig ». La symbiose modifie l'apparence de la racine mycorhizée : elle gonfle, cesse de croître et peut se ramifier en grand nombre, (Boullard, 1990).

- **Les endomycorhizes** : se distingues en deux types : (Brundrett, 2002)
 - les endomycorhizes à vésicules et arbuscule (AM).
 - les endomycorhizes à pelotons.

Dans les deux cas, les hyphes pénètrent dans la paroi des cellules (de l'écorce). La paroi des hyphes est donc en contact avec la membrane plasmique de la cellule racinaire, sans la traverser. La surface de contact peut être augmentée par la formation de ramification. Les racines ne sont pas déformées. (Smith et *al.*, 2008).

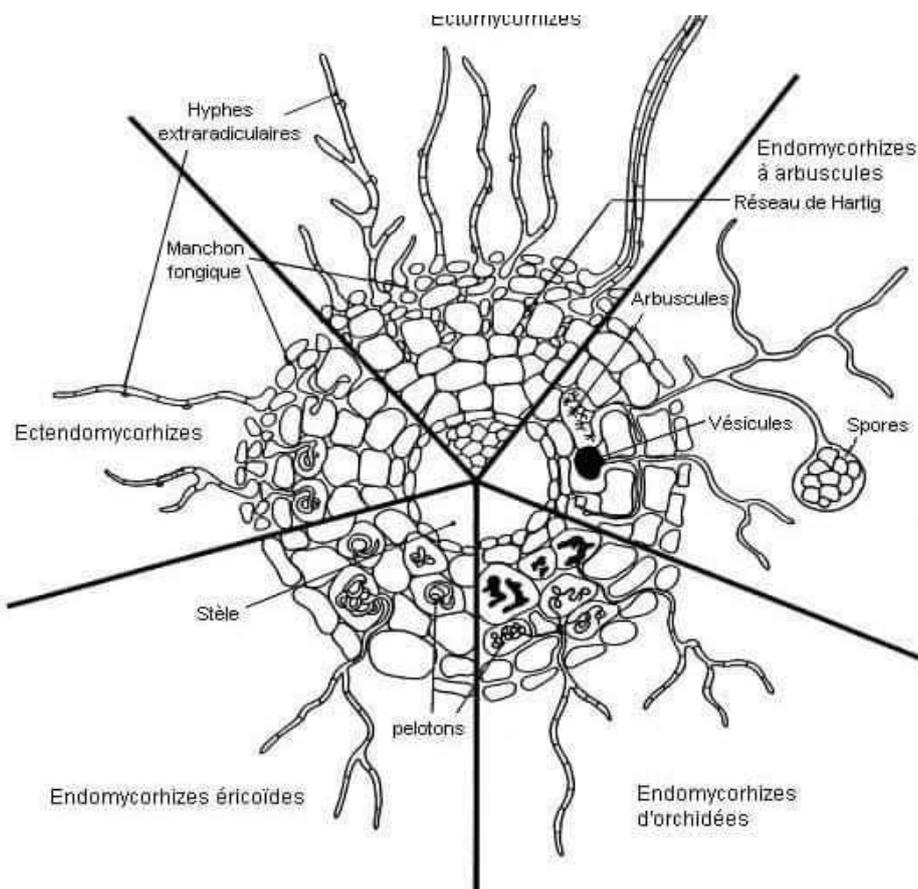


Figure 8 : principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de racine d'après de le Tacon, 1985

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

- **Les endomycorhizes à arbuscules** : est le cas le plus répandu. Elles impliquent des champignons Gloméromycètes ayant perdu la reproduction sexuée. Les hyphes s'étendent dans le parenchyme cortical de racine, formant des vésicules contenant des réserves, et des arbuscules (Figure 9).

Les endomycorhizes à pelotons intracellulaires : les hyphes forment des amas dans les cellules corticales. Elles impliquent des basidiomycètes, en symbiose avec les orchidacées. (Smith *et al.*, 2008).

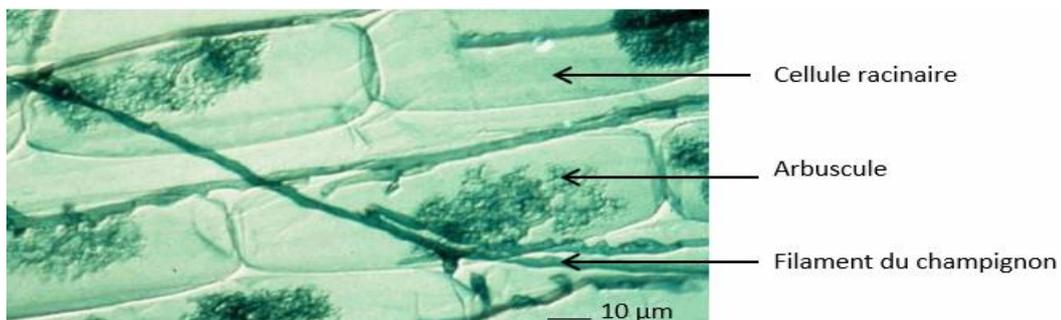


Figure 9 : le développement de mycorhize arbusculaire à l'intérieur d'une cellule végétale (Smith *et al.*, 2008)

- **Les ectendomycorhizes** : c'est lorsque les ectomycorhizes et les endomycorhizes soient présents en même temps sur une racine. le premier type est minoritaire et concerne surtout les arbres, le second est majoritaire et concerne presque tous les végétaux. Ils montrent simultanément, un manteau réduit ou absent qui possède un réseau de *Hartig* bien développé, des structures des ectomycorhizes et des hyphes qui pénètrent dans les cellules racinaires, des structures des endomycorhizes. (Smith *et al.*, 2008).

2.4.Rôle des mycorhizes

Les champignons mycorhiziens arbusculaires représentent un élément important dans le développement d'une agriculture alternative, moins polluante et sans résidus chimiques dans ses produits, (Jeffries *et al.*, 2003). Ils jouent un rôle très important dans les aspects suivants :

-L'amélioration de nutrition minérale de plante (Grimodli *et al.*, 2005).

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

- La résistance à la sécheresse (Neumann et George, 2004).
- L'agrégation du sol (Piotrowski et *al.*, 2004).
- La production d'hormone et la floraison précoce des plantes hôtes (Gaur et Adholeya, 2005 ; Usha et *al.*, 2005).
- La protection phytosanitaire (Doumas-Gaudot, 2000 ; Whipps, 2004).
- L'amélioration de la fixation d'azote atmosphérique par le biais de l'augmentation du nombre et du poids des nodules (Jia et Gray, 2004).

2.4.1. Nutrition minérale

La meilleure absorption d'éléments minéraux par les racines mycorhizées se fait essentiellement grâce à la capacité des champignons mycorhizogènes à les absorber du sol par leur filament et à les transférer ensuite vers les racines de la plante hôte (Gromoldi et *al.*, 2005).

Cette surface supplémentaire d'absorption apportée par la mycorhization est d'autant plus efficace que son développement, entraîne une économie dans la production racinaire (Gromoldi et *al.*, 2005). Ils améliorent ainsi la nutrition (phosphatée, azotée et en oligo-éléments) de la plante hôte.

Le phosphore est un élément essentiel à la vie végétale, il entre dans la composition du matériel génétique (ADN et ARN), intervient dans tous les échanges énergétiques sous forme d'ATP et participe à la régulation du métabolisme cellulaire sous forme d'AMP cyclique (Taylor et *al.*, 1997).

Les mycorhizes éliminent le phosphore (sous forme d'orthophosphate) des pools de phosphore soluble, grâce à leur pool d'enzyme comme les phytases et les phosphatases et donc transfèrent aux plantes à l'interface arbusculaire (Buscot et *al.*, 2000).

Par ailleurs, le rôle indirect des endomycorhizes dans la fixation de l'azote atmosphérique chez les légumineuses ne doit pas être ignoré, que cette dernière soit herbacée ou ligneuse (Provorov et *al.*, 2002).

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

Les premiers travaux sur la contribution des mycorhizes à la nutrition azotée de la plante hôte ont été menés sur les endomycorhizes éricoïdes, puis sur les ectomycorhizes (Plassard et *al.*, 1991).

L'intervention des endomycorhizes à arbuscules dans la nutrition azotée de la plante hôte a été jusqu'ici peu étudiée. Des études isotopiques ont pourtant démontré qu'au moins pour certains espèces, le champignon endomycorhize est bien le premier site de l'assimilation de l'azote pour la plante (Handley et *al.*, 1993).

Si l'amélioration de la nutrition minérale par la symbiose mycorhizienne a été surtout étudiée pour le phosphore, on sait qu'une nutrition équilibrée dépend aussi d'autres éléments tels que le soufre ou les oligo-éléments comme le cuivre, le zinc, le fer et le manganèse. Ces éléments sont peu mobiles dans le sol et on estime que le mécanisme d'absorption est le même que pour le phosphore, c'est-à-dire que l'augmentation de leur prélèvement est essentiellement due à une meilleure exploration par les hyphes extra-racinaires (Whipps, 2004).

2.4.2. Résistance à la sécheresse

L'infection mycorhizienne peut augmenter l'adaptation des plantes aux conditions de sécheresse. L'effet bénéfique de la mycorhization dans l'alimentation hydrique de la plante hôte est en partie lié au vaste réseau d'hyphes qui prospectent le sol augmentant ainsi la surface de contact entre le sol et le système racinaire, mais il existe également des mécanismes indirectes comme le contrôle de la régulation stomatique et l'ajustement osmotique de la plante par le champignon. Les plantes mycorhizées, soumises à des périodes de sécheresse ont un meilleur développement que celles non mycorhizées et résistent mieux au stress hydrique (Neumann et *al.*, 2004).

2.4.3. Amélioration de l'agrégation du sol

Une des bases de la fertilité des sols meubles se trouve dans la formation d'agrégats. Le réseau mycélien développé dans le sol ne constitue pas seulement un organe efficace d'absorption des éléments minéraux et de l'eau, mais c'est aussi une structure dynamique qui se développe dans le sol (la mycorhizosphère) à raison de quelques millimètres par jour, il peut atteindre des dimensions considérables, supérieures à 10^6 km.ha⁻¹ (Miller et Gramer, 2005) ; ou plusieurs dizaines de mètres par gramme de sol (Leak et *al.*, 2004). Ce réseau en

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

perpétuel croissance se renouvelle constamment, la durée de vie moyenne étant d'environ une semaine.

Le champignon a la propriété d'abandonner l'exploration d'un site dans la teneur en éléments minéraux est devenu trop faible. Les mycéliums ont aussi la capacité d'excréter une glycoprotéine, la glomaline, cette protéine contribue directement au pool de la matière organique stable dans le sol. En effet, la glomaline se décompose difficilement d'où son accumulation. Cette glycoprotéine agit comme une colle qui assemble les particules les plus fines du sol pour en faire des agrégats dont on connaît le rôle dans la fertilité, en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisent ainsi les échanges gazeux et l'aération du sol (Rillig, 2002).

2.4.4. Production d'hormones

L'association mycorhizienne joue un rôle important dans la synthèse des composés complexes, comme les vitamines et les phytohormones (auxine, acide abscisique) (Barker et Tagu, 2002), qui sont essentielles pour la formation des fleurs (Usha et *al.*, 2005).

Les champignons mycorhiziens seraient capables aussi de sécréter les hormones pouvant induire des modifications chez la plante hôte au niveau de la morphologie ; comme la différenciation intense des racines courtes en présence des champignons ectomycorhizogènes.

De plus, les phytohormones produites par les champignons sont exportées vers la plante hôte et affectent la croissance du système racinaire, du tronc, des tiges et des feuilles.

2.4.5. Protection phytosanitaire

La colonisation mycorhizienne permet aux plantes de réagir rapidement aux attaques de ravageurs. Cette protection indirecte se traduit au niveau cellulaire par des réactions anatomiques, métaboliques et physiologiques, induisant ou inhibant ainsi des interactions avec les antitoxines végétales, phénol, peroxydase, chitinase, lignification, déposition de callose et diverses autres protéines liées à la pathogénèse (Dugassa et *al.*, 1996 ; Singh et *al.*, 2000).

Les plantes colonisées produisent plus d'éthylène, méthyent plus efficacement l'ADN et synthétisent davantage d'arginine dans leur racines (Baltruschat et schonbeck, 1972 ; Harrier

Chapitre 1 : Synthèses Bibliographiques

et watston, 2004), indiquant une activité métabolique accrue. De plus, le manteau fongique peut agir comme substance antibactérienne (chloromycorrhizin A, mycorrhizin A) et protéger la plante hôte (Rasayanagam et Jeffries, 1992).

2.4.6. Interaction des champignons mycorhiziens avec la microflore du sol

L'activité microbienne du sol contribue considérablement à sa fertilité par le biais de synergies, de compétitions et de parasitismes entre les micro-organismes. Les hyphes extra-racinaires des mycorhizes à arbuscules peuvent constituer à eux seuls jusqu'à 80% de la masse microbienne avec près de 150 cm d'hyphes / cm⁻³ de sol (Kabir et *al.*, 2007).

Ainsi, la mycorhization affecte directement la quantité et la qualité des exsudats racinaires, ce qui entraîne une réorganisation de la microflore (Meyer et Lindermen, 1986 ; Bansal et *al.*, 2000 ; Marscher et *al.*, 2004). L'activité mycorhizienne se traduit généralement par une augmentation de la diversité de l'abondance des micro-organismes du sol (Secilia et Bagyaraj, 1987 ; Thomas et *al.*, 1994 ; Lindreman, 2000). Ces modifications de la microflore varient selon les paramètres éco-physiologiques et les souches mycorhiziennes (Andrade et *al.*, 1997).

La synergie entre les champignons MA et les bactéries solubilisatrices de phosphate se traduit par une stimulation de la germination des spores, de la colonisation racinaire mycorhizienne et de l'augmentation des populations bactériennes totales (Azcon-Aguilar et Barea, 1995). Les champignons mycorhiziens peuvent aussi interagir avec les bactéries fixatrices d'azote tels que les genres *Rhizobium* et contribuent à une meilleure fixation de l'azote atmosphérique (Jia et Gray, 2004).

Chapitre 2 : Matériels et Méthode

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

1.1. Introduction

Notre expérimentation a été basée sur l'essai d'une culture de fève « *Vicia faba* L. » sous l'effet d'un inoculum fongique mycorhizien endémique formulé. En comparaison avec un inoculum canadien et en présence de témoin dans la serre pédagogique du département de Biotechnologies de la Faculté SNV à l'université de Blida 1.

Les plantes issues de cet essai ont fait d'évaluation de plusieurs paramètres de croissances et d'analyses spectrométriques et microscopiques au niveau du laboratoire de recherche sur les plantes aromatiques et médicinales.

Ce travail a duré pendant une période de 9 semaines de la fin du mois de mars 2021 jusqu'au mois de mai de la même année.

1.2. Matériel biologique

Notre étude a nécessité l'utilisation d'un matériel végétal et de deux inoculats fongiques.

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des semences de fève « *Vicia faba* L. » certifiées de la variété « Histel » provenant d'un fournisseur local au niveau de la région de Miliana.

Les inoculants fongiques

Deux types d'inoculants mycorhiziens fongiques ont été utilisés dans notre expérimentation.

- Le premier est représenté par un inoculum mycorhizien endémique,
- Le deuxième est représenté par un inoculum mycorhizien commercial canadien.

Ces derniers nous ont été fournis par le laboratoire (LRPAM) à l'université de Blida 1 ; dans le cadre de projet de recherche sur la sécurité alimentaire avec le centre de recherche et de développement international canada.

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

Méthode

2.3. Installation de l'essai de culture

La semence de fève *Vicia faba* L. de la variété « Histel » a été triée manuellement, les graines saines d'apparence et ne présentant aucune anomalie ont été soigneusement lavées à l'eau distillée pour éliminer toute traces d'éventuels fongicides chimiques.

Une stérilisation de la surface des graines a été réalisée par solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène à 3% pendant 10 minutes, les graines ont été abondamment rincées dans 4 bains successifs d'eau distillée.

Puis ont été trempées pendant 48 heures dans de l'eau de robinet pour lever la dormance tégumentaire. Elles ont été plantées ensuite dans des plaques de semis alvéolaires en plastique garnie de tourbe stérilisée, à raison d'une graine par alvéole.

2.3.1. Préparation du substrat de culture

Le substrat est préparé à partir de 2/3 de sol et de 1/3 de tourbe préalablement stérilisées à la chaleur humide puis mis dans des pots en plastique dont le fond est tapissé de gravier stérilisé.

Le sol a été prélevé d'une jachère non cultivée ni traitée par les pesticides, située dans la station expérimentale du département de Biotechnologies de l'université de Blida. Il a été séché puis tamisé à travers d'un tamis de 2 mm de diamètre.

La stérilisation a été réalisée à la chaleur humide, séparément pour chacun des composants du substrat. Elle a été faite trois fois pendant trois heures à 24h d'intervalle pour le sol et une fois pendant une heure pour la tourbe.

2.3.2. Dispositif expérimental

Est représenté par la transplantation en pots des plantules de fève dans les substrats de culture préalablement ainsi préparés.

- Substrat stérilisé pour le témoin,

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

- Substrat stérilisé + inoculum mycorhizien endémique,
- Substrat stérilisé + inoculum mycorhizien canadien.

Les pots ont été inoculés par l'Inoculum mycorhizien endémique formulé à raison 30 grammes par pot, où 15 répétitions ont été considérées.

Alors que les autres pots ont été inoculés par l'Inoculum mycorhizien canadien à raison 10 grammes par pot, où 15 répétitions ont été considérées. Les quantités d'inoculats utilisées ont été choisies selon les recommandations des fabricants. Les pots ont été répartis en blocs aléatoires.

2.3.3. Les paramètres étudiés

La culture a été suivie pendant tout son cycle durant 9 semaines se basant sur l'évaluation des paramètres d'études suivantes :

Les paramètres de croissance des plantes cultivées sont représentés par :

- La hauteur des plantes,
- Le nombre de feuilles,
- Poids sec de chacune des parties racinaires et aériennes des plantes, ainsi que Le nombre de fleurs et de gousses,
- Les teneurs en pigments chlorophylliens,
- Recherche des contraintes phytosanitaires.
- Une autre évaluation a porté sur les paramètres de mycorhization des plantes.

La hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'une règle de 30 cm (Zhang et *al.*, 2019).

Le poids sec a été évalué pour cinq plants sains issus de chacun des groupes traités ont été utilisés pour définir le poids sec de la partie aérienne et racinaire. Les plants ont été séchés à 80°C pendant 72 heures jusqu'à obtention d'un poids constant (Zhang et *al.*, 2019).

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

Teneurs en pigments chlorophylliens foliaires

Les teneurs en pigments ont été déterminées selon le protocole de Lichtenthaler (1987). L'extraction de la chlorophylle a et b, et des caroténoïdes a été réalisée à froid à partir de 100 mg de matière fraîche foliaire macérés dans 10 ml d'acétone pur est ajoutés. L'ensemble est conservé à 4°C pendant 48h, la lecture de l'absorbance est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre (UVmini-1240) à des longueurs d'ondes de 470, 663 et 645 nm. L'étalonnage de l'appareil se fait avec une solution témoin d'acétone 95%. Les teneurs en pigments sont calculées selon les équations décrites par suivantes :

$$C_a = 11.24 A_{663} - 2.04 A_{645}$$

$$C_b = 20.13 A_{645} - 4.19 A_{663}$$

$$C_{a+b} = 7.05 A_{663} + 18.09 A_{645}$$

$$C_{x+c} = \frac{1000 A_{470} - 1.90 C_a - 63.14 C_b}{214}$$

Ca et Cb : Concentration en chlorophylles a et b, Cx + c : Concentration en caroténoïdes. Les résultats sont exprimés en mg/g de matière fraîche.

2.3.4. Recherche des contraintes phytosanitaires

Le suivi de l'état phytosanitaire de l'ensemble plantes se basant sur l'observation des symptômes des maladies ainsi que les infestations des ravageurs, en l'occurrence le suivi de l'évolution des infestations par les pucerons sur l'ensemble de la culture afin d'évaluer la résistance et l'incidence des ravageurs sous l'effet des inoculats mycorhiziens.

2.3.5. Etudes de la mycorhization

Les paramètres d'infection mycorrhizienne sont étudiés par le biais d'observations microscopiques après préparation des racines selon la méthode décrite par Philips et Hayman (1970). On prélève des racines jeunes, et des radicelles des plants étudiés qui seront lavées abondamment à l'eau du robinet, afin d'éliminer toutes les traces de terre. Elles sont ensuite découpées en fragments de 1 cm. Les fragments de racines sont placés dans des tubes à essai, et blanchis dans une solution de KOH (Hydroxyde de Potassium) à 10% et mis dans un bain marie à 90°C pendant 1h. Le contenu des tubes est ensuite filtré dans une passoire, les racines

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

sont rincées à l'eau légèrement acidifiée au HCl. Les fragments de racines rincés sont mis dans la solution de coloration composée de 0.04% de bleu de trypan dans du lactoglycérol (1v : acide lactique 1v : glycérol 1v : eau distillée) chauffer à 90° pendant une heure. Filtrer rincer à l'eau du robinet pour éliminer l'excès du colorant.

Le montage des lames consiste à déposer 10 fragments de racines colorées sur une lame, en présence de glycérol. On termine par couvrir de lamelle, et écraser les racines et Sécher le surplus du liquide d'observation.

Le Suivi pour la mycorhization des plants inoculés, des prélèvements de fragments de racines ont été réalisées à la 2^{ème}, 4^{ème}, 6^{ème} et 8^{ème} semaine, pour déterminer la présence des structures des mycorhizes à vésicules et arbuscules par le moyen des observations microscopiques.

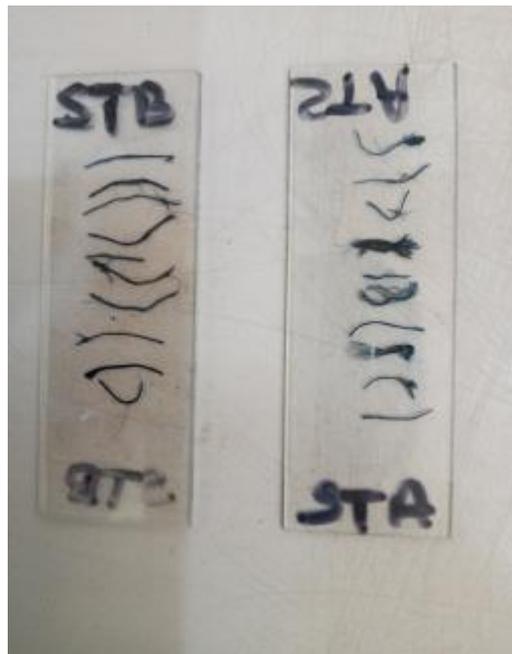


Figure 240: racines colorées montées sur des lames

2.3.6. Analyse statistique :

Les analyses statistiques ont été réalisées pour chaque paramètre étudié au moyen du logiciel GraphPad Prism (8.0.1) en déterminant la variance ANOVA en modèle GLM. Les différences ont été considérées significatives pour $P \leq 0,05$ (Philippeau, 1989).

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

Résultats :

3.1. Etude des paramètres de croissance :

Les paramètres de croissance des plantes cultivées ont été évalués selon l'inoculum mycorhizien appliqué soit : mycorhize endémique (TA), mycorhizes du Canada (TC) et le lot témoin (ST) constitué de substrat stérile.

3.1.1. Hauteur des plantes :

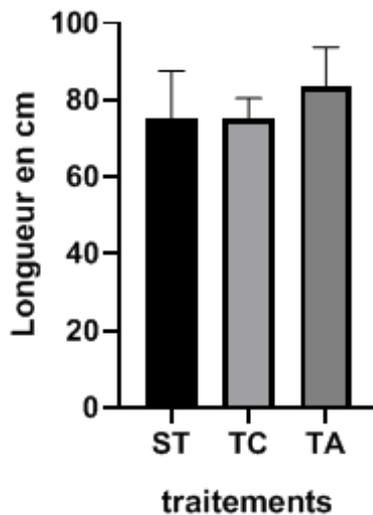


Figure125: Histogramme d'analyse de la variance des hauteurs des plantes de fève cultivée selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

L'analyse de la variance des hauteurs des plantes a montré des différences significatives selon les traitements utilisés ($P=0,0301$, $P \leq 0,05$) (Annexe 1).

L'inoculum mycorhizien endémique a induit une augmentation de la longueur des tiges principales des plantes (Figure 11) contrairement à l'inoculum canadien qui n'a montré aucune stimulation de la hauteur des plantes.

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

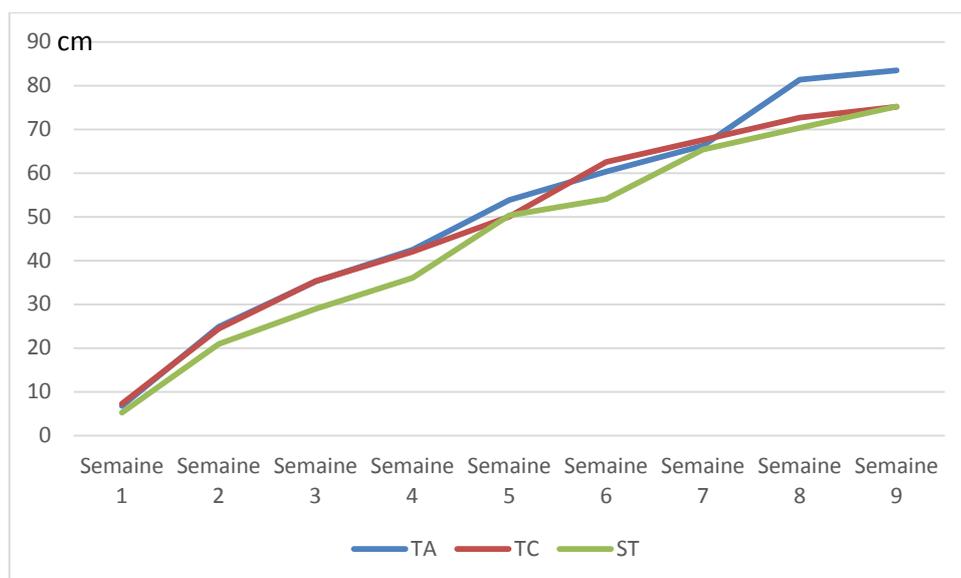


Figure 126: cinétique de la croissance de la tige principale sur les 9 semaines de culture traitée à l'inoculum endémique (TA), et l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

En effet, la cinétique de croissance est quasi similaire sur les 6 premières semaines, suivie par une accélération de la croissance du lot inoculé par les mycorhizes endémiques (TA), alors que les plantes inoculées par les mycorhizes canadiennes (TC) et le lot témoin (ST) ont poursuivi leur croissance à une vitesse moindre (figure 12).

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.1.2. Le nombre de feuilles :

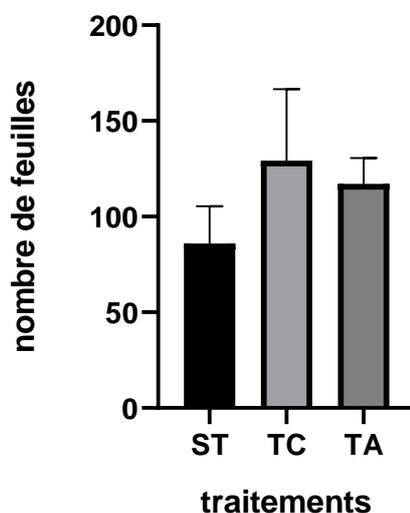


Figure 127: Histogramme d'analyse de la variance du nombre de feuilles produites par les plants de la fève traités à l'inoculum endémique (TA), et l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

L'analyse de la variance du nombre des feuilles a montré des différences très hautement significatives selon les différents inoculats et les plantes témoins ($P=0,0005$, $P \leq 0,05$) (Annexe 2).

L'inoculum mycorhizien canadien a induit une augmentation du nombre des feuilles avec une moyenne de 59,90 feuilles par plant, suivi par l'inoculum endémique avec une moyenne de 59,33 feuilles, les plants non inoculés ont produit en moyenne 43,81 feuilles à la 9^{ème} semaine de l'expérimentation (Figure 13).

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

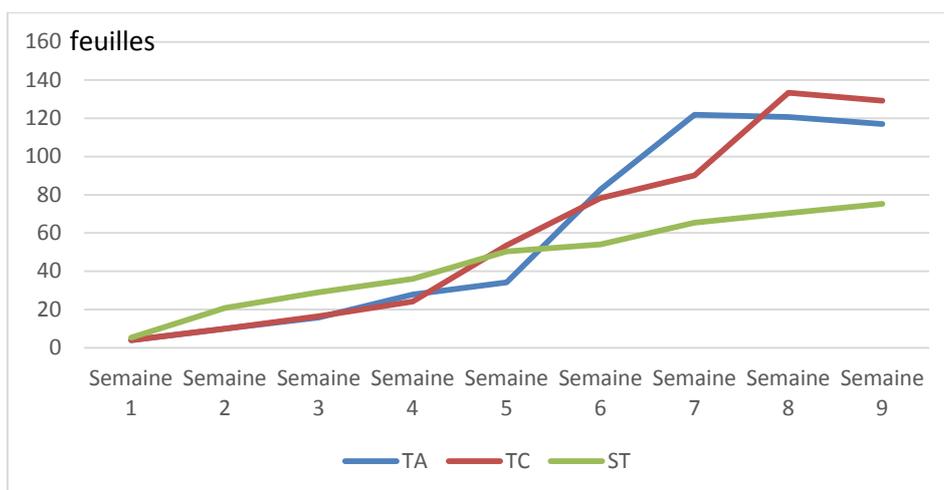


Figure 128: Cinétique de la production des feuilles sur les 9 semaines de culture de fève traitée par l'inoculum endémique (TA), l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Nous remarquons une cinétique de production des feuilles avec une tendance similaire sur les 5 premières semaines, suivie par une accélération de la croissance des lots inoculés par les mycorhizes endémiques et les mycorhizes canadiens. Une accélération plus importante a été enregistrée chez le lot traité par les mycorhizes endémiques. Le lot témoin poursuit sa croissance à une production moindre jusqu'à la fin de l'expérimentation (figure 14). A partir de la septième semaine, le lot inoculé aux mycorhizes endémique a entamé une phase stationnaire, le lot TC a poursuivi son accélération pour entrer en phase stationnaire à partir de la huitième semaine. Les deux lots traités ont entamé une phase de stationnaire, à partir de la huitième semaine, coïncidant avec une infestation importante de pucerons.

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.1.3. Nombre de fleurs

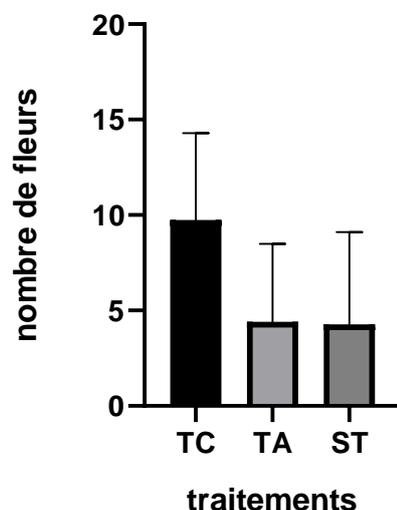


Figure 129: Histogramme d'analyse de variance du nombre de fleurs produites par les plantes de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

L'analyse de la variance du nombre de fleurs produites par chaque plante a révélé des différences hautement significatives selon les différents inoculats et le lot de plantes témoins ($P=0,0015$, $P \leq 0,05$) (Annexe 3).

L'inoculum mycorhizien canadien a induit une amélioration de la floraison avec une moyenne de 9,73 fleurs par plant à la neuvième semaine de l'étude, suivi par l'inoculum endémique avec une moyenne de 4,4 fleurs, les plants non inoculés ont produit en moyenne 4,26 fleurs (Figure 15).

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

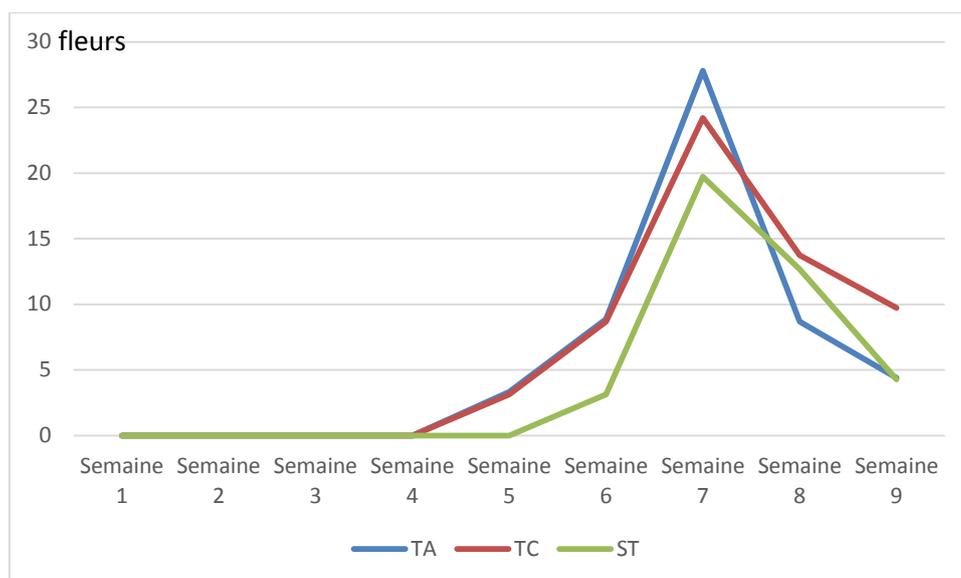


Figure 130: Cinétique de la floraison sur les 9 semaines de culture de la fève traitée par l'inoculum endémique (TA), l'inoculum Canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Nous remarquons une floraison précoce chez les plants traités à partir de la quatrième semaine avec une accélération à partir de la sixième semaine. Concernant le lot témoin, nous remarquons une floraison à partir de la cinquième semaine, suivie d'une phase d'accélération importante à partir de la sixième semaine. A la septième semaine, le lot inoculé aux mycorhizes endémique (TA) a montré un pic de floraison avec une moyenne de 27,8 fleurs, pour ensuite entrer dans une phase de régression du nombre de fleurs, la même tendance est enregistrée sur les autres lots avec une floraison moins importante (figure 16).

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.1.4. Nombre de gousses :

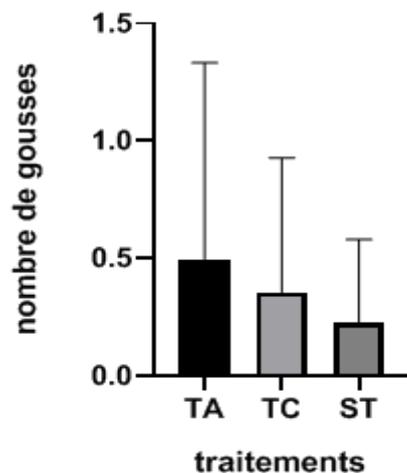


Figure 17: Histogramme de la variance du nombre de gousses produites par les plantes de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Le graphique a montré que l'inoculum mycorhizien endémique a induit une production plus importante de gousses mais l'analyse de la variance a révélé une différence non significative dans le nombre de gousses produites par les différents lots de plantes traitées et le lot témoins ($P=0,4234$, $P > 0,05$) (Annexe 4).

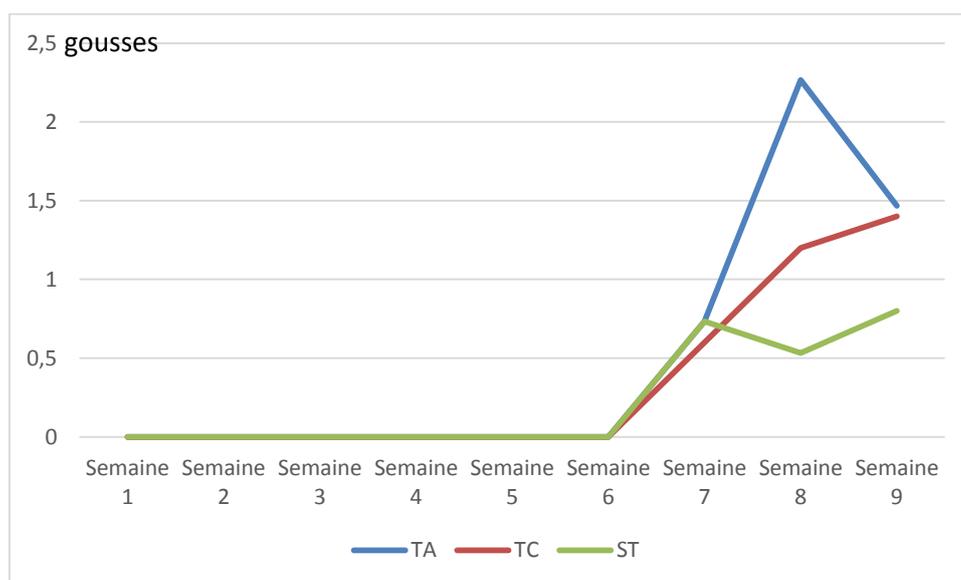


Figure 131: Cinétique de la production des gousses sur les 9 semaines de la culture des plantes de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

La cinétique nous montre un départ fructification synchrone chez les plantes traitées aux différents inocula et les plantes témoins à partir de la sixième semaine avec une accélération plus importante chez les plants ayant reçu l'inoculum endémique. Une phase de régression du nombre de gousse du lot inoculé par les mycorhizes endémiques (TA) est entamée à la 8^{ème} semaine. Le lot témoin (ST) a montré le nombre de gousses le plus bas sur la durée de l'expérimentation avec une accélération moins important que les deux lots inoculés (TA et TC) (figure 18). Il est à noter que les gousses ne sont pas arrivées à maturité, nous avons remarqué une chute des gousses après quelques jours de la nouaison.

3.1.5. Poids sec

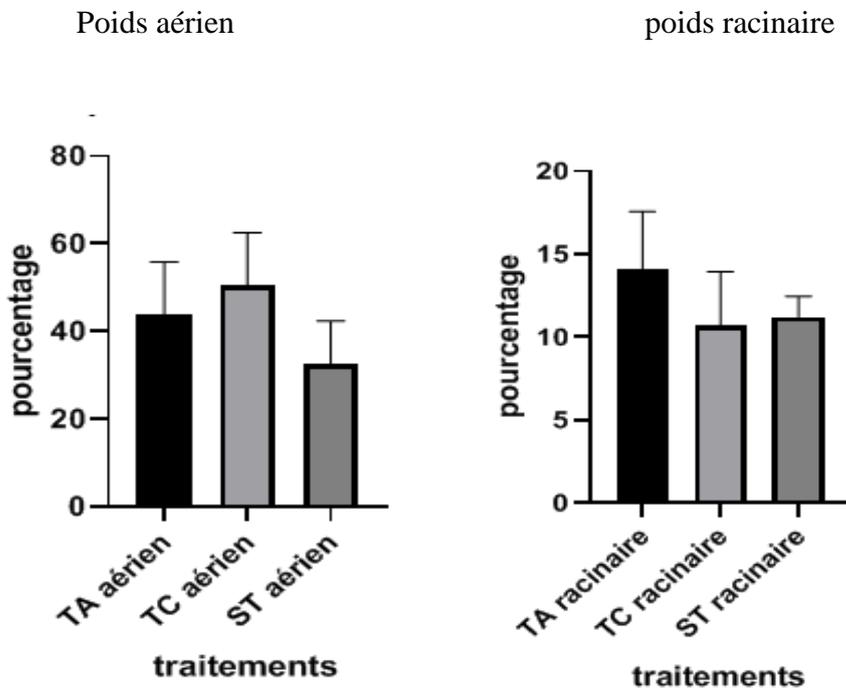


Figure 132: Histogramme d'analyse de variance de poids sec des plants de fève selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

L'analyse de la variance des poids secs des parties racinaires et aériennes des plantes de fève selon les différents inoculats (TC et TA) et les lots témoins, a montré qu'il n'existe pas de différences significatives (Poids sec aérien ($P=0,0784 > 0,05$) Poids sec racinaire ($P=0,2186 > 0,05$) entre les poids secs et poids frais des différents lots (traitement TA, TC et le lot témoin)

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.2. Teneurs en pigments foliaires

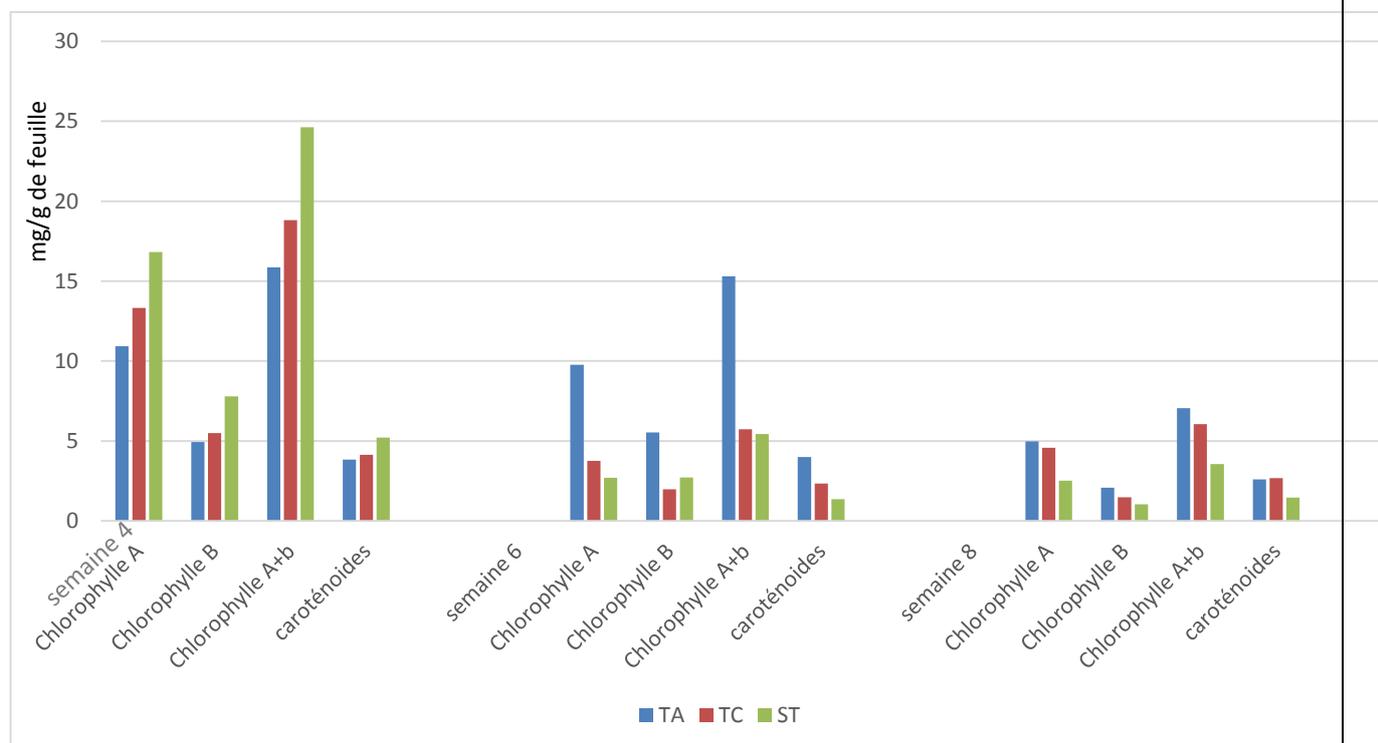


Figure 33: histogramme des concentrations en teneur de pigments foliaires à la 4^{ème}, 6^{ème} et 8^{ème} semaines et selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST).

Les graphiques indiquent que le niveau de la chlorophylle dans les feuilles est plus important dans les plants témoins à la quatrième me semaine. A partir de la sixième semaine les plantes inoculés de mycorhizes endémiques (TA) ont montré une teneur supérieure en pigments foliaires, avec une concentration de chlorophylle A de l'ordre de 9,75 mg/g de feuilles, chlorophylle B 5,54 mg/g de feuilles les caroténoïdes 3,99 mg/g de feuilles enregistrées à la 8^{ème} semaine.

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.3. Etat phytosanitaire des plantes de fève:

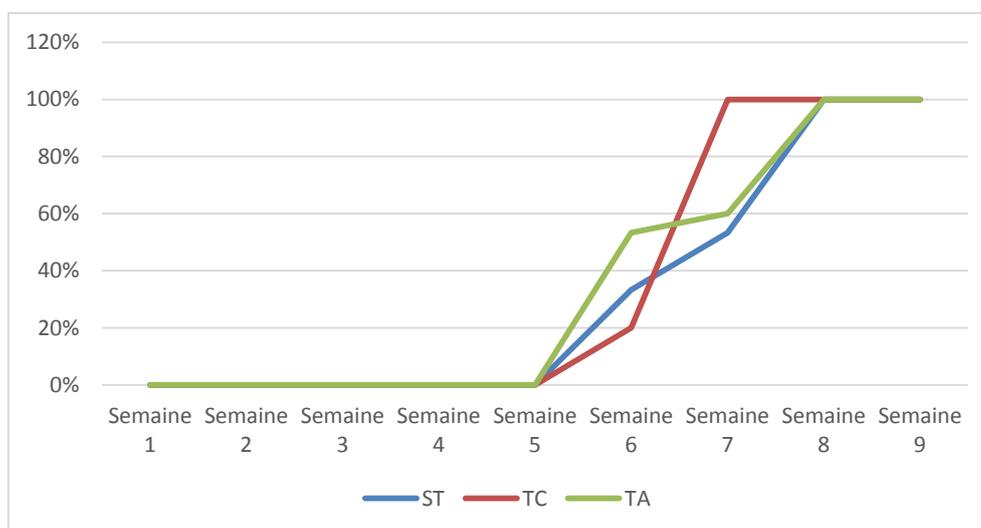


Figure 34: évaluation des taux de l'infestation des plants de fève par les pucerons chez les plantes de fèves selon les inoculats endémique (TA), canadien (TC) et le lot témoins (ST)

Nous remarquons un début d'infestation par les pucerons à la cinquième semaine chez les plants des trois lots (TA, TC et témoins). L'accélération est plus importante chez les plantes traitées à l'inoculum endémique (TA) durant la sixième semaine suivie des plants témoins, l'accélération du taux d'infestation est plus faible chez les plants traités par l'inoculum canadien. Durant la septième semaine, l'infestation accélère chez les plants traités à l'inoculum canadien, pour atteindre 100% de plants infestés. A partir de la huitième semaine, les plants restants des lots « TA » et « témoins » sont infestés (figure 21).

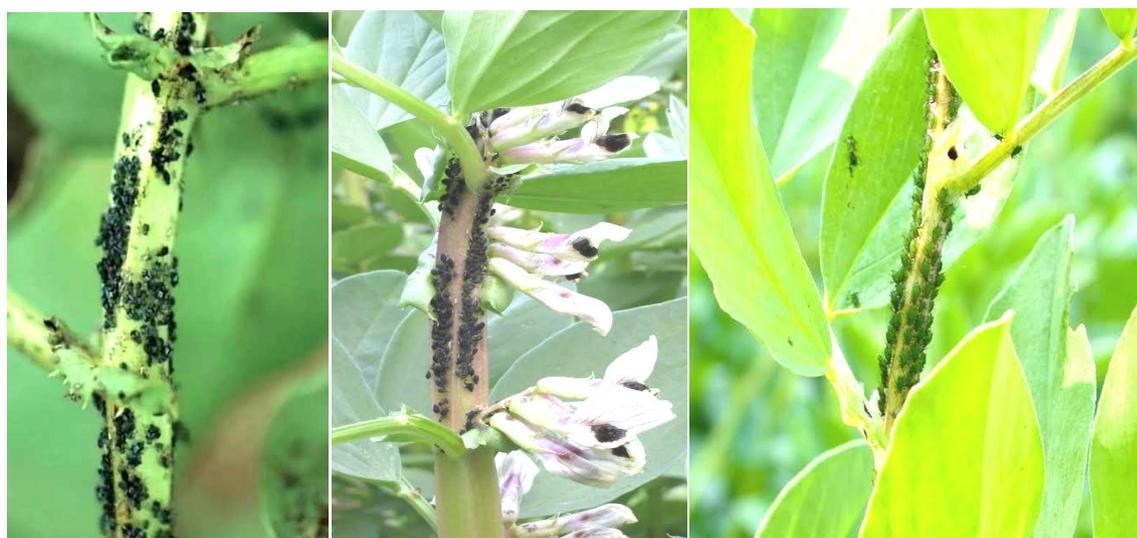


Figure22: les plants de la fève infestés par les pucerons

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.4. Suivi de la mycorhization des plants inoculés :

Nous avons observé au microscope photonique des fragments de racines colorés à la 2^{ème}, 4^{ème}, 6^{ème} et 8^{ème} semaine (Tableau 4), pour déterminer la présence de structures des mycorhizes à vésicules et arbuscules par le moyen d'observations microscopiques.

Nous avons remarqué une absence totale de mycorhization dans les racines des plantes témoins, ainsi qu'une absence totale de mycorhization au sein des plants traités aux mycorhizes canadiennes sur toute la durée de l'essai, nous avons néanmoins remarqué la présence de nodosité au sein des racines de ce dernier lot.

Cependant, Le lot de plants inoculés par les mycorhizes endémiques a montré une présence de mycorhization à partir de la sixième semaine. Nous avons en effet observé les différentes structures spécifiques aux mycorhizes, à savoir, le mycélium, les arbuscules et les vésicules (figure 21).

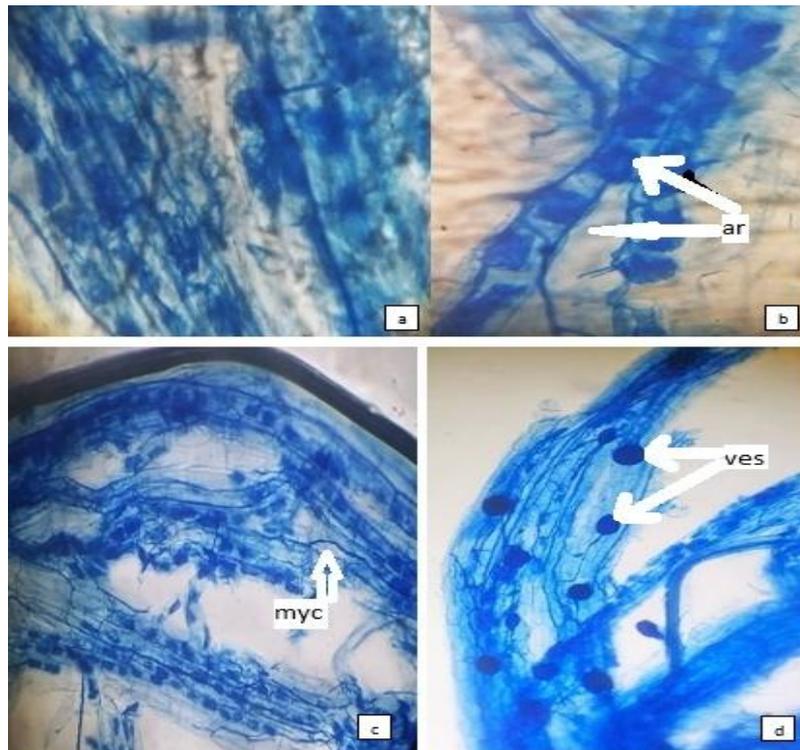
Tableau 4: mycorhization des plants traités en fonction des semaines

Lot	semaine	2 ^{ème}	4 ^{ème}	6 ^{ème}	8 ^{ème}
Témoins		-	-	-	-
Mycorhizes endémiques (TA)		-	-	+	+
Mycorhizes canadiennes (TC)		-	-	-	-

+ : Présence de mycorhizes

- : absence de mycorhizes

Chapitre 3 : Résultats et Discussions



Ar : arbuscule

Ves : vésicule

Myc : mycélium

a , b : Racines mycorhizées observées au microscope photonique grossissement 40X

c, b : Racines mycorhizées observées au microscope photonique grossissement 25X

Figure 35 : observation microscopique de racines mycorhizées des plantes de fèves inoculées par les mycorhizes endémiques.

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

Discussion :

L'inoculation par les CMA endémiques a amélioré de manière significative la hauteur de la plante et augmente le poids sec des parties aériennes et racinaires. Ceci est en accord avec les résultats de Chen *et al.*, (2013) sur le concombre, de Baslam *et al.*, (2013) sur la laitue, de Kaya *et al.*, (2009) sur le poivron et de Copetta *et al.*, (2011) sur la tomate. Cette amélioration de la croissance des plantes de la fève peut être due à l'inoculation précoce, dont les bénéfices pour la plante sont connus. Ces bénéfices ont été mis en évidence par Al-Karaki (2006) et Nzanza *et al.*, (2011) qui ont démontré que les CMA ont un impact positif dans l'amélioration et le développement des plantules de fève.

Concernant la biomasse des tiges et des racines, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements malgré des valeurs plus élevées observées chez les plantes inoculées, notamment celles inoculées avec des mycorhizes endémiques, en concordance avec les résultats de Pereira *et al.*, (2019). Dans les études antérieures réalisées sur la fève, la biomasse des pousses et des racines a été augmentée par l'inoculation d'AMF (Dubova *et al.* 2015 ; Youseif *et al.*, 2017).

Le nombre de feuilles a été significativement plus élevé chez les plantes inoculées par l'inoculum canadien par rapport aux plantes inoculées par l'inoculum endémique et non-inoculées, ce qui est en accord avec les résultats de Mujica Pérez et Fuentes Martínez (2012) et ceux d'Osillos et Nagpala (2015), qui ont attribué cela au fait que la floraison des plantes de *vicia faba* L. est plus avancée chez les plantes inoculées par l'inoculum canadien en comparaison aux plantes inoculées par l'inoculum endémique et non-inoculées.

Dans la présente étude, bien que l'inoculation n'ait pas conduit à une augmentation de la biomasse végétale, elle a contribué à améliorer la capacité photosynthétique des plantes inoculées avec les mycorhizes endémiques. L'augmentation de la teneur en pigments chlorophylliens conduit à une augmentation de la photosynthèse, permettant une amélioration de la croissance globale de la plante. Les niveaux inférieurs de pigments photosynthétiques observés sous l'effet des autres traitements peuvent indiquer une teneur plus faible en azote des feuilles, car la majorité de l'azote des feuilles est contenue dans les molécules de chlorophylle (Netto *et al.*, 2005) l'augmentation du taux de chlorophylle total par l'inoculation mycorhizienne serait à l'origine de l'augmentation de la photosynthèse chez les

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

plants inoculés (Krishna et *al.*, 2005). Dans les travaux d'Ismaiel et *al.*, (2014), l'inoculation simple et double de la fève avec des rhizobiums et des mycorhizes a augmenté la capacité photosynthétique en augmentant la teneur en Chl a et Chl b. Des résultats similaires ont été observés chez d'autres légumineuses telles que le niébé (*Vigna unguiculata* L.Walp.) Et le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) (Oliveira et *al.*, 2005 ; Bejandi et *al.*, 2011).

Conclusion

Conclusion

Ce présent travail a pour objectif d'étudier l'impact d'utilisation d'un inoculant mycorhizien endémique sur la croissance et le rendement de la fève « *Vicia faba* L. », ainsi que son pouvoir mycorhizogène sur les plantes cultivées de la fève en vue de son application sur les légumineuses sur terrain.

Pour la fève (*Vicia faba* L.), l'inoculation avec la mycorhize endémique (TA) a pu stimuler sa croissance en augmentant la hauteur de la tige principale et a pu améliorer sa teneur en pigments chlorophylliens (15,30 cm) après le début de la symbiose (à partir de la sixième semaine) en comparaison avec le témoin.

Cette augmentation chez les plantes traitées avec l'inoculum endémique est en corrélation avec le taux élevé de mycorhization, exprimant ainsi une efficacité de la symbiose entre les deux partenaires. L'absence de mycorhization chez les plantes inoculées par les mycorhizes canadiennes serait dû aux conditions climatiques non adéquates à leur développement.

Aucune différence significative entre les biomasses fraîches et sèches des parties aériennes et racinaires des plants issus des deux lots traités et du lot témoin n'a été enregistrée.

L'augmentation de la teneur en chlorophylle dans les feuilles des plants inoculés par les mycorhizes endémiques (TA) (15,30 mg/g feuille), est la plus importante comparativement aux plants témoins (5,746 mg/g feuille) et aux plantes inoculées par les mycorhizes du Canada (TC) (5,437mg/g feuille).

Les résultats préliminaires obtenus au cours de cette étude sont concluants et doivent être confirmés par des études futures pour déterminer l'efficacité des mycorhizes à arbuscules dans des conditions naturelles.

Les résultats ont montré un potentiel biofertilisant de l'inoculum mycorhizien endémique et suggèrent des perspectives prometteuses à ce type de recherche. Il serait donc important :

- Evaluer d'autres potentialités de ces mycorhizes à savoir l'induction de la résistance aux différents stress,
- Mesurer l'effet de l'inoculation sur la nutrition minérale des plantes de fèves
- Evaluer l'action de ces souches mycorhiziennes sur la fertilité et la composition des sols
- Evaluer l'effet de l'inoculation sur le métabolisme secondaire des plantes de fève

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Abras M., Cartrysse C., Froidmont E., Jamar D., Rondia ., Wavreille J., 2016. Féverole une légumineuse à graines riches en protéines et énergie, les protéagineux de la production à la valorisation.

Al-Karaki, G.N. (2013). The effect of arbuscular mycorrhiza fungi on the establishment of sour orange (*Citrus aurantium*) under different levels of phosphorus. *Acta Horticulturae*, 984: 103–108

Andrade G., Mihara K. L, Linderman R.G., Bithlenfalvay G.J., 1997. Bacterie from rhizospher and hyphospher soils of different arbuscular-mycorrhizal fungi. *Plant soil*, 1992 : 71-79.

André S., Neyra M., Duponnois R., 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis changes the colonization pattern of *Acacia tortilis* ssp. *Raddiana* rhizosphere by two strains of *Rhizobia*. *Microb. Ecol.*, 45 :137-144.

Anthleme B., 1978. Contribution à l'étude des protéines des légumes secs cultivées en Algérie. *Annales de l'INA, El Harrach*, 64-74.

Aouar-Sadli M., Louadi K., Doumandji S-E., 2008. Pollination of the broad bean (*Vicia faba* L. var. *major*) (Fabaceae) by wild bees and honey bees (Hymenoptera: Apoidea) and its impact on the seed production in the Tizi-Ouzou area (Algeria). *African Journal of Agricultural Research*, 3 (4): 266-272.

Azcon-Aguilar C., Barea J.M., 1995. Saprophytic growth of arbuscular-mycorrhizal fungi. Springer-Verlag, Heidelberg., 391-407.

Baltruschat H., Schonbeck F., (1972). Influence of the endotropic mycorrhiza on the chlamydospore production of *theilaviopsis basicola* in tobacco roots. *Pytopathol Z.*, 4 : 358-362p.

Barker S.J., Tagu D., 2000. The role of auxins and cytokinins in mycorrhizal symbioses. *Journal of plant Growth Regulation.*, 19: 144-154p.

Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J.I., & Goicoechea, N. (2013). Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of major carotenoids, chlorophylls and tocopherol in green and red leaf lettuces. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97: 3119–3128.

Références Bibliographiques

Bejandi TK., Sharifii RS., Sedghi M., Namvar A., 2011. Effects of plant density, Rhizobium inoculation and microelements on nodulation, chlorophyll content and yield of chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Annals of Biological Research*, 23: 951–958.

Benachour K., Louadi K., Terzo M., 2007. Role des abricilles sauvages et domestiques (Hymenoptera: Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*vicia Faba L.var.major*) (Fabaceae) en région de Costantine(Alegérie). *Ann. Soc. Entomol. Fr.* (n.s), 43(2) : 213-219

Benabdeli A., 2002. Optimisation des barèmes des traitements préliminaires et de stabilisation de certains conserves de légumineuses appertisées. *Séminaire national sur les légumineuses alimentaires, Hammam Bouhdjar, AIN TIMOUCHENT, ALGERIE*, 231-239.

Ben Mbarek K., Boujelben A., Hannachi C., Boubaker M., 2009. Calibrage et performances agronomiques de 45 génotypes de pois chiche (*Cicer arietinum L*) soumis à un régime Hydrique Limité. *Base, Biotechnologie, Agronomie, Societe Et Environnement*, 13 (3) : 381-393.

Brink, M., & Belay, G. M. (Eds.). (2006). *Céréales et légumes secs* (Vol. 1). PROTA.

Buscot F., Munch J.C., Charcosset J.Y., Gardes M., Nehls U., Hampp R., 2000. Recent advances in exploring physiology and biodiversity of ectomycorrhizas highlight the functioning of these symbioses in ecosystems. *FEMS Microbiol. Rev*, 24: 601–614 p

Chaux C., Foury C., 1994. Production légumière : légumineuses potagères, Légumes fruits, lavoisier. Paris, Pp. 4-8.

Chen, S., Jin, W., Liu, A., Zhang, S., Liu, D., Wang, F., Lin, X., & He, C. (2013). Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) increase growth and secondary metabolism in cucumber subjected to low temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 160 : 222–229

Copetta, A., Bardi, L., Bertolone, E., & Berta, G. (2011). Fruit production and quality of tomato plants (*Solanum lycopersicum L.*) are affected by green compost and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Biosystems*, 145 : 106–115.

Références Bibliographiques

Dajoz R., 2000. Eléments d'écologie. Ed. Bordas., 5ème édition. Paris, 540 p

Daoui K., 2007 Recherche de stratégies d'amélioration de l'efficacité d'utilisation du Phosphore chez la fève (*Vicia faba* L.) dans les conditions d'agriculture pluviale au Maroc, Université Catholique de Louvain..277 p.

Duan C. Q., Hu B., Jiang X. H., Wen C. H., Wang Z., & Wang Y. X., 1999. Genotoxicity of water samples from Dianchi lake detected by the *Vicia faba* micronucleus test. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 426(2), 121-125.

Dubova I., Šenberga A., Alsina I., 2015 The effect of double inoculation on the yield quality of broad beans (*Vicia faba* L.). *Research for Rural Development*, 1, 34–39.

Duc, G. 1997. Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field crops Research*.53: 99-109.

Dumas-Gaudot E., Gollote A., Cordier C., Gianinazzi S., Gianinazzi-Pearson V., 2000. Modulation of host defence systems. In *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*, 173-200 p

Fachmann K., and Kraut ML., 2006. L'intérêt de la fève. Ed Bourde, Paris, 74p.

Gallais A., & Bannerot H., 1992. *Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection.* Editions Quae. 1, Paris, P 266

Gaur A., Adholeya A., 2005. Diverse response of five ornamental plant species to mixed indigenous and single isolate arbuscular-mycorrhizal inocula in marginal soil amended with organic matter, *Journal of Plant Nutrition* 28: 707-723 p

Handley L.L., Daft M.J., Wilson J., Scrimgeour C.M., Ingleby K. et Sattar M.A., 1993. Effects of the ecto- and VA-mycorrhizal fungi *Hydnangium carneum* and *Glomus clarum* on the δN15 and δC13 values of *Eucalyptus globulus* and *Ricinus communis*. *Plant Cell and Environment*, 16: 375-382.

Harrier L.A., Watson C.A., 2004. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Pest Manag. Sci*, 60 : 149-157 p

Références Bibliographiques

Ismail A. A., Hegazy H. S., & Azb M. A., 2014. Physiological response of 'Vicia faba' L. to inoculation with 'Rhizobium' and arbuscular mycorrhizal fungi: Comparative study for irrigation with Nile water and wastewater. *Australian Journal of Crop Science*, 8(5), 781-790.

Jeffries P., Gianinazzi S., Perotto S., Turnau K., et Barea J.M., 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fertil. Soils*, 37: 1-16 .

Jia Y.S., Gray V.M., 2004. Inter relationship between nitrogen supply and photosynthetic parameters in *Vicia faba* L, *Photosynthetica*, 41: 605-610.

Kabir Z., O'Halloran I.P., Fyles J.W., et Hamel C., 1997. Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization: hyphal density and mycorrhizal root colonization. *Plant Soil*, 192: 285-293.

Kanaya N., Gill B.S., Grover I.S., Murin A., Osiecka R., Sandhu S.S., Andersson H.C. 1994, *Vicia faba* chromosomal aberration assay *Mutat. Res-Fundam.MOL.Mech.Mutag*, 310(2) :231-247.

Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Tuna, A.L., & Cullu, M.A. (2009). The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia Horticulturae*, 121 : 1-6.

Laamari M., Hebbel S., 2006. Les principaux insectes ravageurs de la fève dans la région de Biskra. *Recherche Agronomique*, 18 : 72-78.

Lemière B., Seguin J. J., Le Guern C., Guyonnet, D., Baranger P., Saada, A., ... & Colombano, S. 2001. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. *BRGM éditions*, 300, 132p.

Leake J., Johnson D., Donnelly D., Muckle G., Boddy L., et Read D., 2004. Networks of Power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Canadian Journal of Botany*, 82: 1016-1045.

Leena R., 2002. Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing Symbioses between rhizobia and the woody legumes *Acacia* and *Prosopis*. Thèse de doctorat.

Références Bibliographiques

Université d'Helsinki, 93 p

Marschner P., Crowley D., et Yang C.H., 2004. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type. *Plant Soil*, 261:199-208 p

Mathon C., 1985. listes de plantes utiles avec indications de leur aire probable de primo domestication. Faculté des sciences de l'université de poitier, 17 pp.

Mezani S., 2011. contribution à l'étude de bio écologie du bruche de la fève dans des parcelles de variété de fève. Disponible au : ([http://www.ummtto.dz/IMG/pdf/Mezani Samir](http://www.ummtto.dz/IMG/pdf/Mezani_Samir)):25/052021.

Miller A. J., Cramer M. D., 2005. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil*, 274:1-36 .

Mummey D.L., Rillig M.C., et Holben W.E., 2005. Neighboring plant influences on arbuscular mycorrhizal fungal community composition as assessed by T-RFLP analysis. *Plant And Soil*, 271: 83-90.

Mujica Perez, Y., & Fuentes Martinez, A.G. (2012). Efecto a la biofertilizacion con hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en el cultivo del tomate en condiciones de estres abiotico. *Cultivos Tropicales*, 33 : 40–46.

Netto A.T., Campostrini E., Oliveira JG., Bressan-Smith R.E., 2005, Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104: 199–209.

Nzanza, B., Marais, D., & Soundy, P. (2011). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedling growth and development as influenced by *Trichoderma harzianum* and arbuscular mycorrhizal fungi. *African Journal of Microbiology Research*, 5 : 425–431

Oliveira R.S., Boyer L.R., Carvalho M.F., Jeffries P., Vosátka M., Castro P.M.L., Dodd J.C., (2005) Synergistic effect of *Glomus intraradices* and *Frankia* spp. on the growth and stress recovery of *Alnus glutinosa* in an alkaline anthropogenic sediment. *Chemosphere* 60, 1462–1470.

Osillos, P.L., & Nagpala, A.L. (2015). The Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi

Références Bibliographiques

(AMF as Biofertilizer on the Growth, Yield and Nutrient Uptake of Tomato

(*Lycopersicon esculentum* Mill.). International Journal of Scientific Engineering and

Research, 3 : 49–65.

Pereira S., Mucha Â., Gonçalves B., Bacelar E., Látr A., Ferreira Helena., Oliveira I.,

Rosa Eduardo., Marques G., 2019. *Improvement of some growth and yield parameters of faba bean (*Vicia faba*) by inoculation with *Rhizobium laguerreae* and arbuscular mycorrhizal fungi. Crop and Pasture Science, 70(7), 595–.*

PERONJ., (2006). Références productions légumières (2 Éd.). *Edit. Librairie GERMER BAILLIERE et CIE, Paris, 650p.*

Peterson R. L., Massicotte H. B., Melville L. H., 2004. Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology, 1. edition, CABI Publishing, Wallingford, Oxon:101-110.

Peterson R.L., Farquhar H.L., 1994. Integrated development between root and fungi.

Mycol., 86: 311-326.

Plassard C., Scheromm P., Mousain D., et Salsac L., 1991. Assimilation of mineral nitrogen and ion balance in the two partners of ectomycorrhizal symbiosis : Data and hypothesis. *Experientia*, 47: 341-349.

Rasayanagam S., et Jeffries P., 1992. Production of acid is responsible of antibiosis by some ectomycorrhizal fungi. *Mycol. Res.*, 96: 971-976.

Rajeev K., Song C., Saxena R K., Azam S., Yu S., Sharpe A. (2013). Draft genome sequence of chickpea (*Cicer arietinum*) provides a resource for trait improvement. *Nature biotechnology*, 31 (3): 240-246.

Rillig M.C., Steinberg P.D., 2002. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification, *Soil Biol Biochem*, 34:1371–1374.

Ronsheim M. L., 2012, The effect of mycorrhizae on plant growth and reproduction varies with soil phosphorus and developmental stage. *The American Midland Naturalist*, 167(1), 28-39.

Sagel Z., Tutluer M.I., Peskircioglu H., Kantoglu K.Y., Kunter B. 2009, The Improvement of TAEK-Sagel Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Mutant Variety in Turkey. Q.Y.

Références Bibliographiques

Shu (ed.), Induced Plant Mutations in the Genomics Era. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*, (319-321).

Secilia J., et Bagyaraj D.J., 1987. Bacteria and actinomycetes associated with pot cultures of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Can. J. Microbiol*, 33: 1069-1073.

Shah T.M., Iqbal Mirza J., Haq M.A., Atta B.M. (2008). Radio sensitivity of various chickpea genotypes in m1 generation I-laboratory studies. *Pakistan Journal of Botany*, 40 (2), 649-665.

Singh R., Adholeya A., et Mukerji K.G., 2000. Mycorrhiza in control of soil-borne pathogens. *Mycorrhizal biology*, 173-196.

Standish R. J., Stoke, B. A., Tibbett M., & Hobbs R. J., 2007. Seedling response to phosphate addition and inoculation with arbuscular mycorrhizas and the implications for old-field restoration in Western Australia. *Environmental and Experimental Botany*, 61(1), 58-65

Taylor D.J., Green N.P.O., Stout G.W., 1997. Biological science. Super Editor. Cambridge University Press: 218-220 p.

Tchameni N., Omoloko C., Nana W, Tchana, N., 2008. Effets des champignons Mycorrhiziens et des flavonoïdes sur les phosphatases, la croissance et la valeur nutritionnelle De l'haricot vert. *Science and Engineering* 9, 1:20 – 28 .

Thomas F., 2008, la fève confirme son intérêt. *Technique culturales simplifiée N48.4eme Edition* .102.

Thomas L., Mallesha B.C. et Bagyaraj D.J., 1994. Biological control of damping-off of cardamom by the VA mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. *Microbiol. Res.* 149: 413–417.

Tveterås S., Asche F., Bellemare M. F., Smith M. D., Guttormsen A. G., Lem, A., ... & Vannuccini S., 2012, Fish is food-the FAO's fish price index. *PLoS One*, 7(5), e36731.

Usha K., Mathew R., et Singh B., 2005. Effect of three species of arbuscular mycorrhiza on bud sprout and ripening in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette, *Biological Argiculture and Horticulture* 23: 73-83 .

Références Bibliographiques

van der H.M.G., Martin F. M., Selosse M. A., & Sanders I. R., 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New phytologist*, 205(4), 1406-1423.

Wang H. F., Zong X. X., Guan J. P., Yang T., Sun, X. L., Ma Y., & Redden, R. 2012, Genetic diversity and relationship of global faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm revealed by ISSR markers. *Theoretical and applied genetics*, 124(5), 789-797.

Wenjin Zhang, Zhicai Xie, Xiaojia Zhang, Duoyong Lang & Xinhui Zhang (2019) Growth-promoting bacteria alleviates drought stress of *G. uralensis* through improving photosynthesis characteristics and water status, *Journal of Plant Interactions*, 14:1, 580-589.

Youseif S.H., El-Megeed F.H.A., Ageez A., Cocking E.C., Saleh S.A 2014, Phylogenetic multilocus sequence analysis of native rhizobia nodulating Faba bean (*Vicia faba* L.) in Eg

Zaghouane, O. (1991). the situation of faba bean (*Vicia faba* L.) in Algeria. *Options Méditerranéennes*. 10: 123-125.

www.kent.ac.uk/bio/beg: 20/05/2021

www.memoireonline.com: 28/04/2021

Annexe

1 : Annexe analyse de la variance de la longueur de la tige principale selon les traitements

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	688,9	2	344,5	F (1,998, 27,97) = 4,089	P=0,0277
Individual (between rows)	1649	14	117,8	F (14, 28) = 1,398	P=0,2182
Residual (random)	2359	28	84,25		
Total	4697	44			

2 : Annexe analyse de la variance du nombre de feuilles selon les traitements

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	1500	2	750,0	F (1,885, 15,08) = 5,314	P=0,0192
Individual (between rows)	47887	8	5986	F (8, 16) = 42,42	P<0,0001
Residual (random)	2258	16	141,1		
Total	51645	26			

3 : Annexe analyse de la variance du nombre de fleurs selon les traitements

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	22,36	2	11,18	F (2, 16) = 2,478	P=0,1155
Individual (between rows)	1535	8	191,9	F (8, 16) = 42,52	P<0,0001
Residual (random)	72,18	16	4,512		
Total	1629	26			

Annexe analyse de la variance du nombre de gousses selon les traitements

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	0,8212	2	0,4106	F (2, 24) = 0,8911	P=0,4234
Residual (within columns)	11,06	24	0,4608		
Total	11,88	26			

4 : Annexe analyse de la variance du poids sec racinaire selon les traitements

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	33,17	2	16,58	F (2, 8) = 1,850	P=0,2186
Individual (between rows)	25,26	4	6,314	F (4, 8) = 0,7044	P=0,6108
Residual (random)	71,71	8	8,964		
Total	130,1	14			

5: 6 : Annexe analyse de la variance du poids sec aérien selon les traitements

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	812,2	2	406,1	F (2, 8) = 3,560	P=0,0784
Individual (between rows)	620,7	4	155,2	F (4, 8) = 1,360	P=0,3286
Residual (random)	912,4	8	114,1		
Total	2345	14			