

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Blida 1



Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies
Mémoire
De fin d'étude en vue de l'obtention du
Diplôme de master II
Spécialité : Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

**Effet de l'incorporation d'intrants biologiques avec ou sans
plantes de services sur les populations aphidiennes d'une
légumineuse cultivée**

Présenté par :
Melle Moumene Rym

Devant le jury composé de :

Mr MOUSSAOUI K.	M.A.A	U.S.D.B.	Président
Mme REMINI L.	M.C.B	U.S.D.B.	Examinatrice
Mme Allal L.	Pr	U.S.D.B.	Promotrice

2020/2021

Remerciements

Par ces quelques lignes, Je tiens à remercier tout d'abord le bon dieu pour m'avoir donnée la force, le courage à surmonter toutes les difficultés pendant l'exécution de mon travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de cette thèse, en espérant n'avoir oublié personne ...

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à la directrice de thèse Madame ALLAL L. d'avoir accepté de diriger mes travaux de thèse. Sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils ont contribué à alimenter ma réflexion. C'était un plaisir de l'avoir eu comme enseignante et comme promotrice ;

J'exprime tous mes remerciements à mes chers enseignants qui sont membres de mon jury :

Je tiens à remercier Monsieur MOUSSAOUI K. de m'avoir honoré de présider le jury ;

Mes vifs remerciements sont adressés à Madame REMINI L. d'avoir accepté de juger mon travail ;

Il m'est particulièrement agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à Monsieur TOUNSSI M. pour son accueil chaleureux au niveau de la pépinière où j'ai réalisé mon expérimentation ; j'ai été très chanceuse de travailler à ses côtés et profiter de ses compétences.

Je ne saurais comment remercier l'équipe du laboratoire de recherche des plantes Médicinales et Aromatiques de l'Université de Blida 1 : Milles Hamel A. ; BOUKHALFAR. ; MIDOUNE A. ; AMOR S. pour leurs précieux conseils et assistance durant mon expérimentation.

Enfin, je ne terminerais pas sans adresser mes remerciements les plus sincères à mes très chers parents, mon frère « Nadjib », ma belle-sœur « Amina », ma sœur « Faten », notre chou chou adoré « Zimo », ma très chère cousine « Hayet », mon très cher cousin « Nassim » et tous mes amis qui m'ont apporté leur appui moral et intellectuel tout au long de mon travail.

Dédicaces

A ma Mère

Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance à ta bienveillance.

A mon père

L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont souhaité ma réussite :

A la mémoire de ma très chère Tante Naima,

Paix à son âme, j'ai tant souhaité ta présence aujourd'hui, tes conseils et ton amour m'ont toujours soutenue pour voir ce jour,

A mon frère Nagi,

A mes sœurs Faten & Amina,

A mon adorable neveu Zimou,

A mes très chères cousines *Hayet et Chahinez* ainsi qu'à mon très cher cousin *Nassim* ,

Une dédicace spéciale pour mes chères amies, *Amira, Sara, Lyna, Ichrak, Soumaya.*

Rym Moumene

Résumé

La présente étude vise l'application des biointrants mycorhiziens canadiens et l'acide humique selon la présence et l'absence d'ail (*Allium sativum* L.) comme plante de service sur la culture de fève (*Vicia faba* L.) en pots.

Les résultats obtenus ont confirmé l'impact des deux biointrants étudiés sur quelques paramètres de croissance ainsi que sur le métabolisme primaire et secondaire des plantes en présence et en absence de la plante service.

Ces deux biointrants ont également confirmé leur effet inhibiteur sur les populations aphidiennes.

L'incorporation des champignons mycorhiziens dans le substrat de culture s'avère prometteuse en vue d'améliorer le rendement, la qualité et réduire les infestations des populations aphidiennes.

Mots clés : Acide humique, *Allium sativum* L., Culture, Mycorhizes canadiennes, *Vicia faba* L., Aphides.

Abstract

The present study focused on the applications of Canadian mycorrhizal bioinputs and humic acid according to the presence and absence of garlic (*Allium sativum* L.) as a service plant on broad beans (*Vicia faba* L.) in pots.

The results obtained confirmed the impact of the two bioinputs studied on some growth parameters as well as on the primary and secondary metabolism of plants in the presence and absence of the service plant.

These two bioinputs have also confirmed their inhibitory effect on aphid populations.

The incorporation of mycorrhizal fungi into the growing medium shows promise for improving yield, quality and reducing infestations of aphid populations.

Key words: Humic acid, *Allium sativum* L., Culture, Canadian mycorrhizae, *Vicia faba* L., Aphids.

ملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تطبيقات المدخلات الحيوية الفطرية الكندية وحمض الهيوميك بحسب وجود وغياب الثوم (*Allium sativum L.*) كمصنع خدمة على زراعة الفول (*Vicia faba L.*) في الاصل. أكدت النتائج التي تم الحصول عليها تأثير المُدخَلين الحيويين المدروسين على بعض معاملات النمو وكذلك على التمثيل الغذائي الأولي والثانوي للنباتات في وجود وغياب الثوم. أكد هذان المدخلان الحيويان أيضًا تأثيرهما المثبط على تجمعات المن. يُظهر دمج الفطريات الفطرية في الوسط المتنامي وعدًا بتحسين الغلة والجودة وتقليل انتشار حشرات المن.

الكلمات المفتاحية : حمض الهيوميك ، *Allium sativum L.*، زراعة ، *eazihrocyM* الكندية ، *Vicia faba L.*، حشرات المن.

Liste des figures

Figure 1 : Morphologie de la partie aérienne de la fève	4
Figure 2 : Variétés de la fève (<i>Vicia faba</i> major L.) et de la féverole (<i>Vicia faba</i> minor) cultivées en Algérie	5
Figure 3 : Forme ailée (a) et aptère (b) du puceron noir de la fève.	9
Figure 4 : Cycle biologique du Puceron du soja	10
Figure 5 : Principaux prédateurs des pucerons	14
Figure 6 : Morphologie générale de la plante d'ail	15
Figure 7 : Semences de fève de la variété « Agadulce ».	19
Figure 8 : Préparation des solutions d'acide humique.	21
Figure 9 : Bio-intrants à base de Mycorhizes.	21
Figure 10 : Semence de fève de la variété « Aguadulce » à la fin de la germination.	22
Figure 11 : Semis dans les plaquettes à alvéoles des graines de fève préalablement germées.	22
Figure 12 : Etapes de stérilisation du sol.	23
Figure 13 : Transplantation des plantules de fève.	24
Figure 14 : Dispositif expérimental représentant la répartition des plants de fève et d'ail	25
Figure 15 : Application des intrants en fertilisants biologiques au niveau des plants de fève	26
Figure 16 : Disposition des assiettes jaunes à eau au niveau des blocs expérimentaux.	32
Figure 17 : Variabilité morphologique de la hauteur des plantes âgées de deux semaines sous l'effet des bio-intrants en présence et en absence d'ail	35
Figure 18 : Variabilité de la hauteur des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après (B) floraison.	36
Figure 19 : Variabilité morphologique de la surface foliaire des plantes de fève âgées de deux semaines sous l'effet des bio-intrants en présence et en absence d'ail	37
Figure 20 : Variabilité de la surface foliaire des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après (B) floraison	38
Figure 21 : Variabilité morphologique des gousses produites par les plantes de fève sous l'effet d'ail	39
Figure 22: Variabilité de la production du nombre de gousses par plante de fève	41

selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail	
Figure 23 : Variabilité du poids frais (A) et du poids sec (B) de la partie aérienne des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail	42
selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail	
Figure 24 : Variabilité morphologique des racines séchées des plantes de fève sous l'effet des biointrants en présence d'ail	43
selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail	
Figure 25 : Variabilité du poids frais (A) et du poids sec (B) de la partie racinaire des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail	44
Figure 26 : Structures mycorhiziennes sur racines des plantes de fève	45
Figure 27 : Variabilité des teneurs en proline chez les plantes de fève cultivées selon les traitements avant (a) et après (b) floraison	46
Figure 28 : Variabilité des taux de sucres chez les plantes de fève cultivées selon les traitements avant (a) et après (b) floraison	47
Figure 29 : Variabilité des teneurs en chlorophylle chez les plantes de fève cultivées selon les traitements avant (a) et après (b) floraison	49
Figure 30 : Variabilité des teneurs en polyphénols totaux chez les plantes de fève cultivées selon les traitements après floraison	50
Figure 31 : Variabilité morphologique de l'infestation des plantes par les pucerons selon les traitements en présence et/ou en absence d'ail selon la période de croissance de la culture de fève	52
Figure 32 : Variabilité de l'infestation des plantes par les pucerons selon les traitements en présence et/ou en absence d'ail selon la période de croissance de la culture de fève.	53
Figure 33 : Morphologie de quelques familles de la collection des parasitoïdes associés aux populations aphidiennes	55
Figure 34 : Abondance des Aphides (A) et des auxiliaires (B) selon les traitements et la période de piégeage	56

Annexe 1 : Analyse de la variance de la hauteur des plantes selon les intrants biologiques en présence et en absence d'ail, avant (A) et après floraison (B) par le test Anova	73
Annexe 2 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon la hauteur des plantes, en présence et en absence d'ail avant (A) et après (B) floraison par le test de Tukey	73
Annexe 3 : Analyse de la variance de la surface foliaire des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après (B) floraison par le test Anova	73
Annexe 4 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon la surface foliaire des plantes, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après floraison (B) par le test de Tukey	74
Annexe 5 : Analyse de la variance du nombre de gousses produites par plante de fève selon les intrants biologiques par le test Anova	74
Annexe 6 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon le nombre de gousses produites par plante, en présence et en absence d'ail, par le test de Tukey	74
Annexe 7 : Analyse de la variance du poids frais (A) et Poids sec (B) de la partie aérienne des plantes de fève selon les intrants biologiques en présence et en absence d'ail, après floraison par le test Anova	75
Annexe 8 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon le poids frais (a) et le poids sec (b) de la partie aérienne des plantes, en présence et en absence d'ail, après floraison par le test de Tukey	75
Annexe 9 : Analyse de la variance du poids frais(A) et Poids sec(B) de la partie racinaire des plantes de fève selon les intrants biologiques en présence et en absence d'ail, après floraison par le test Anova	75
Annexe 10 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon le poids frais (a) et le poids sec (b) de la partie racinaire des plantes, en présence et en absence d'ail, après floraison par le test de Tukey	76
Annexe 11 : Analyse de la variance des taux de proline chez les plantes de fève avant (A) et après (B) floraison par le test ANOVA	76

Annexe 12 : Classement des traitements selon la teneur en proline des plantes de fève avant (a) et après (b) floraison	77
Annexe 13 : Analyse de la variance des taux de sucres chez les plantes de fève avant (A) et après (B) floraison par le test ANOVA	77
Annexe 14 : Classement des traitements selon les taux de sucres chez les plantes de fève avant (a) et après (b) floraison	77
Annexe 15 : Analyse de la variance des teneurs en chlorophylle chez les plantes de fève avant (a) et après (b) floraison par le test ANOVA	78
Annexe 16 : Classement des traitements selon les teneurs en chlorophylle chez les plantes de fève avant (A) et après (B) floraison	78
Annexe 17 : Analyse de la variance des teneurs en polyphénols totaux chez les plantes de fève après floraison par le test ANOVA	78
Annexe 18 : Classement des traitements selon les teneurs en polyphénols totaux chez les plantes de fève après floraison	78
Annexe 19 : Analyse de la variance des taux d'infestation des pucerons des plantes selon les traitements selon la période de croissance de la culture de fève	79
Annexe 20 : Classement des traitements selon les taux d'infestation des pucerons des plantes et selon la période de croissance de la culture de fève	79

Liste des annexes

Sommaire

Introduction	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographiques	2
1 Généralités sur la fève (<i>Vicia faba</i> L.)	2
1.1 Introduction	2
1.2 Description botanique	3
1.3 Classification	3
1.4 Les variétés de la fève	4
1.5 Principaux stades phénologiques	5
1.6 Fertilisation	6
1.7 Importance de la fève	6
1.8 Problèmes phytosanitaires	6
2 Généralités sur les aphides	8
2.1 Introduction	8
2.2 Position systématique	8
2.3. Description morphologique	8
2.4 Cycle Biologique	10
2.5 Les facteurs agissants sur la dynamique des pucerons	11
2.6 Dégâts causés par le puceron <i>Aphis fabae</i> sur la fève	11
2.7 Lutte contre les pucerons	12
3. Généralités sur l'ail	14
3.1 Introduction	14
3.2 Classification de l'ail	15
3.3 Utilisations et propriétés	16
Chapitre 2 : Matériel et méthodes	17
1 Rappel sur les objectifs de l'étude	17
2 Matériel végétal utilisé	17
2.1 La fève	17
2.2 L'ail	18
3 Biointrants utilisés	18
3.1 Acide humique	18
3.2 Engrais à base de mycorhizes	19

4 Méthodologie d'étude	20
4.1 Mise en culture	20
4.2 Présentation du dispositif expérimental	22
4.3 Application des biointrants	24
5 Paramètres étudiés	24
5.1 Paramètres de croissance et de rendement de la fève	24
5.2 Observation des mycorhizes	25
5.3 Teneurs des métabolites primaires et secondaires	26
5.4 Effet des intrants biologiques sur les populations aphidiennes et auxiliaires durant la période d'échantillonnage	29
6 Analyse des données d'observation	31
6.1 Exploitation statistique	31
6.2 Evolution temporelle des abondances en aphides et en auxiliaires	32
Chapitre 3 : Résultats et Discussion	33
1. Effet des intrants biologiques sur les paramètres de croissance de la culture de fève :	33
2 Impact des traitements sur les métabolites primaires chez les plantes de fève	43
3 Impact des traitements sur les métabolites secondaires chez les plantes de fève	47
4 Impact des biointrants et de la plante service sur l'infestation par les aphides et l'abondance des parasitoïdes	48
4.1 Effet des biointrants et de la plante service sur l'infestation par les aphides	48
4.2 Effet des bio intrants et de la plante service sur les parasitoïdes	52
Discussion	54
Conclusion	58
Références bibliographiques	61
Annexe	71

INTRODUCTION

Introduction

Les légumineuses (Fabaceae) représentent la troisième plus grande famille des angiospermes en termes de nombre d'espèces après les familles des Asteraceae et des Orchidaceae (Nasim et al., 2017).

Selon Giove et Abis (2007), les pays méditerranéens ont produit en 2005 une quantité de 1.093.000 tonnes de fèves, soit 25% de la production mondiale. L'Algérie, avec 27 000 tonnes occupe le 17^{ème} rang au niveau mondial et le 6^{ème} rang au niveau continental, devancée par l'Éthiopie (516.000 tonnes), l'Égypte (350.000 tonnes), le Soudan (112.000 tonnes), le Maroc (73.000 tonnes) et la Tunisie (45 000 tonnes).


L'intérêt des légumineuses réside dans leur teneur élevée en protéines et leur haute valeur nutritive en complément à celle des céréales. Elles jouent également un rôle important dans les systèmes de cultures en contribuant à l'amélioration de la fertilité du sol en tant qu'engrais vert pour les sols pauvres dans les régions arides d'Algérie (Chafi et Bensoltane, 2009).

Malgré l'intérêt des cultures de légumineuses, les problèmes d'ordre biotiques et abiotiques, restent de véritables obstacles, empêchant l'augmentation des rendements ; les attaques des ravageurs, particulièrement les pucerons, causent des dommages importants à cette culture. Selon Fouarge (1990), les particularités biologiques et éthologiques de ces insectes, notamment leur potentiel biotique et leurs capacités d'adaptation à l'exploitation maximale du milieu par leur polymorphisme, en font des ravageurs majeurs des cultures. Les pucerons peuvent provoquer des pertes directes sur la plante résultant de leur alimentation à partir de la sève, ou des pertes indirectes suite à la transmission de phytovirus.

Pour faire face à ces problèmes phytosanitaires, les agriculteurs font appel aux produits chimiques qui demeurent à ce jour les seuls moyens efficaces à même de sauvegarder les parcelles de fève. Cependant, d'autres moyens de lutte sont introduits bien que timidement, depuis quelques années dans le cadre de la lutte intégrée, notamment l'utilisation des plantes naturelles (répulsives ou toxiques) et des agents entomopathogènes (champignons, bactéries et virus).

Aussi, notre étude s'inscrit dans cette optique ; elle porte sur la maîtrise des infestations de pucerons sur la culture de fève aux moyens de biointraants à savoir les champignons mycorrhiziens commerciaux (d'origine canadienne) et l'acide humique d'origine allemande, en présence et en absence de la plante d'ail, et ce afin d'optimiser les rendements, améliorer la qualité nutritive et réduire l'utilisation des produits chimiques pour sauvegarder la santé des agents utilisateurs ainsi que l'environnement. Par ailleurs, l'effet éliciteur de l'acide humique

et les mycorhizes à arbuscules a déjà été rapporté par plusieurs chercheurs en plus de la persistance et la multiplication des mycorhizes dans le sol qui contribuent grandement à l'amélioration de la qualité du sol pour une agriculture biologique durable.

A thick red border with a wavy bottom edge frames the text.

Chapitre 1
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

1 Généralités sur la fève (*Vicia faba* L.)

1.1 Introduction

Les légumineuses, sont des dicotylédones appelées aussi légumes secs, dont le fruit est une gousse. Elles appartiennent à la famille des Fabacées, dans laquelle on retrouve le haricot, le lupin, le pois, la lentille, l'arachide, la luzerne, le trèfle, le soja, la cacahuète, le mimosa ou l'acacia. C'est une famille très diversifiée, qui comprend environ 765 genres et 19.500 espèces

On distingue les légumineuses alimentaires représentées notamment par les petits pois, les lentilles et la fève et les légumineuses fourragères comme la luzerne et le trèfle, utilisés dans l'alimentation animale.

Selon Kheloul (2014), la fève occupe en Algérie la première place parmi les légumes secs avec une superficie de 375441ha, soit 48,29% de la superficie totale des légumineuses cultivées. La fève (*vicia faba*) joue un rôle très important dans l'alimentation humaine et animale et constitue une bonne source de protéines (25%) et de glucides (53%). Elle est cultivée dans environ 58 pays et représente la quatrième culture légumière la plus importante dans le monde, derrière les petit pois, les pois chiches et les lentilles (Yahia et *al.*,2012).

Malgré l'importance de la fève, cette culture est sujette à une série de contraintes abiotiques et biotiques comme les maladies et les ravageurs dont les insectes, qui font que les rendements sont faibles et irréguliers. Ces contraintes provoquent des dommages très importants sur le champ, ainsi que dans le stock.

Parmi les insectes ravageurs, le puceron noire de la fève (*Aphisfabae* Scop.) est l'une des espèces les plus polyphages vivant en colonies compactes pouvant infester les plantes de fève.

Ses dégâts sont souvent aggravés par la production de fumagine due au miellat secrété par les pucerons, provoquant l'enroulement, le dessèchement et la chute des feuilles.

1.2 Description botanique

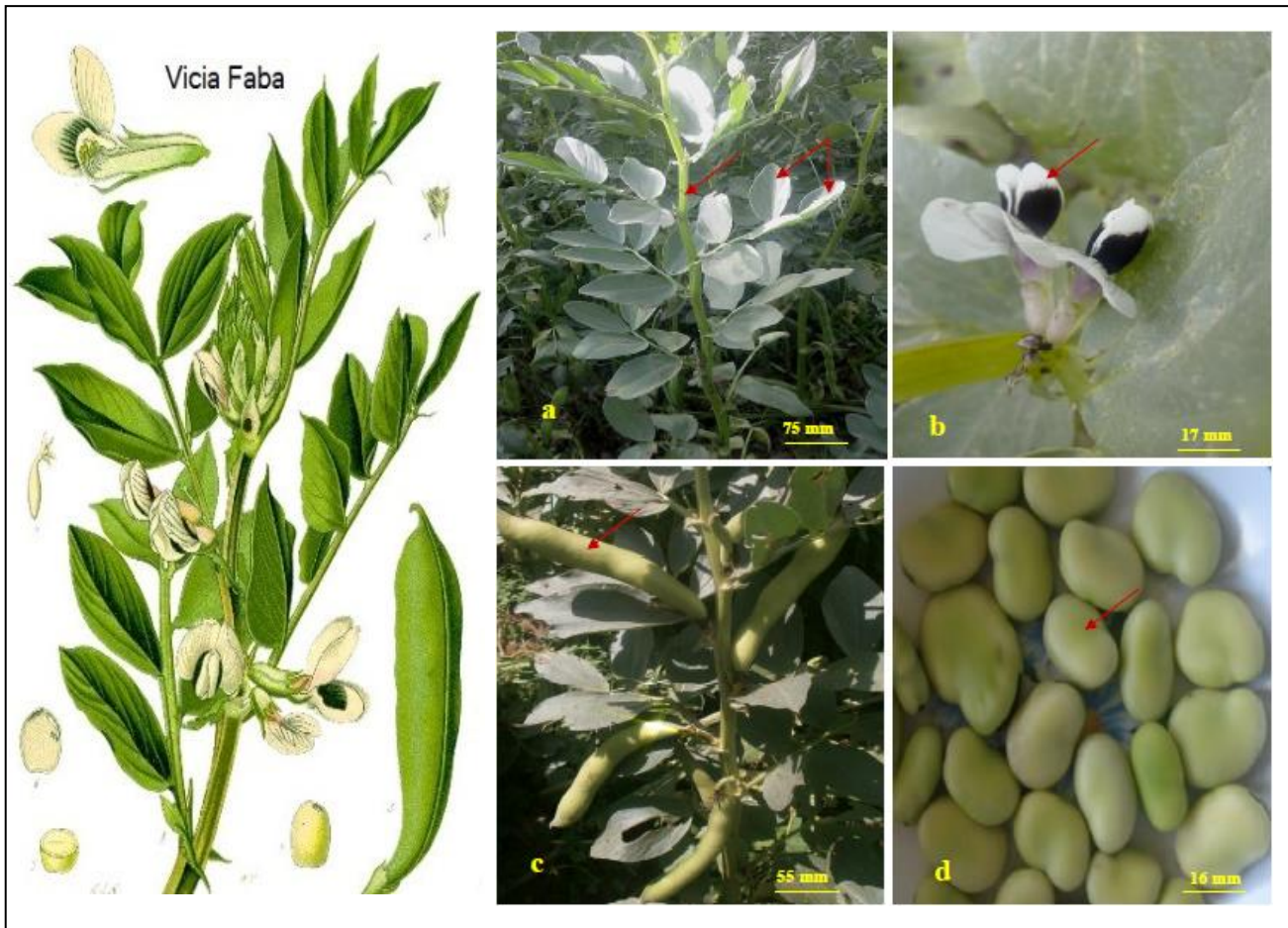
La fève (figure1) est une plante herbacée annuelle à une tige simple dressée creuse, pouvant dépasser un mètre et peut produire une ou plusieurs tiges à partir de la base. Ses feuilles composées sont gris-vertes, mesurant jusqu'à 8cm.

Selon Maoui et *al.*, (1990), la fève possède des inflorescences en grappe de 4 à 5 fleurs en moyenne de couleur blanche avec des ailes noires. Les fruits sont des gousses contenant 4 à 8 graines (selon la variété), et sont riches en protéines, calcium et potassium.

1.3 Classification

D'après Dajoz (2000), la fève est classée comme suit :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous classe : Dialypétales
- Série : Caliciflores
- Ordre : Rosales
- Famille : Fabacées (Légumineuses)
- Sous famille : Papilionacés
- Genre : *Vicia*
- Espèce : *Vicia fabae* L.



a : Tige et feuilles, b : Fleurs , c : Gousses , d : Graines.

Figure 1 : Morphologie de la partie aérienne de la fève (techno-science.net; Mezani, 2011).

1.4 Les variétés de la fève

Il existe plusieurs variétés et cultivars, que l'on différencie par la grosseur, la couleur et la qualité des graines, qui peuvent être petites (variété Minor), moyennes (variété Equina) ou grosses (variété Major) (figure 2) Le terme major désigne les graines que l'on appelle communément «fève» dont la longueur est supérieure à 2 cm, alors que minor correspond au terme «féverole», ce sont des graines de 0,5 à 1,5 cm de long (Atik, 1999).

- **Séville** : C'est une variété précoce à gousses longues, renferment cinq (05) à six (06) grains volumineux. Sa tige est d'une hauteur de 70 cm, se distinguant des autres variétés par la couleur de son feuillage, d'un vert assez franc (Chaux et Foury, 1994). Ses gousses présentent une largeur d'environ 3 cm et une longueur de 25 cm (figure 2 a) (Laumonier, 1979).

- **Aguadulce** : Cette variété possède des gousses de couleur vert 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 variété Séville, d'Espagne) (figure 2b) (Zaghouane, 1991).
- **Muchaniel** : C'est une variété très précoce, elle a des gousses de couleur vert clair, de 20 cm de longueur en moyenne, renfermant cinq (05) à (06) grains blancs, elle est très productive (figure 2c) (Chaux et Foury, 1994).
- **Féverole** : Cette variété possède un système racinaire très repoussant et structurant. C'est l'une des plus performantes variétés, en matière de fixation de l'azote (Thomas, 2008). En Algérie, la seule variété de féverole cultivée est « Sidi Aich » (figure 2d) (Zaghouane, 1991).



Figure 2 : Variétés de la fève (*Vicia faba major* L.) et de la féverole (*Vicia faba minor*) cultivées en Algérie d'après Mezani (2011).

1.5 Principaux stades phénologiques

Les stades phénologiques de la fève (fig. 3) (Weber et Beleiholder, 1990 ; Lancashire et al., 1991) sont décrits comme suit :

- La germination des graines sèches jusqu'à l'apparition des jeunes pousses,
- Le développement des feuilles : 9 ou davantage de feuilles étalées,
- L'élongation de la tige principale : l'augmentation de la hauteur de la tige,

- La floraison : Apparition des fleurs,
- Le développement du fruit : les gousses atteignent leur taille finale.

1.6 Fertilisation

La fève est une légumineuse fixatrice de l'azote atmosphérique donc, aucun apport azoté n'est nécessaire. Cependant, un apport initial d'ammonitrate au début du cycle favorise le démarrage de la culture avant que l'azote atmosphérique ne soit disponible à la plante à travers les nodosités racinaires (Douba, 2016).

1.7 Importance de la fève

La fève présente un effet très bénéfique dans l'agriculture, elle est consommée par l'animal et l'être humain. C'est une source de protéines et elle peut même être utilisée comme engrais vert (Mezani, 2011).

1.7.1 Intérêt agronomique

Comme toute légumineuse alimentaire, *V. faba* joue un rôle non négligeable dans l'enrichissement du sol en azote (Rachef et al., 2005) et en élément fertilisant avec une incidence positive sur les performances des cultures qui les suivent notamment le blé (Khaldi et al., 2002). Elle est introduite aussi en rotation avec les céréales.

1.7.2 Intérêt alimentaire

Selon Gordon (2004), la fève est élevée est une excellente source de protéines, de fibre soluble et insoluble de glucides complexes, de vitamines (B9 et C) et de minéraux, en particulier le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le cuivre et le zinc. La graine de la fève *V. faba* variété major joue un rôle très important dans la composition des aliments du bétail lorsqu'elles sont disponibles en grande quantité.

1.8 Problèmes phytosanitaires

La fève est une culture peu exigeante. Elle offre des gousses remplies de généreuses graines à la saveur prononcée de noisette et à la texture onctueuse mais, elle est sujette à des attaques d'origine fongiques et virales. Elle est aussi facilement infestée par des nématodes et parasitée par des ravageurs.

1.8.1 Principales maladies

Les principales maladies fongiques se résument par :

- Le mildiou

Selon Chauv et Foury (1994), le mildiou provoque une décoloration jaunâtre à la face supérieure des feuilles liée à la présence d'un feutrage blanc gris à la face inférieure. Les attaques précoces du mildiou entraînent le nanisme des plantes ainsi qu'une déformation des tiges et des pétioles.

- **La rouille** constitue un facteur limitant de production des fèves dans plusieurs pays. En Algérie, les pertes de rendement en graine sec ont été estimées de 15 à 20% (Meskine et al., 2002).

- **Les taches chocolats** causées par *Botrytis fabae* est l'une des maladies les plus dévastatrices affectant la fève (Abou zaid, 2002 ; Stoddard et al., 2010). Les premiers symptômes sont des taches foncées brunes invisibles entourées par un anneau orange brun sur les feuilles, les fleurs et les tiges (Stoddard et al., 2010).

1.8.2 Principaux ravageurs

Parmi les principaux insectes ravageurs et nématodes inféodés à la fève, on distingue :

- La bruche de la fève *Bruchus rufimanus* (Coleoptera, Bruchidae): La femelle pond ses œufs sur les gousses et les larves se développent au dépend des graines qui perdent leur pouvoir germinatif et leur poids (Boughdad, 1994).

- Le puceron noir de la fève *Aphis fabae* (Hemiptera, Aphididae) est un insecte piqueur suceur qui vit en colonies compactes à l'extrémité des plantes de fève. Il provoque l'enroulement, le dessèchement et la chute des feuilles (Hamadache, 2003). De plus, il transmet plus de 30 virus pathogènes (Blackman et Eastop, 2007).

- Les nématodes provoquent le gonflement et la déformation de la tige avec la décoloration des différentes parties de la plante. Ils peuvent rester sous le manteau de la graine en développement et tuent celle-ci ou réduisent au moins sa vigueur et causent la souillure (Abbad Andaloussi, 2001).

2 Généralités sur les aphides

2.1 Introduction

Selon Shannag et Abadneh (2007), le puceron noir de la fève *Aphis fabae* est la principale contrainte à la production de la fève. Les colonies de cet insecte ravageur couvrent les tiges de la plante, causant des chutes de fleurs qui se soldent par une réduction des rendements (Hamadache et Oufroukh, 1994 ; Deraison, 2002). En plus des dégâts directs, ce puceron excrète du miellat qui entrave certains processus physiologiques de la plante et stimule la croissance de la fumagine.

2.2 Position systématique

D'après Remaudiere et Remaudiere (1997), le puceron noir de la fève « *A. fabae* » appartient au :

- Règne : Animal,
- Embranchement des Arthropodes,
- Sous embranchement des Mandibulates,
- Classe des Insectes,
- Sous-classe des Ptérygotes,
- Section des Neoptères,
- Super ordre des Hémiptéroïdes,
- Ordre des Homoptères,
- Superfamille des Aphidoidea,
- Famille : Aphididae,
- Sous-famille : Aphidinae,
- Genre et espèce : *Aphisfabae*.

2.3 Description morphologique

Les pucerons ou aphides sont des petits insectes (2 à 4mm) aux téguments mous, avec le corps oval un peu aplati ou globuleux. Leurs pièces buccales sont de type piqueur suceur (Tanya, 2002). Les antennes de 3 à 6 articles, sont insérées directement sur le

front ou sur des tubercules frontaux plus au moins proéminents. Elles portent des organes sensoriels particuliers appelés rhinaries, avec une partie distale amincie et nommée fouet ou processus terminal (Hulle *et al.*, 1999). Les ailes sont à nervation réduite plus ou moins complète selon les familles, avec typiquement une nervure longitudinale marquée (Leclant, 1996). Selon Hulle *et al.*, (1998), chez beaucoup de pucerons, l'abdomen porte dorsalement, au niveau du cinquième segment, une paire de cornicules, tubes creux dressés, de forme et d'ornementation très variées, qui excrètent des hormones d'alarme et des phéromones sexuelles. L'abdomen se termine par un prolongement impair du dernier segment, appelé cauda (queue) et qui sert à l'épandage du miellat (Grasse, 1951).

Le puceron noir peut se présenter sous les formes ailée (3a) et/ou aptère (3b).

2.3.1 Forme ailée

Sous sa forme ailée, *A.fabae* est plus allongé que la forme aptère, il est de couleur sombre noire, avec des antennes courtes représentant environ les deux tiers de la longueur du corps (Hulle *et al.*, 1999). L'abdomen de l'ailé est souvent orné de bandes transversales irrégulières et de sclérites marginaux de couleur sombre. Les cornicules sont noires. La cauda est noire et arrondie à son extrémité (Benoufella-Kitous, 2005).

2.3.2 Forme aptère

D'après Hulle *et al.*, (1988), le puceron noir de la fève mesure environ 2 mm. Il possède des antennes et cornicules courts. Il est de couleur verte olive foncé à noire mate, son corps est ovale un peu aplati (Tanya, 2002).



Figure 3 :Forme ailée (a) et aptère (b) du puceron noir de la fève (Hulle *et al.*, 1999)

2.4 Cycle Biologique

D'après Hulle et *al.*(1999), le cycle biologique d'*A. fabae* se déroule en deux temps : d'abord en automne et hiver comme celui du puceron du soja (fig. 4).

Les pucerons peuvent être divisés en deux groupes selon leur cycle de vie (Rabatel, 2011).

- Les espèces monoéciques qui se nourrissent sur les mêmes espèces de plantes vivaces ou herbacées tout au long de l'année ;
- Les espèces dioéciques ou hétéroéciques changent d'hôte au cours de leur cycle biologique, en hiver ils migrent vers l'hôte primaire (souvent des plantes ligneuses) et en été vers une ou plusieurs espèces secondaires (telles des plantes herbacées). L'éclosion des œufs a lieu en hiver, et dès le mois de mars plusieurs générations parthénogénétiques se développent sur l'hôte primaire et la proportion d'aîlés augmente alors au sein colonies. Les premiers aîlés s'observent au cours du mois d'avril, ils seront impliqués dans la reproduction sexuée, apparaissent à l'automne et regagnent l'hôte primaire (Benoit, 2006).

D'après Vanlerbergbe-Masutti (1996), les pucerons femelles parthénogénétiques peuvent se multiplier par voie asexuée (parthénogénèse).

La fécondation et la ponte interviennent au courant du mois d'octobre. La reproduction sexuée n'est pas toujours obligatoire chez ce puceron.

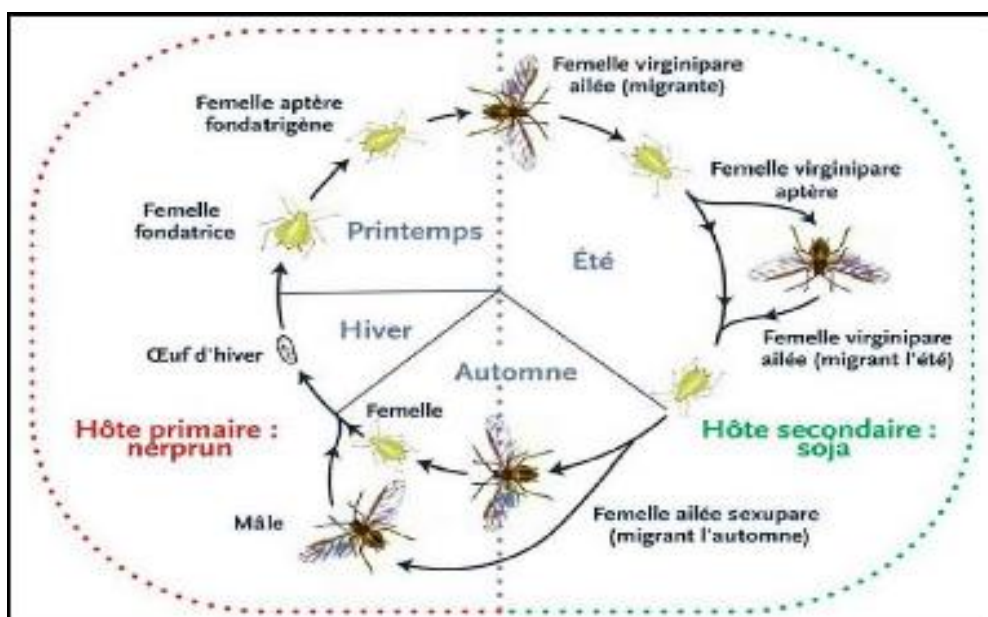


Figure 4 : Cycle biologique du Puceron du soja (Alain, 2006).

2.5 Les facteurs agissants sur la dynamique des pucerons

Les facteurs intervenant dans le développement des populations de pucerons sont nombreux et peuvent être répartis en deux groupes : les facteurs abiotiques dus notamment aux facteurs climatiques et les facteurs biotiques dus au parasitisme et à la prédation des ennemis naturels.

Selon (Robert, 1982). Les parasitoïdes sont des insectes qui insèrent leurs œufs dans le corps de leur proie où la larve se développe à l'intérieur, ce qui entraîne sa mort. La nymphose a lieu dans la momie du puceron, puis l'adulte s'en échappe en y forant un trou.

Ashfaq et *al.*, (2007) ont observé que les conditions favorables de croissance des pucerons sont à des températures de 13,7°C à 30,3°C et une humidité relative de 45,3%. Iluz (2011) signale que des conditions climatiques défavorables sont néfastes pour les pucerons, tels que les gelées printanières, les chaleurs excessives qui empêchent les pucerons ailés de se disperser et délogent les pucerons aptères des plantes.

Aussi, les précipitations influencent directement sur l'envol des pucerons. Les fortes précipitations peuvent empêcher le vol des pucerons. Elles diminuent leur fécondité et augmentent leur mortalité, selon Dedryver (1982). Le vent, d'après Labrie (2010), par sa vitesse et sa direction, détermine la distribution et l'aptitude de déplacement des pucerons, qui peuvent être transportés à de longues distances atteignant jusqu'à 150 à 300 km.

2.6 Dégâts causés par le puceron *Aphis fabae* sur la fève

2.6.1 Dégâts directs

La présence de milliers d'individus sur les plants de fève (figure 6) peut causer des dommages irréversibles (Harmeletal., 2008) parmi ses dégâts on trouve :

- L'apparition de galles qui se traduisent par la déformation des feuilles ou des fruits et donc une perte de rendement à cause de absorption de la sève par ces pucerons (Christelle, 2007)
- Une déformation des gousses déjà développées, un enroulement et une chute prématurée des feuilles, ainsi qu'un dessèchement des pousses (Leclant, 1982).

2.6.2 Dégâts indirects

Le puceron *A. fabae* véhicule plus de 30 virus phytopathogènes (Blackman et easatop, 2007) En se déplaçant d'une plante à une autre, ces virus affectent les processus physiologiques de la plante .

-Le miellat excrété par les pucerons constitue un milieu très favorable au développement de la fumagine, ce qui réduit la capacité photosynthétique de la fève (Hulle *et al.*, 1998).

2.7 Lutte contre les pucerons

Le puceron *A.fabae* compte parmi les ravageurs les plus importants des cultures de la fève, Pour cela différents méthodes de lutte sont préconisées.

2.7.1 Lutte préventive

C'est l'une des meilleures méthodes de lutte contre les pucerons. Elle se base sur les différentes pratiques culturales et l'entretien de la culture avec l'enfouissement pendant l'hiver des plantes ayant reçu des œufs d'hiver ainsi que la destruction par des hersages ou sarclages des plantes sauvages susceptibles d'héberger des pucerons au début du printemps (Lambert, 2005).

2.7.2 Lutte chimique

Selon Ferrero (2009), l'utilisation des pesticides reste le moyen le plus largement utilisé et le plus efficace aujourd'hui. De préférence, les insecticides chimiques doivent être sélectifs afin de préserver la faune utile. Les pesticides chimiques doivent aussi être dotés d'un effet de choc élevé et d'une bonne rémanence. En plus, ils doivent appartenir à des familles chimiques différentes pour éviter ou retarder le phénomène de résistance. Le choix doit porter sur des produits systémiques qui touchent même les pucerons protégés par l'enroulement des feuilles (Dedryver *et al.*, 2010).

2.7.3 Lutte biotechnique

Ce moyen de lutte est basé sur le comportement de certains insectes qui sont attirés par différents attractifs visuels (couleur) ou olfactifs (aliments, phéromones). Ces couleurs

et ces substances peuvent être utilisés pour le piégeage de masse, le piégeage d'avertissement ou des traitements par tâches (Ryckewaert et Fabre, 2001).

2.7.4 Lutte biologique

La lutte biologique se fait par l'utilisation des organismes vivants (insectes, bactéries, nématodes,...) (Hautier, 2003 ; L, 2005).

Le puceron noir de la fève compte plusieurs ennemis naturels.

Selon Georcret et Scheromm (1995), les prédateurs se résumant se distinguent en (figure 5) :

- **Coccinelles (Coleoptera, Coccinellidae)** qui sont à la fois très polyphages et très voraces. Les femelles pondent jusqu'à 20 œufs par jour, près des colonies de pucerons. Les larves et les adultes sont de grands prédateurs Les stades larvaires âgés peuvent consommer jusqu'à 100 pucerons par jour.
- **Chrysopes (Neuroptera, Chrysopidae)** ont des larves qui peuvent chacune manger jusqu'à 500 puceron par jour
- **Syrphes (Diptera, Syrphidae)** qui se caractérisent par des couleurs bigarrées jaune et noir qui les font ressembler aux guêpes .L'adulte butineur est pollinisateur mais la larve dévore chaque jour 40 à 50 pucerons.



Figure 5 : Exemples des principaux prédateurs des pucerons

(www.gerbeaud.com, www.entomart.be, www.myrmecofourmis.fr).

3 Généralités sur l'ail

3.1 Introduction

L'ail (*Allium sativum* L.) est une plante monocotylédone, herbacée, vivace, bulbeuse et à nombreuses fleurs blanches ou roses formant une inflorescence en ombelle. Le bulbe mère repose sur une structure plate appelée plateau d'où partent les racines. Le bulbe et les gousses sont entourés de pellicules très fines de couleur blanche ou rose à pourpre. Il existe 700 variétés d'ail qui varient selon leur grosseur, leur saveur et leur couleur. La reproduction d'*Allium sativum* est strictement végétative et ceci, à partir d'une gousse.

Depuis bien longtemps, les Hommes traitent leurs maux avec les plantes. Parmi celles-ci, l'*Allium sativum* L. bien connu dans les différents continents, par les nombreux bienfaits en passant par le traitement de l'insuffisance veineuse, l'hypertension, l'action

antibactérienne, et bien d'autres, L'ail est non seulement utilisé en cuisine comme condiment pour ses vertus aromatiques, car il relève le goût des viandes et des sauces mais utilisé en phytothérapie vue ses effets anti-tumoraux, anti-cholestérol, antifongiques, antibactériens, antiviraux, antiparasitaires, antioxydants et hypoglycémiant. L'ail possède la plus puissante et pénétrante odeur.

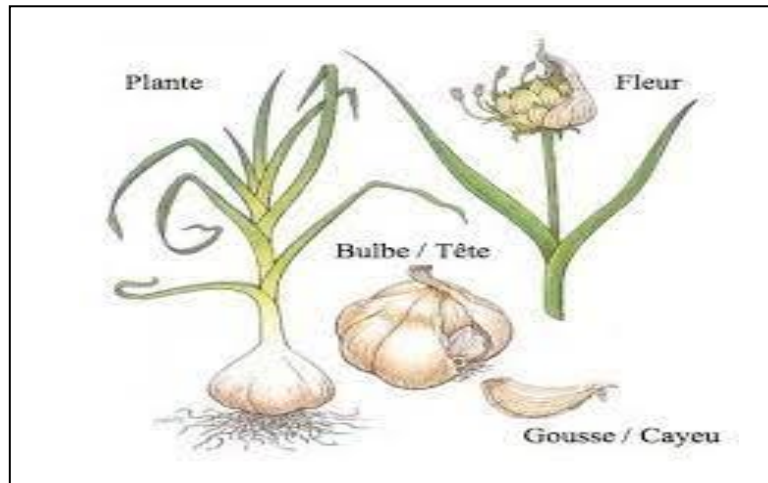


Figure 6 : Morphologie générale de la plante d'ail (Dethier, 2009).

3.2 Classification de l'ail

Selon Touil et *al.* (2015), la classification traditionnelle de l'ail, distingue les cultivars selon des critères morphophysologiques en fonction de leur période de végétation et de la couleur de la tunique des bulbes et des bulbilles.

La taxonomie se présente comme suit :

- Règne : Plante
- Sous règne : Trachéophyte
- Embranchement : Spermatophytes ou Phanérogames
- Sous embranchement : Angiospermes
- Classe : Monocotyledonae
- Sous classe : Liliidae
- Ordre : Liliales
- Famille : Liliaceae ou Liliacées

- Genre : Allium
- Genre et espèce : *Allium sativum*
- Nom commun : Ail

3.3 Utilisations et propriétés

L'ail est d'abord utilisé en cuisine pour relever le goût des aliments, mais ses nombreuses propriétés thérapeutiques en font un complément alimentaire prisé. Il prévient aussi le risque de thrombose et d'athérosclérose. Comme, il diminue l'hyperglycémie et la tension sanguine (Silagy et Neil, 1994 ; Bruneton, 1999).

Les usages culinaires de l'ail sont nombreux. Les bulbes sont utilisés frais mais aussi séchés, en granules ou en poudre comme condiment. Quand on cuisine de l'ail, certains conseillent de retirer le germe, qui serait moins digeste que le reste de la gousse en raison d'une plus grande concentration de produits organo-sulfurés (Najja et *al.*, 2010).

L'ail était utilisé comme remède sous forme de vinaigre à l'ail, ou encore avec d'autres aromates et épices pour combattre la contagion (Satiadev, 1998).

Des études ont montré l'activité antimicrobienne de l'huile macérée de l'ail contre, les bactéries gram positif et gram négatif, des levures et même peut également inhiber la croissance de la bactérie *Helicobacter pylori* responsable du cancer de l'estomac (Ohta et *al.*, 1999; Yoshida et *al.*, 1999).

Le principe actif impliqué dans cette propriété serait l'allicine, qui a montré une action inhibitrice sur les tumeurs (Jung, 2005). La S-allyl cystéine (composé stable et inodore) inhiberait le processus de cancérogénèse (Amagase et *al.*, 2001).

L'ail est reconnu comme une plante carminative, soulageant la détresse épigastrique et abdominale, les éructations, les flatulences, les coliques et la nausée (Damrau et Ferguson, 1949). Lorand a émis l'hypothèse que l'ail augmenterait la sécrétion de suc gastrique et désinfecterait l'intestin (Leclerc, 1976).

L'ail est aussi un insecticide naturel redoutablement efficace et très utile aux amateurs de jardinage (plantez de l'ail entre vos rosiers ou autres fleurs, vous éviterez les pucerons) (www.action-web).

4 Généralités sur les champignons mycorhiziens

4.1 Introduction

Les mycorhizes dérivent leur nom du mot grec « *mykès* » qui signifie champignon et « *rhiza* » qui signifie *racine*. La symbiose mycorhizienne est donc une association symbiotique entre une plante et un champignon mycorhizien.

D'après Kormanik et *al.*, 1982; Fontana, 1985; Strullu, 1990 Les champignons mycorhiziens à vésicules et arbuscules (MVA) ont suscité beaucoup d'intérêt durant les vingt dernières années, à cause de leur effet favorable principalement sur l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs

4.2 Les types de mycorhizes

Selon Peyronel et *al.*, 1969 La symbiose mycorhizienne prend différentes formes selon les caractères anatomiques de l'association, qui dépendent directement des partenaires impliqués. On distingue : Les ectomycorhizes, les endomycorhizes et les ectoendomycorhizes.

4.2.1 Les ectomycorhizes

Les symbioses d'ectomycorhizes formées entre les deux espèces de gymnospermes et d'angiospermes et de nombreux champignons basidiomycètes et de champignons ascomycètes (Peterson and Massicotte 2004).

4.2.2 Les ectendomycorhizes

Les champignons à ectendomycorhizes regroupent seulement quelques espèces de champignons ascomycètes qui colonisent la plupart des espèces des genres *Pinus* et *Larix* (Peterson and Massicotte., 2004).

4.2.3 Les endomycorhizes

Les champignons endomycorhiziens ne sont pas spécifiques et sont normalement associés aux plantes comme les plantes forestières agricoles et horticoles.

Ces symbiotes à colonisation intracellulaire corticale, forment des arbuscules, des vésicules ou des hyphes, ne se cultivent pas et ne sont pas visibles qu'après coloration. Il existe trois types d'endomycorhizes : Les endomycorhizes arbutoides des Ericacées, les

endomycorhizes arbusculaires des Orchidées et, les endomycorhizes à arbuscules (Souza 2015).

1.2.4 Champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA)

D'après Souza 2015 les champignons mycorhiziens à arbuscules sont des symbiotes racinaires obligatoires présents dans la plupart des écosystèmes terrestres et établissent une symbiose mutualiste avec plusieurs espèces végétales dans le monde .

4.3 Effet de la mycorhization sur la croissance de la plante-hôte

Les mycorhizes stimulent généralement la croissance des plantes-hôtes, en particulier dans des sols où la disponibilité en éléments minéraux est faible. 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; Bolan, 1991).

Dans la plupart des cas, l'effet bénéfique des mycorhizes est dû à une amélioration de la nutrition minérale de la plante-hôte, surtout en ce qui concerne les éléments peu mobiles dans le sol tels que P, Zn et Cu (Tinker, 1984)

A thick red border with a wavy bottom edge frames the text.

Chapitre 2
MATERIEL
ET METHODES

1 Rappel sur les objectifs de l'étude

L'utilisation d'intrants biologiques s'inscrit dans un système de production respectant les valeurs de l'agroécologie et du développement durable. Par opposition aux éléments d'origine chimique de synthèse ou minérale, les biointrants sont apportés sur une parcelle agricole dans le but de participer à l'optimisation d'une production.

Les objectifs du présent travail sont de mettre en exergue les points suivants :

- Quels sont les effets des applications d'intrants organiques à base d'acide humique et de mycorhizes sur la croissance et le rendement d'une légumineuse cultivée la fève.
- L'association ou non d'une Alliacee *Allium sativum* améliore-t-elle ou non dans ces cas la protection de la fève contre ses principaux ravageurs à savoir les pucerons ?
- Ya-t-il un effet sur la disponibilité en auxiliaires au sein des plants de fève dans ces conditions ?

2 Matériel végétal utilisé

2.1 La fève

Le matériel végétal est constitué d'un échantillon de semences certifiées d'une variété importée de fève *Vicia faba* nommée « Agadulce » provenant du Centre National de Contrôle et de Certification (CNCC), d'El Harrach (Figure 7).



Figure 7: Semences de fève de la variété « Agadulce » .

2.2 L'ail

Pour les besoins de notre expérimentation, une variété rouge locale « ASbr » de l'ail, *Allium sativum* L. a été utilisée après avoir été achetée fraîche du marché des fruits et légumes de OuledYaich (Blida).

Plusieurs gousses d'ail ont été décortiquées. La peau sèche a été enlevée, les gousses et les graines ont été séparées, puis mises dans des récipients contenant de l'eau de robinet.

Dès l'apparition des racines, les gousses sont transplantées dans des pots de capacité de 500g à raison d'une graine par pot dont le substrat est composé de 2/3 de sol et de 1/3 de tourbe.

Des arrosages à l'eau courante ont été apportés au besoin jusqu'à l'apparition des plantes.

3 Bio intrants utilisés

Deux types de biointrants ont été utilisés, un engrais à base d'acide humique et un engrais à base de mycorhizes.

3.1 Biointrants à base d'Acide humique

Les substances humiques Ce sont des substances humiques, généralement des mélanges complexes d'acides humiques, d'acides fulviques et d'humine (Conte et Piccolo, 1999). Cet assemblage complexe de molécules provenant de débris végétaux et animaux, représente l'un des matériaux organiques les plus abondants sur la terre. Dans le sol, les substances humiques jouent un rôle clé dans diverses fonctions du sol et des plantes, comme le contrôle de la disponibilité des éléments nutritifs, l'échange de carbone et d'oxygène entre le sol et l'atmosphère, la transformation et la protection contre les produits chimiques toxiques. De plus, les substances humiques dans les sols affectent la physiologie des plantes ainsi que la composition et la fonction des microorganismes de la rhizosphère.

Pour la préparation de l'acide humique à utiliser dans notre expérimentation, 160g d'acide humique provient de la firme « Humintech » ont été mis dans 800ml d'eau distillée puis le mélange a été bien agité (Figure 8).



Figure8 : Préparation des solutions d'acide humique.

3.2 Biointrants à base de mycorhizes

Il s'agit de mycorhizes commerciaux, provenant du Centre de Recherche et de Développement International du Canada (CRDI) (Figure 9), mises à notre disposition par Madame Dr. MOUMENE Saida du Laboratoire de recherche des plantes Médicinales et Aromatiques, de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Blida1.

Les mycorhizes agissent en colonisant le système racinaire et la surface des feuilles et des tiges ; ils s'approprient des ressources disponibles et créent une barrière physique contre les maladies racinaires et foliaires. Ils produisent également des toxines qui rendent les agents pathogènes sensibles aux attaques des microorganismes prédateurs.



Figure 9 : Biointrants à base de Mycorhizes.

4 Méthodologie d'étude

4.1 Mise en culture

4.1.1 Germination de la fève

Les semences de fève ont été d'abord stérilisées dans de l'eau de javel pendant 10 minutes puis rincées avec de l'eau courante avant d'être déposées dans un récipient contenant une serviette humidifiée que nous avons imbibé quotidiennement jusqu'à l'allongement de la radicule et de la tigelle, (Figure 10).



Figure 10 : Semence de fève de la variété « Agadulce » à la fin de la germination.

Après la germination, les semences germées sont déposées chacune dans des alvéoles carrées puis recouvertes avec de la tourbe stérile (Figure 11). Celle-ci est bien tassée et arrosée quotidiennement.

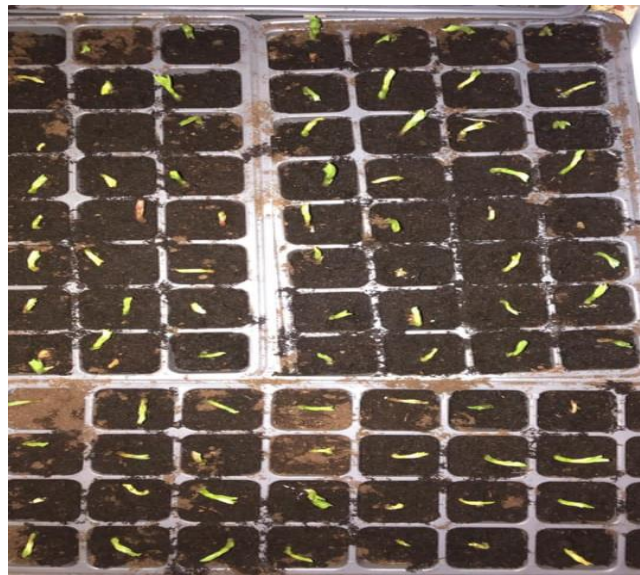


Figure 11 : Semis dans les plaquettes à alvéoles des graines de fève préalablement germées.

4.1.2 Stérilisation du sol

Nous avons utilisé un sol provenant de la région de Koléa, (Wilaya de Tipaza). Les gros éléments de ce sol (cailloux) ont été éliminés après tamisage. Puis, nous avons procédé à sa stérilisation.

De l'eau est mise à bouillir pendant 10 minutes puis une quantité de sol a été mise dans un couscoussier contenant le sol à stériliser puis déposée au-dessus de l'eau bouillante pendant 3 heures (Figure 12). Cette opération est répétée jusqu'à épuisement de toute la quantité de sol à utiliser pour la mise en pots.

Par la suite, le sol a été étalé sur des feuilles de papier pour refroidir.



Figure 12 : Etapes de stérilisation du sol.

4.1.3 Transplantation de la fève

Les plantules de fève au stade d'une à 5 feuilles sont repiquées à partir des plaquettes à alvéoles dans des pots remplis au 1/5^{ème} de sol stérilisé. Elles sont ensuite recouvertes du même sol jusqu'à la surface puis arrosées régulièrement avec de l'eau courante (Figure 13).



Figure 13 : Transplantation des plantules de fève.

4.2 Présentation du dispositif expérimental

Notre expérimentation a été réalisée au niveau de la pépinière des frères Tounsi, située à proximité de la faculté des sciences de la nature et de la Vie de l'Université de Blida 1, à Soumaa, Wilaya de Blida.

Nous avons choisi une parcelle rectangulaire qui s'étend 50m² bordée au nord par une jachère dans laquelle est installée une bâche d'eau pour l'arrosage, dans la partie sud est localisée une serre d'arbustes d'agrumes et à l'ouest est située une autre serre de culture de tomate.

Cette parcelle a été divisée en deux blocs de 25m² distants de 5m où nous avons installé les pots de plants de fève qui ont constitué notre dispositif expérimental. Les deux blocs sont séparés par une petite pépinière de plants d'olivier,

Le premier bloc (bloc avec ail, fig. 14 a) a fait l'objet d'un essai portant sur l'apport de fertilisants sur la fève avec la présence de plants d'ail. Au niveau du deuxième bloc (bloc sans ail, fig. 14 b), nous avons considéré le même dispositif mais sans les plants d'ail.

L'ensemble des plants est disposé sur du paillage plastique pour empêcher le développement de mauvaises herbes. Les distances inter pots et inter rangées sont de 20

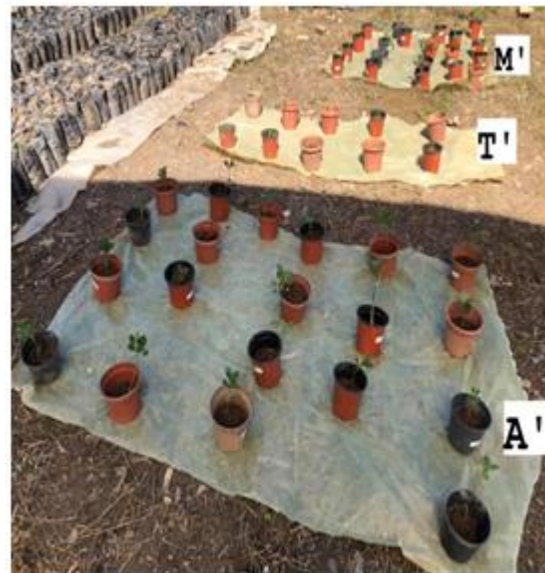
cm et de 1m respectivement. L'expérimentation, s'est étalée sur une période de quatre (04) mois, du 9 Mars au 6 juin 2021.

➤ **Bloc avec ail**

- **Bloc T** représente le témoin qui se compose de deux rangées de 05 pots de fève. Les deux rangées sont séparées chacune par une rangée de 05 pots d'ail,
- **Bloc M** contient quatre (04) rangées de cinq (05) pots de fève dans lesquels nous avons incorporé les solutions préparées d'engrais à base de mycorhizes. Dans ce bloc, les plants de fève sont séparés par une rangée de quatre (04) pots d'ail,
- **Bloc A** contient quatre (04) rangées de cinq (05) pots de fève dans lesquels ont été appliqués des solutions préparées d'engrais à base d'acide humique, séparées par une rangée de quatre (04) pots d'ail.

➤ **Bloc sans ail**

- **Bloc T'** représente le témoin qui contient deux rangées de 05 pots de fève.
- **Bloc M'** contient quatre (04) rangées de cinq (05) pots de fève chacune contenant une solution de mycorhizes.
- **Bloc A'** contient quatre (04) rangées de cinq (05) pots de fève chacune contenant une solution d'acide humique.



Bloc de plants de fève en présence de plants d'ail. Bloc de plants de fève sans plants d'ail. (b)

(a)

Figure 14 : Dispositif expérimental représentant la répartition des plants de fève et d'ail.

4.3 Application des biointrants

Les intrants en fertilisants testés ont été incorporés, à raison d'une seule application pour chaque intrant dès leur transplantation dans les pots, lorsque les plantules de fève ont atteint le stade 4 à 5 feuilles vers le 20 mars.

Nous avons incorporé dans chaque pot destiné aux traitements une quantité de 10 g d'engrais à base de Mycorhizes et une solution de 5ml d'acide humique (Figure 15) autour des plantules près des racines. Nous avons rajouté du sol stérilisé puis arrosé de manière suffisante toutes les plantules.



A : Mycorhizes, B : Acide humique

Figure 15 : Application des biointrants (A et B) par incorporation dans le sol au niveau des racines des plants de fève.

5 Paramètre étudiés

5.1 Paramètres de croissance et de rendement de la fève

Les paramètres déterminant la croissance des plantules de fève sont représentés dans cette étude par la hauteur, et la surface foliaire qui ont été mesurés à 8 semaines après la transplantation des plaquettes à alvéoles aux pots.

- **La hauteur de plantes** a été mesurée à l'aide d'une règle graduée et exprimée en cm.

- **La surface foliaire** en cm² a été également mesurée à l'aide d'une règle graduée sur un nombre moyen de 2 feuilles par plantule et par bloc, en considérant les longueurs et les largeurs maximales prises dans la partie médiane de chaque feuille.

Les paramètres déterminant le rendement de la fève dans le présent travail sont représentés par le nombre de fleurs, le nombre de gousses, les poids de matière fraîche et sèche des parties aérienne et racinaire des plants de fève sous l'effet des différents traitements biologiques utilisés en comparaison avec les témoins.

- **Le nombre de fleurs** a été comptabilisé 4 jours après l'apparition des fleurs puis le comptage s'est poursuivi de manière hebdomadaire.

- **Le nombre de gousses** a été comptabilisé 4 jours après l'apparition des gousses puis le comptage s'est poursuivi chaque semaine.

- **Les poids de matière fraîche et sèche des plants de fève** : A la fin de l'expérimentation le 9 juin, la plante de fève était arrivée au stade de formation des fruits, les parties aériennes et racinaires des plants de fève ont été séparées selon les cas (plants fertilisés ou non avec ou sans plants d'ail en plus des plants non fertilisés). Les différents compartiments ont été pesés à l'aide d'une balance de précision de $\pm 0,1$ g.

Les racines ont été débarrassées du sol à l'aide d'un pinceau et lavées puis pesées. La croissance racinaire a été déterminée par le poids des racines à l'état frais et à l'état sec ainsi que par la présence des mycorhizes

5.2 Observation des mycorhizes

La recherche des mycorhizes a été effectuée selon la technique de coloration des racines décrite par Philips et Hayman (1970). Pour cela, les racines ont été lavées abondamment à l'eau du robinet, afin d'éliminer toutes les traces de sol.

Les racines les plus fines ont été découpées en fragments d'environ 1 cm puis éclaircies dans une solution de KOH à 10 % pendant une durée d'incubation de 20 minutes à 90 °C dans un bain marie pour vider les cellules de leurs inclusions cytoplasmiques. Les racines ont été par la suite rincées une première fois à l'eau de robinet et immergées dans la solution colorante à base de bleu de trypan (0,05 %) à 50 °C pendant une durée de 12 minutes dans un bain marie. Elles ont été par la suite rincées une seconde fois à l'eau distillée puis décolorées au lactoglycérol (50% de glycérol/ 50% d'acide lactique).

Après coloration, 10 fragments de racines colorées sont déposées sur une quantité suffisante de glycérol, entre lame et lamelle, puis observées au microscope optique aux grossissements : (X125) et (X 500).

5.3 Teneurs des métabolites primaires et secondaires

5.3.1 Extraction et dosage des métabolites primaires

▪ Extraction et dosage de la chlorophylle avant et après floraison

L'extraction de la chlorophylle a été faite séparément à partir des feuilles (3 répétitions pour chaque Bloc sans et avec ail). Les échantillons de feuilles (0,2g) ont été broyés dans 5ml d'acétone à 80%. Les débris cellulaires ont ensuite été éliminés après une centrifugation de 3000 rpm pendant 10 min et le surnageant a été récupéré.

L'absorbance des échantillons a été déterminée aux longueurs d'ondes de 645,663 et 470 nm au spectrophotomètre UV-visible, modèle Shimadzu. Les teneurs en pigments ($\mu\text{g.ml}$) ont été calculées selon les formules établies par Lichtenthaler et Wellburn (1984).

- **Chlr A= 12.21 DO (663) -2.81 DO (645)**

- **Chlr B=20.13 DO (645) -5.03 DO (663)**

- **Chlr(A+B) = Chlr A + Chlr B**

▪ Dosage des sucres avant et après floraison

- Le sucre est dosé selon la technique décrite par Dubois et *al.* (1956).
- Mettre 100mg de matière végétale fraîche dans des tubes à essai,
- Ajouter 2 ml d'éthanol à 80%,
- Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h,
- Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain marie à 70° C,
- Ajouter 20 ml de phénol à 5% dans chaque tube et bien agiter,
- Ajouter 8 ml d'acide sulfurique concentré dans chaque tube à essai, passer au vortex,

- Laisser au repos pendant 10 min,
- Passer au bain marie pendant 15 minutes à 30°C,
- Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm,

La détermination de la teneur en sucres solubles est réalisée selon la formule (Dubois et *al.*, 1956) :

$$\text{Sucres solubles } (\mu\text{g /g MF}) = \text{DO (490)} \times 1,657$$

Où:

- DO(490) : densité optique lue à la longueur d'onde de 490 nm,
- MF: Matière fraîche végétale.

5.3.2 Extraction et dosage des métabolites secondaires

▪ Dosage de la proline avant et après floraison :

La proline est dosée selon la technique utilisée par Monneveux et Nemmar (1986).Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

La méthode consiste à :

- Mettre 100mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai,
- Ajouter 2 ml de méthanol à 40%.Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85°C pendant 60 min.

Après refroidissement,

- Prélever 7 ml de la solution de chaque tube,
- Mettre dans de nouveaux tubes
- Ajouter 1 ml d'acide acétique+ 25 mg de ninhydrine + 1ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique,

- Porter les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min.

Après refroidissement des solutions,

- Ajouter 5ml de toluène dans chaque tube,
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent,
- Prélever la phase supérieure,
- Ajouter 5 mg du sulfate de sodium,
- Laisser au repos pendant 48h.

On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectromètre à la longueur d'onde de 528 nm.

La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule :

$$\text{Proline } (\mu\text{g /MF}) = \text{DO (528)} \times 0.62$$

Où:

- DO(528): densité optique lue à la longueur d'onde de 490 nm,
- MF: Matière fraîche végétale.

▪ **Dosage des polyphénols après floraison :**

Les teneurs totales en phénols ont été déterminées en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu telle que décrite par Alam et *al.*, (2021) avec des modifications mineures.

Quelques gouttes de solution neutre de chlorure ferrique à 5% ont été ajoutées. Une couleur vert foncé indiquait la présence de composés phénoliques (Mace, 1963).

1 ml de l'extrait a été pipeté dans un tube à essai contenant 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu 10 % (v/v). Après 5 minutes, 1 ml de Na₂CO₃ 20 % (p/v) a été ajouté à l'échantillon. Le mélange a été vigoureusement secoué et incubé pendant 30 minutes à l'obscurité.

L'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 765 nm. La préparation d'une gamme de solutions aqueuses d'acide gallique à des concentrations

allant de 10 µg/ml à 100 µg/ml a été utilisée pour tracer la courbe d'étalonnage standard afin de déterminer les teneurs en polyphénols totaux. La teneur totale en composés phénoliques a été exprimée en mg d'équivalents d'acide gallique par gramme d'échantillon séché (mg GAE/g MS).

5.4 Effet des intrants biologiques sur les populations aphidiennes et auxiliaires durant la période d'échantillonnage

5.4.1 Taux d'infestation par le puceron noir de la fève sur le feuillage

Sur le terrain, dès l'apparition des premières colonies sur le feuillage, les infestations naturelles de pucerons étaient suivies régulièrement à chaque sortie, en relation avec les conditions du milieu d'étude (variation thermique/quantités de pluies et phénologie des plants de fève) durant la période d'échantillonnage, qui s'est étalée du 18 avril au 5 juin 2021.

Des observations visuelles ont été réalisées au niveau de chaque bloc composé des plants de fève respectivement traités et témoins. A chaque date d'échantillonnage, nous avons prélevé une feuille au hasard au niveau de la partie supérieure du plant de fève. L'ensemble des plants a été échantillonné soit 20 feuilles récoltées, qui ont été mises séparément selon les essais de chaque bloc, dans des sachets en plastique pour être observées le jour même au niveau du laboratoire. Les feuilles ont été observées sur les deux faces à l'aide d'une loupe binoculaire au grossissement 40x. Les pucerons ont été dénombrés ainsi que les ennemis naturels de différents stades et taxons présents sur chaque feuille de fève.

Pour chaque bloc expérimental traité et témoin avec ou sans l'ail, le taux d'infestation des plants de fève par le puceron noir de la fève a été calculé selon la formule :

T infestation % = 100 * Nombre total de pucerons noirs dénombrés/ Nombre total de plants dans le bloc considéré.

5.4.2 Abondances populationnelles des aphides et des auxiliaires à travers les captures par pièges jaunes à eau

Des assiettes jaunes à eau contenant un peu de liquide vaisselle ont été utilisées également pour l'étude de l'évolution des captures de l'entomofaune susceptible de se trouver dans le dispositif expérimental étudié. Plus particulièrement, les aphides et l'entomofaune des ennemis bénéfiques ont été considérés dans l'étude temporelle des abondances. Ainsi, deux assiettes jaunes remplies d'eau au $\frac{3}{4}$ ont été installées au milieu de chaque bloc, (figure 16).



Figure 16 : Disposition des assiettes jaunes à eau au niveau des blocs expérimentaux.

Après chaque installation, les contenus des différents pièges ont été récupérés au bout de 3 jours, et mis directement dans des boîtes en plastique conservées à 4°C jusqu'à une identification ultérieure. Les piégeages ont été réalisés pour les dates suivantes : le 25/5, 1/6 et 9/6 de l'année en cours.

L'identification et le dénombrement des captures sont réalisés sous une loupe binoculaire stéréo avec l'aide du Pr Allal Benfekih Leïla, au laboratoire de zoologie du département des Biotechnologies et Agroécologie. Différents grossissements sont utilisés à chaque fois pour la détermination des familles des ennemis bénéfiques rencontrés, en se basant sur des critères morphologiques en utilisant des clés entomofauniques.

6 Analyse des données d'observation

6.1 Exploitation statistique

Les différentes données d'observation ont fait l'objet d'une comparaison des moyennes des paramètres mesurés à travers une analyse de variance suivie par le test post-hoc HSD de Tukey logiciel statistique utilisé Minitab 17. Un seuil de signification $\alpha = 0,05$ a été utilisé pour déterminer si des différences entre les moyennes sont statistiquement significatives. Si les valeurs de la plus petite différence significative p sont inférieures ou égales \leq au seuil de signification α , on peut conclure que toutes les moyennes des populations mesurées ne sont pas égales. Le test de Tukey a permis déterminer si la différence moyenne entre des paires spécifiques de groupes (les groupes homogènes) est statistiquement significative et d'évaluer l'importance de la différence.

Les mesures suivantes ont été prises comme variables quantitatives dépendantes :

- Les paramètres de croissance : hauteur de la plante en mm, la surface foliaire en cm^2 avant et après floraison.
- Les paramètres de rendements : le nombre de gousses par plant de fève, les poids en grammes (g) des matières fraîches et sèches respectivement aérienne et racinaire, respectivement en présence et en l'absence des plants d'ail.
- Les teneurs en chlorophylle et en sucres, mesurés avant et après floraison.
- Les teneurs en proline et en polyphénols totaux, mesurés respectivement avant et après floraison et après floraison seulement.
- Le taux d'infestation des plants par le puceron noir de la fève en fonction des dates d'échantillonnage.

Les données des températures minimales et maximales ($^{\circ}\text{C}$), l'humidité relative moyenne (HR%) ainsi que les quantités de pluie (région de Soumâa/Blida, www.meteoblue.com) ont été également considérées pour la période de notre étude pour discuter les variations des taux d'infestation par les aphides.

Les intrants biologiques (acide humique « Ac » et Mycorhizes « Myco ») avec ou sans ail (A)/(SA) représentent les variables indépendantes ou facteurs.

6.2 Evolution temporelle des abondances en aphides et en auxiliaires

Les dénombrements des pucerons et de l'entomofaune auxiliaire globale rencontrés à travers les captures des pièges jaunes à eau du 29/5 au 9/6 ont été analysés avec le logiciel Excel vers.7.

Les moyennes d'abondance sous l'effet des traitements à base des intrants biologiques étudiés ont fait l'objet de représentations graphiques sur Excel et analysées avec le logiciel Past vers. 9.11.

A thick red border surrounds the text, with a wavy bottom edge.

Chapitre 3
RESULTATS
ET DISCUSSION

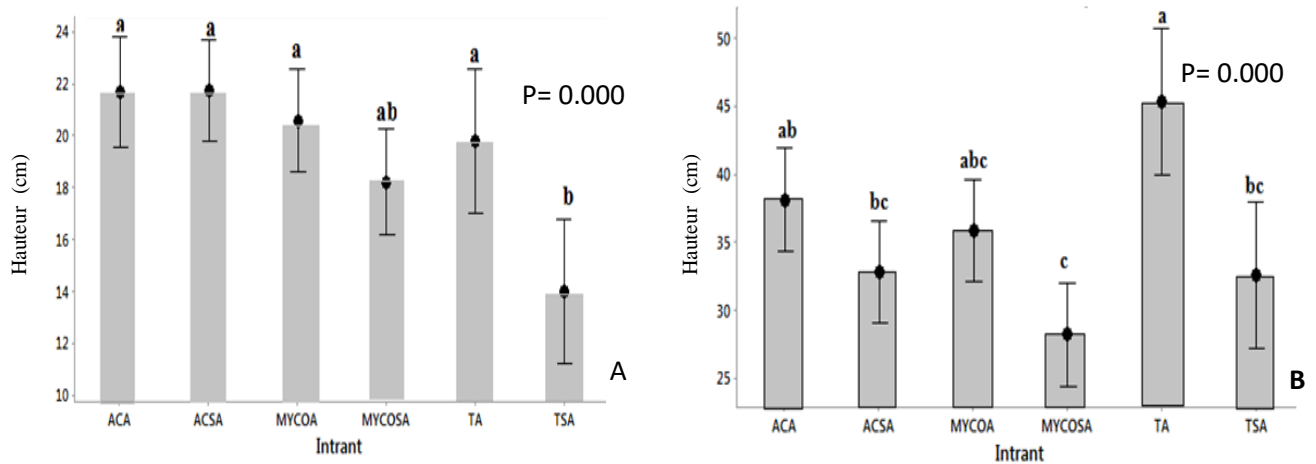
1. Effet des intrants biologiques sur les paramètres de croissance de la culture de fève

La hauteur des plantes cultivées de fève a montré une variabilité selon l'effet des traitements considérés (figure 17).



a:acide humique avec ail, b : témoin avec ail, c: mycorhize avec ail, a': acide humique sans ail, b' : témoin sans ail ,c' : mycorhize sans ail

Figure 17 : Variabilité morphologique de la hauteur des plantes âgées de deux semaines sous l'effet des biointrants en présence et en absence d'ail



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure 18 : Variabilité de la hauteur des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après (B) floraison.

L'analyse de la variance de la hauteur des plantes cultivées ont montré une différence très hautement significative selon l'effet des traitements avant ($P=0,000, F=5,43$) et après ($P=0,000, F=6,47$) floraison (Annexe 1).

Le test de Turkey a permis le classement des traitements considéré selon la hauteur des plantes en 3 groupes homogènes avant floraison et en 5 groupes homogènes après floraison comme suit (Annexe 2) :

Le classement des traitements considérés selon la hauteur des plantes avant floraison et établi dans l'ordre décroissant comme suit (Figure 18A) :

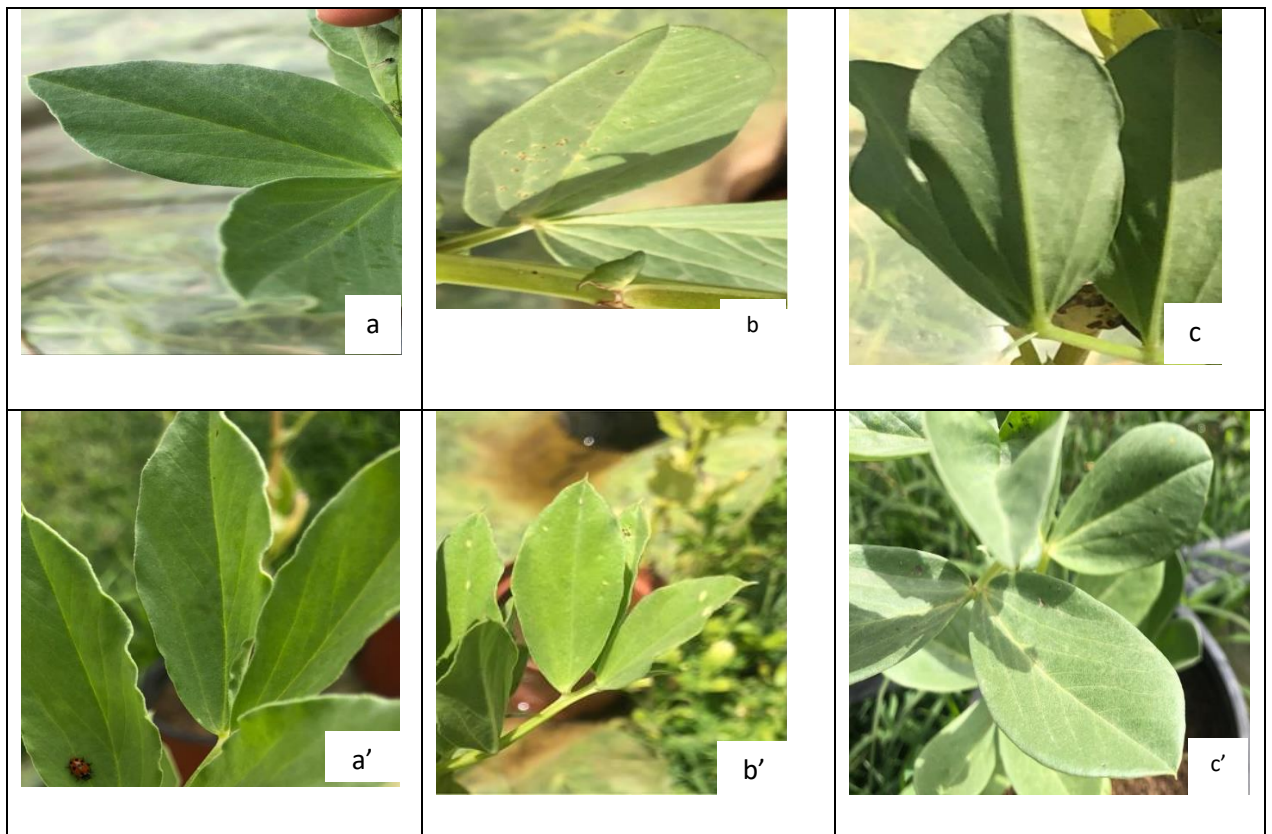
- Groupe 1 comprend les traitements à base d'acide humique sans ail (ACSA:21,75cm) et avec ail (ACA:21,71cm), les mycorhizes avec ail (MYCOA:20,61cm), témoin avec ail (TA:19,80cm),
- Groupe 2 comprend le traitement Mycorhizes en absence d'ail (ab:18,24cm),
- Groupe 3 comprend le témoin en d'ail en absence d'ail (b : 14,00 cm).

Le classement des traitements considères selon la hauteur des plantes après floraison a été établi dans l'ordre décroissant comme suit (figure 18B) :

- Groupe 1 comprend le traitement témoin en présence d'ail (a : 45,35cm),

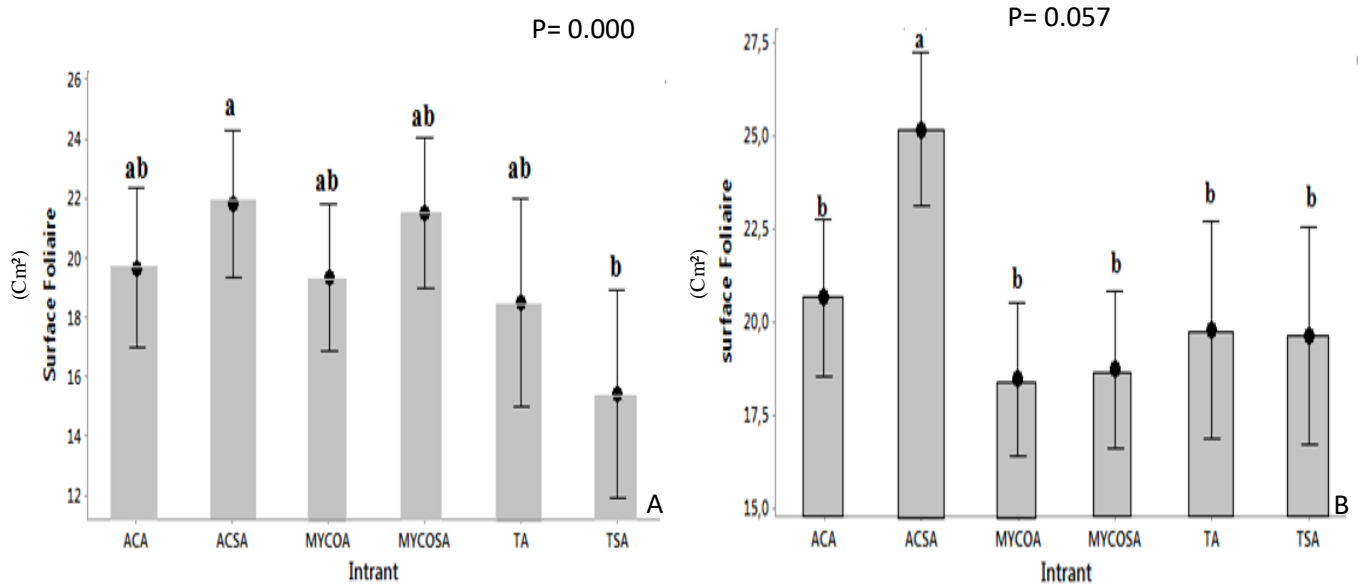
- Groupe 2 comprend le traitement acide humique en présence d'ail (ab : 38,15cm),
- Groupe 3 comprend le traitement à base de mycorhizes en présence d'ail (a b c : 35,90 cm),
- Groupe 4 correspond au traitement de acide humique sans ail et témoin sans ail (bc : 32,83-32,60cm),
- Groupe 5 correspond au traitement à base de mycorhize en absence d'ail (c : 28,25cm).

La surface foliaire des plantes cultivées de fève a également montré une variabilité selon l'effet des traitements considérés (figure 19).



a :acide humique avec ail, b : témoin avec ail, c: mycorhize avec ail, a': acide humique sans ail, b' :
témoin sans ail ,c' : mycorhize sans ail

Figure 19 : Variabilité morphologique de la surface foliaire des plantes de fève âgées de deux semaines sous l'effet des biointrants en présence et en absence d'ail.



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure20 : Variabilité de la surface foliaire des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après (B) floraison

L'analyse de la variance de la surface foliaire des plantes cultivées a montré une différence très hautement significative selon l'effet des traitements avant floraison ($P=0,000, F=5,50$) et une différence significative ($P=0,057, F=2,24$), selon l'effet de traitement après floraison (Annexe 3).

Le test de turkey a permis le classement des traitements considérés selon la surface foliaire des plantes en deux groupes homogènes avant et en trois groupes homogène après floraison (Annexe 4)

Le classement des traitements a été établi dans l'ordre décroissant comme suit:

On distingue avant floraison (Figure 20A):

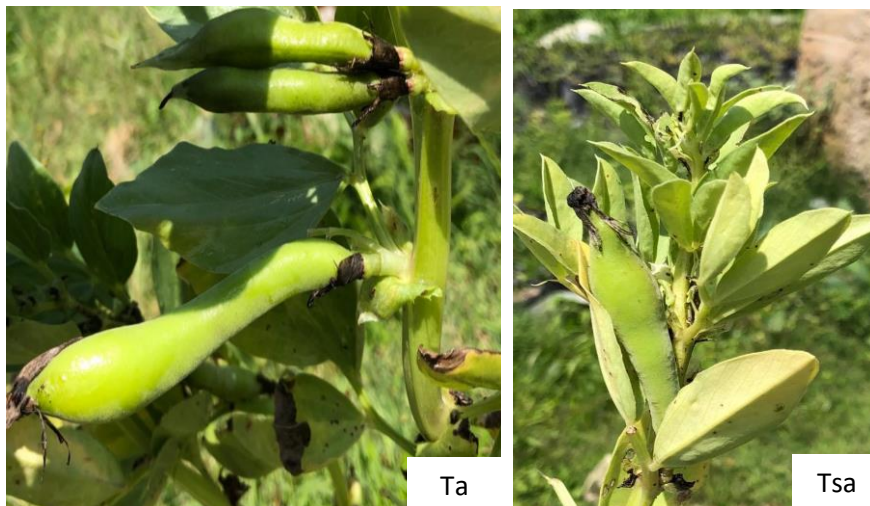
- Groupe 1 comprend le traitement à base d'acide humique en absence d'ail (a : 25,175 cm²),

Groupe 2 comprend les traitements à base d'acide humique en présence d'ail (b:20,66cm²), le témoin en présence (19,80cm²) et en absence d'ail (b :19,65cm²) et les mycorhizes en absence (b :18,73cm²) et en présence d'ail (b :18,48cm²)

En ce qui concerne après floraison on distingue :

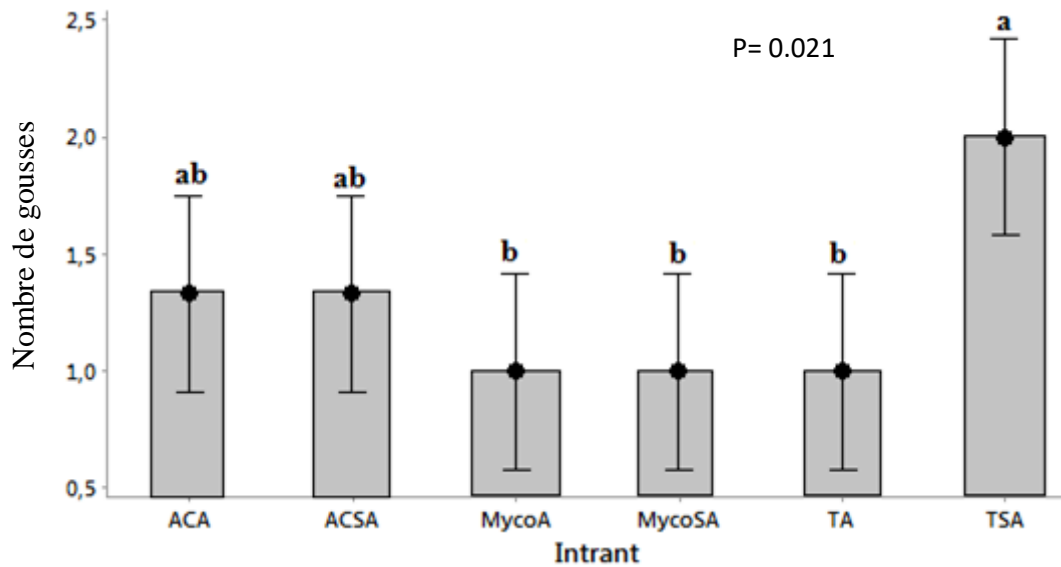
- Groupe 1 comprend le traitement à base d'acide humique en absence d'ail (a :21,82cm²),
- Groupe 2 comprend les traitements à base de mycorhize en absence d'ail (ab:21,54cm²), l'acide humique en présence d'ail (ab: 19,68cm²), les mycorhizes en présence d'ail(ab :19,34cm²) et le témoin en présence d'ail (ab :18,50cm²),
- Groupe 3 comprend le traitement témoin en absence d'ail (b:15,45cm²).

La production des gousses par les plantes a montré à son tour une variabilité remarquable selon les traitements (figure 21).



Ta : témoin avec ail, Tsa : témoin sans ail

Figure 21 : Variabilité morphologique des gousses produites par les plantes de fève sous l'effet d'ail



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

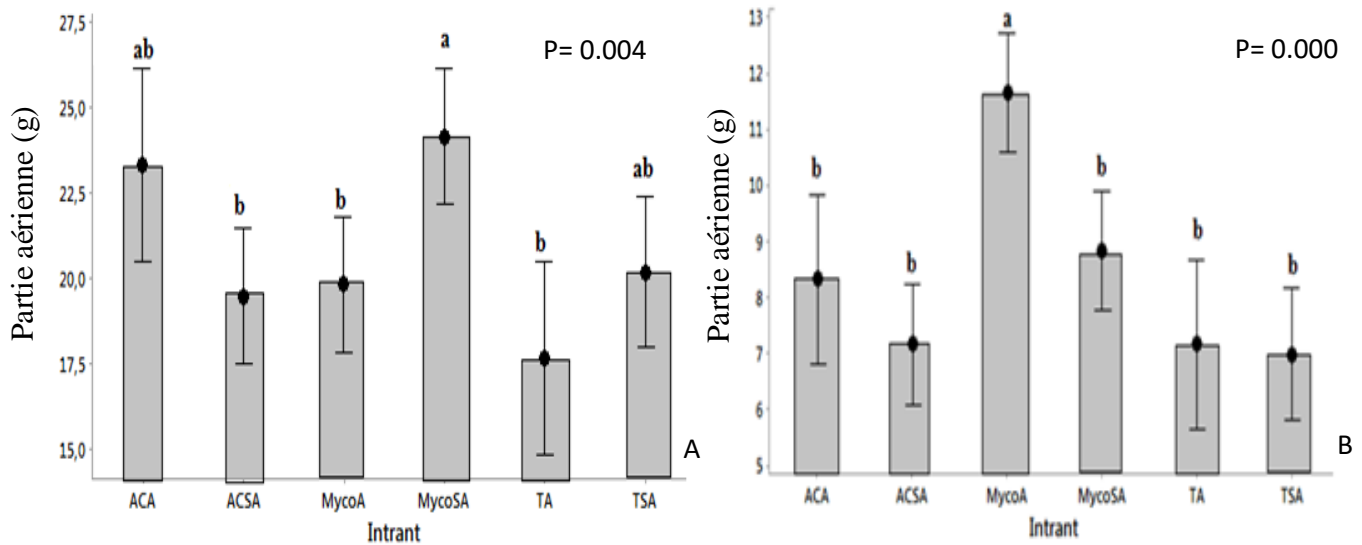
Figure 22 : Variabilité de la production du nombre de gousses par plante de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail

L'analyse de la variance du nombre de gousses produites par les plantes a montré une différence significative selon les traitements ($P=0,021$, $F=4,10$) (Annexe 5).

Le classement des traitements en 3 groupes homogènes a été établi dans l'ordre décroissant selon le nombre de gousses produites comme suit (Annexe 6)(Figure 22):

- Groupe 1 correspond au témoin en absence d'ail (a : 2gousses par plante)
- Groupe 2 correspond au traitement à base d'acide humique en absence d'ail (ab:1 gousse par plante) et en présence d'ail (ab : 1 gousse par plante),
- Groupe 3 correspond le témoin en présence d'ail (b : 1 gousse par plante) et le traitement à base de mycorhizes, en présence et en absence d'ail (b : 1gousse par plante).

Le poids frais et le poids sec de la partie aérienne des plantes de fève ont également montré une variabilité selon les traitements.



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T : témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure 23 : Variabilité du poids frais (A) et du poids sec (B) de la partie aérienne des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail

L'analyse de la variance du poids frais de la partie aérienne a montré une différence très hautement significative ($P=0,000, F=11,01$) selon le poids frais et elle est significative selon le poids sec ($P=0,004, F=4,77$) (Annexe 7).

Le classement des traitements considérés a été établi selon le test de Tukey comme suit (Annexe 8A):

On distingue 3 groupes homogènes de traitements selon le poids frais de la partie aérienne (Figure 23 A) :

- Groupe 1 comprend le traitement à base de mycorhizes en absence d'ail (a : 24,17g),
- Groupe 2 comprend le traitement à base d'acide humique en présence d'ail (ab : 23,33g) et le témoin en absence d'ail (ab : 20,20 g),
- Groupe 3 comprend le traitement à base de mycorhize en présence d'ail (b : 19,83g) et le témoin en présence d'ail (b : 17,66g) et acide humique sans ail (b : 19,50g).

Par ailleurs, les traitements ont été distingués en deux groupes homogènes distincts selon le poids sec de la partie aérienne comme suit (Annexe 8b, figure 23):

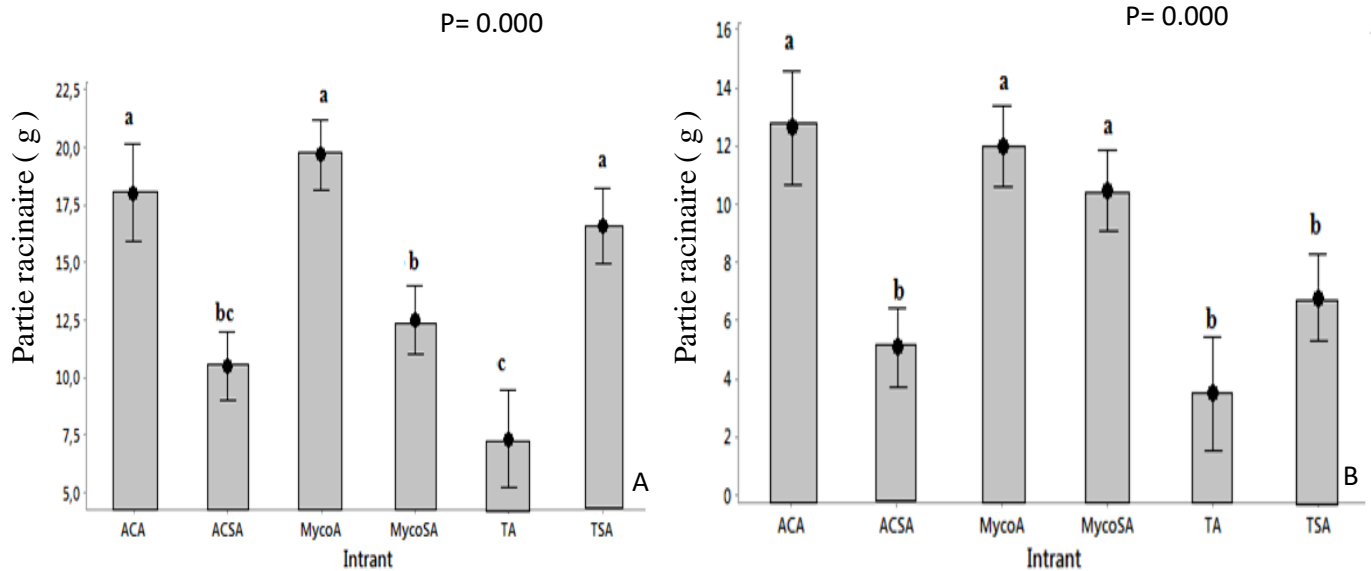
- Groupe 1 comprend au traitement à base de mycorhizes en présence d'ail (a : 11,66 g),
- Groupe 2 comprend au traitement à base de mycorhizes en absence d'ail (b:8,83g), le traitement à base d'acide humique en présence d'ail (b:8,33g), le témoin en présence d'ail (b : 7,16g), le traitement à base d'acide humique en absence d'ail (b : 7,16g), et le témoin en présence d'ail (b :7,00g).

La partie racinaire des plantes a également connu une variabilité significative selon les traitements et ceci en présence d'ail seulement. Elle apparaît plus développée et plus dense chez les plantes cultivées sous l'effet des mycorhizes et aussi, assez importante chez celles cultivées sous l'effet de l'acide humique en comparaison avec les plantes témoins (figure 24).



A : mycorhizes en présence d'ail, B : acide humique en présence d'ail,
C : témoin en présence d'ail

Figure 24: Variabilité morphologique des racines séchées des plantes de fève sous l'effet des biointrants en présence d'ail



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure 25 : Variabilité du poids frais (A) et du poids sec (B) de la partie racinaire des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail

Le poids frais et sec de la partie racinaire des plantes de fève ont révélé tous les deux une variabilité hautement significative, selon les traitements ($P=0,000, F=31,35$; $P=0,000, F=23,05$)(Annexe 9).

Le classement des traitements A et B a été établi dans l'ordre de croissant par le test de Tukey (Annexe 10) selon le poids sec racinaire.

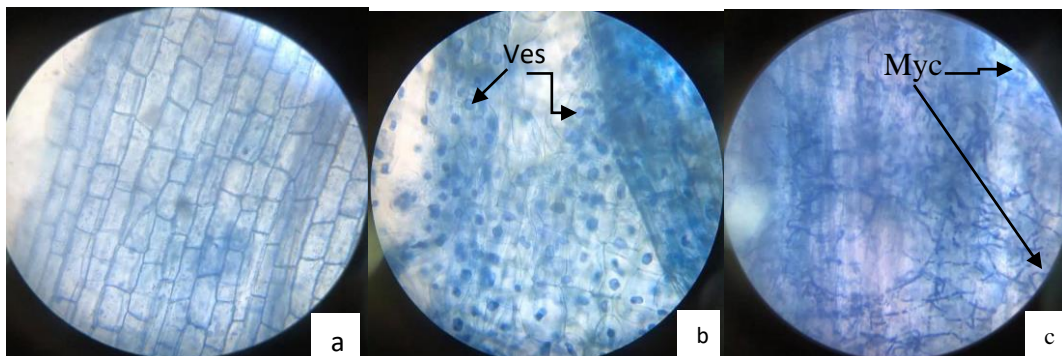
Il en ressort 4 groupes homogènes selon le poids frais, on distingue (figure 25 A) :

- Groupe 1 comprend des traitements à base de mycorhizes en présence d'ail (a : 19,66g) et à base d'acide humique en présence d'ail (a : 18,00 g),ainsi que le témoin en absence d'ail (16,00g),
- Groupe 2 comprend le traitement à base de mycorhizes en absence d'ail (b :12,50g),
- Groupe 3 comprend le traitement acide humique en en absence d'ail (bc :10,50 g),
- Groupe 4 comprend le témoin en présence d'ail (c:7,33g).

Selon le poids sec on distingue (Figure 25 B) :

- Groupe 1 comprend les traitements à base d'acide humique en présence d'ail (a : 12,66 g), à base de mycorhize en présence d'ail (a : 12,00 g) et en absence d'ail (a : 10,5 g),
- Groupe 2 comprend le témoin en absence d'ail (b : 6,80g), l'acide humique en absence d'ail (b : 5,08 g) et le témoin en présence d'ail (b : 3,50g).

Par ailleurs, la présence ou la persistance des mycorhizes dans les racines des plantes de fève cultivées sous l'effet des champignons mycorhiziens a été confirmé par le développement du réseau mycélien mycorhizien associé à l'abondance de nombreuses vésicules. Ceci confirme le pouvoir mycorrhizogène des mycorhizes des racines de plantes de fève après leur incorporation dans le substrat de culture.

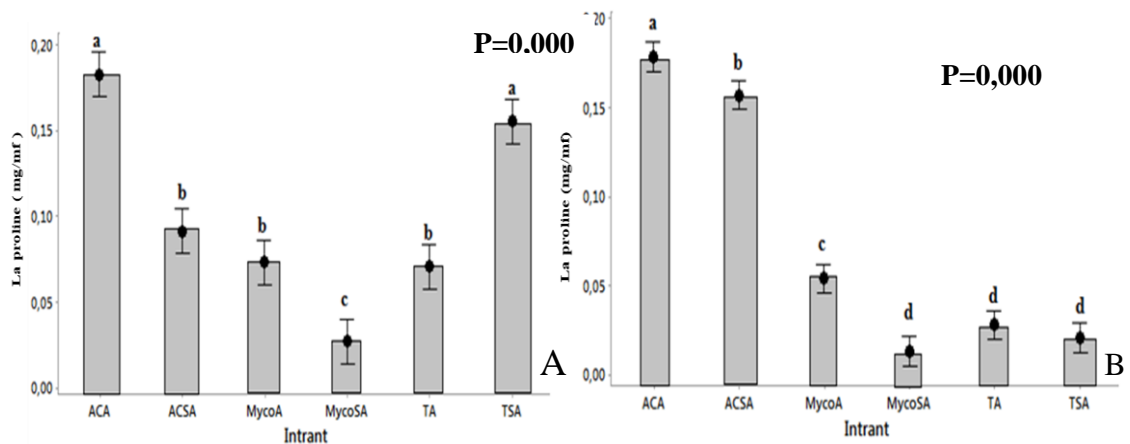


a: Tissu racinaire avec absence de mycorhizes, Myc : Réseau mycélien, Ves : Vésicules

b et c : Présence de structures mycorhiziennes

Figure 26 : Structures mycorhiziennes canadiennes sur racines des plantes de fève.

2 Impact des traitements sur les métabolites primaires chez les plantes de fève



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure 27 : Variabilité des teneurs en proline chez les plantes de fève cultivées selon les traitements avant (a) et après (b) floraison

Les traitements ont affecté les teneurs en proline chez les plantes cultivées de fève. L'analyse de la variance des teneurs en proline enregistrées ont montré une différence très hautement significative avant ($P=0,000, F=94,77$) et après ($P=0,000, F=379,52$) floraison (Annexe 11).

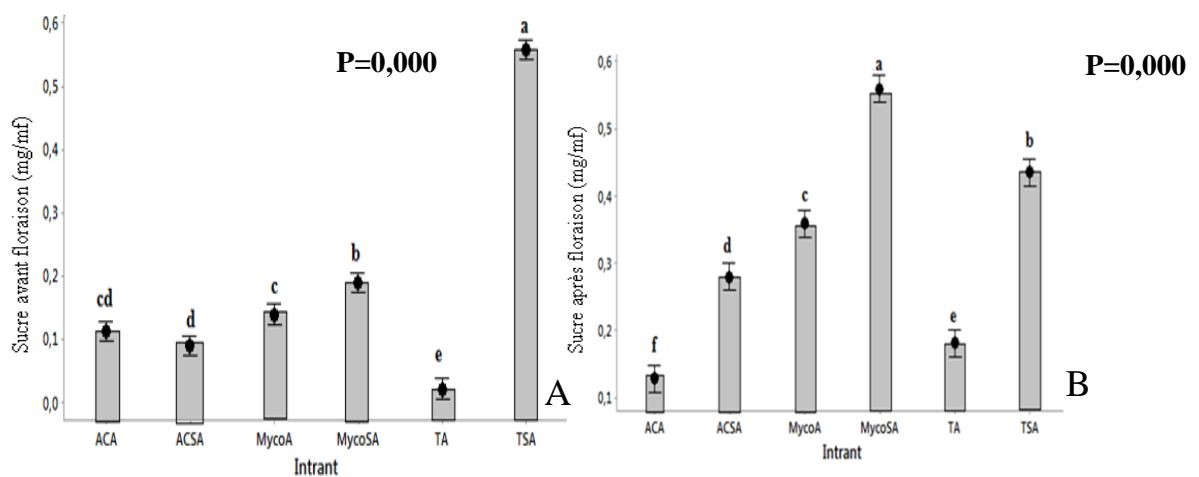
Le classement des traitements selon les teneurs en proline en mg/ matière fraîche (mf) de plantes de fève par le test de Tukey a établi 3 groupes homogènes avant floraison et 3 autres groupes homogènes après floraison (Annexe 12).

Avant floraison, on distingue le classement des traitements dans l'ordre décroissant suivant (Figure 27A):

- Groupe 1 comprend le traitement à base d'acide humique en présence d'ail (a : 0,183 mg/mf) et le témoin en absence d'ail (a : 0,155 mg/mf),
- Groupe 2 comprend le traitement à base d'acide humique en absence d'ail (b = 0,091), celui de mycorhizes en présence d'ail (b : 0,73 mg/mf) et des témoins en présence d'ail (b : 0,071 mg/mf),
- Groupe 3 comprend le traitement à base de mycorhizes en absence d'ail (c : 0,027 mg/mf) .

Après floraison, on distingue le classement des traitements dans l'ordre décroissant suivant (Figure 27 B) :

- Groupe 1 comprend le traitement à base d'acide humique en présence d'ail (a : 0,178 mg/mf),
- Groupe 2 comprend le traitement à base d'acide humique en absence d'ail (b : 0,157 mg/mf),
- Groupe 3 comprend le traitement à base de mycorhizes en présence d'ail (c : 0,054mg/mf),
- Groupe 4 renferme les traitements à base de mycorhizes en présence d'ail (d : 0,028mg/mf), le témoin en absence d'ail (d : 0,020 mg/mf) et le traitement à base de mycorhizes en absence d'ail (d : 0,013 mg/mf).



avant (A) et après (B) floraison, AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure 28 : Variabilité des taux de sucres chez les plantes de fève cultivées selon les traitements avant (A) et après floraison (B)

Les traitements ont également induit une variabilité sur les taux de sucres. L'analyse de variance des taux de sucres enregistrés selon les traitements ont montré une différence très hautement significative ($P=0,000$; $F=711,68$) avant la floraison, il en est de même après floraison ($P=0,000$; $F=312,00$) (Annexe 13).

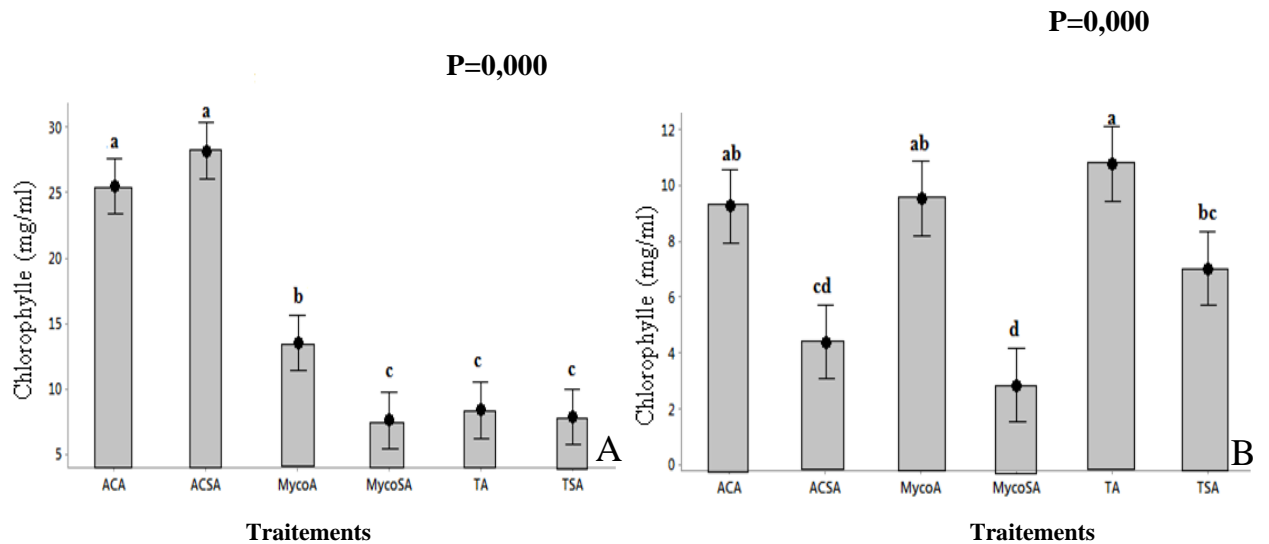
Le classement des traitements par le test de Tukey, a mis en évidence 6 groupes homogènes avant floraison et 6 autres groupes après floraison (Annexe 14).

Avant floraison, on distingue le classement en groupes homogènes dans l'ordre décroissant suivant (Figure 28 A) :

- Groupe 1 comprend le témoin en absence d'ail ($a=0,5579$ mg/mf),
- Groupe 2 comprend le traitement à base de mycorhizes en absence d'ail ($b :0,189$ mg/mf),
- Groupe 3 comprend le traitement à base de mycorhizes en présence d'ail ($c :0,139$ mg/mf),
- Groupe 4 comprend le traitement à base d'acide humique en présence d'ail ($cd : 0,113$ mg/mf),
- Groupe 5 comprend le traitement à base d'acide humique en absence d'ail($d :0,088$ mg/mf),
- Groupe 6 comprend le témoin en présence d'ail ($e : 0 ,021$ mg/mf).

Après floraison,on distingue le classement dans l'ordre décroissant suivant (Figure 28 B) :

- Groupe 1 renferme le traitement à base de mycorhize en absence d'ail ($a:0,559$ mg/mf),
- Groupe 2 comprend le témoin en absence d'ail ($b:0,433$ mg/mf),
- Groupe 3 comprend le traitement à base de mycorhizes en présence d'ail ($e:0,359$ mg/mf),
- Groupe 4 comprend au traitement à base d'acide humique en absence d'ail ($d:0,280$ mg/mf),
- Groupe 5 correspond au témoin en présence d'ail ($e : 0,181$ mg/mf),
- Groupe 6 comprend le traitement à base d'acide humique en présence d'ail ($f:0,128$ mg/mf).



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure 29 : Variabilité des teneurs en chlorophylle chez les plantes de fève cultivées selon les traitements avant (a) et après (b) floraison

Les traitements ont également influencé sur les teneurs chlorophylliennes.

L'analyse de la variance des teneurs en chlorophylle a montré une différence très hautement significatives selon les traitements avant floraison ($P=0,00$; $F=90,72$) et après floraison ($P=0,000$; $F=26,91$) (Annexe 15).

Le classement des traitements selon les teneurs en chlorophylle a été établi dans l'ordre décroissant avant et après floraison (Figure 29B), on distingue 3 groupes homogènes avant floraison (Annexe 16) :

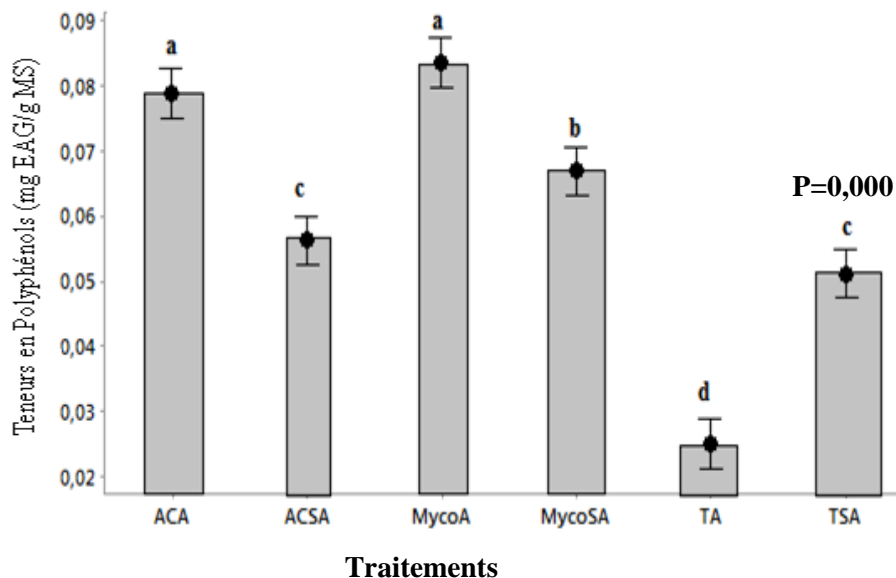
- Groupe 1 comprend le traitement à base d'acide humique en absence d'ail (a : 28,24 mg/ml), et en présence d'ail (a : 25,52 mg/ml),
- Groupe 2 comprend le traitement à base de mycorhizes en présence d'ail (b : 13,57 mg/ml),
- Groupe 3 correspond au témoin en présence d'ail (c : 8,38 mg/ml), au témoin en absence d'ail et les mycorhizes en absence d'ail (c : 7,62 mg/ml).

Après floraison, on distingue 5 groupes homogènes selon les teneurs en chlorophylle :

- Groupe 1 comprend le témoin en présence d'ail (a : 10,78 mg/ml),

- Groupe 2 renferme le traitement à base de mycorhizes en présence d'ail (ab :9,542mg/ml) et,l'acide humique en présence d'ail(ab :9,273mg/ml),
- Groupe 3 correspond au témoin en absence et avec l'ail (bc :7,028 mg/ml),
- Groupe 4 correspond à l'acide humique en absence d'ail (cd:4,386mg/ml),
- Groupe 5 renferme le traitement à base de mycorhizes en absence d'ail (d:2,842mg/ml).

3 Impact des traitements sur les métabolites secondaires chez les plantes de fève



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T: témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail

Figure 30 : Variabilité des teneurs en polyphénols totaux chez les plantes de fève cultivées selon les traitements après floraison

Les teneurs en polyphénols ont également connu une variabilité selon les traitements.

L'analyse de la variance des teneurs en composés phénoliques totaux a montré une différence très hautement significative selon les traitements ($P=0,000$; $F=152,94$)(Annexe 17).

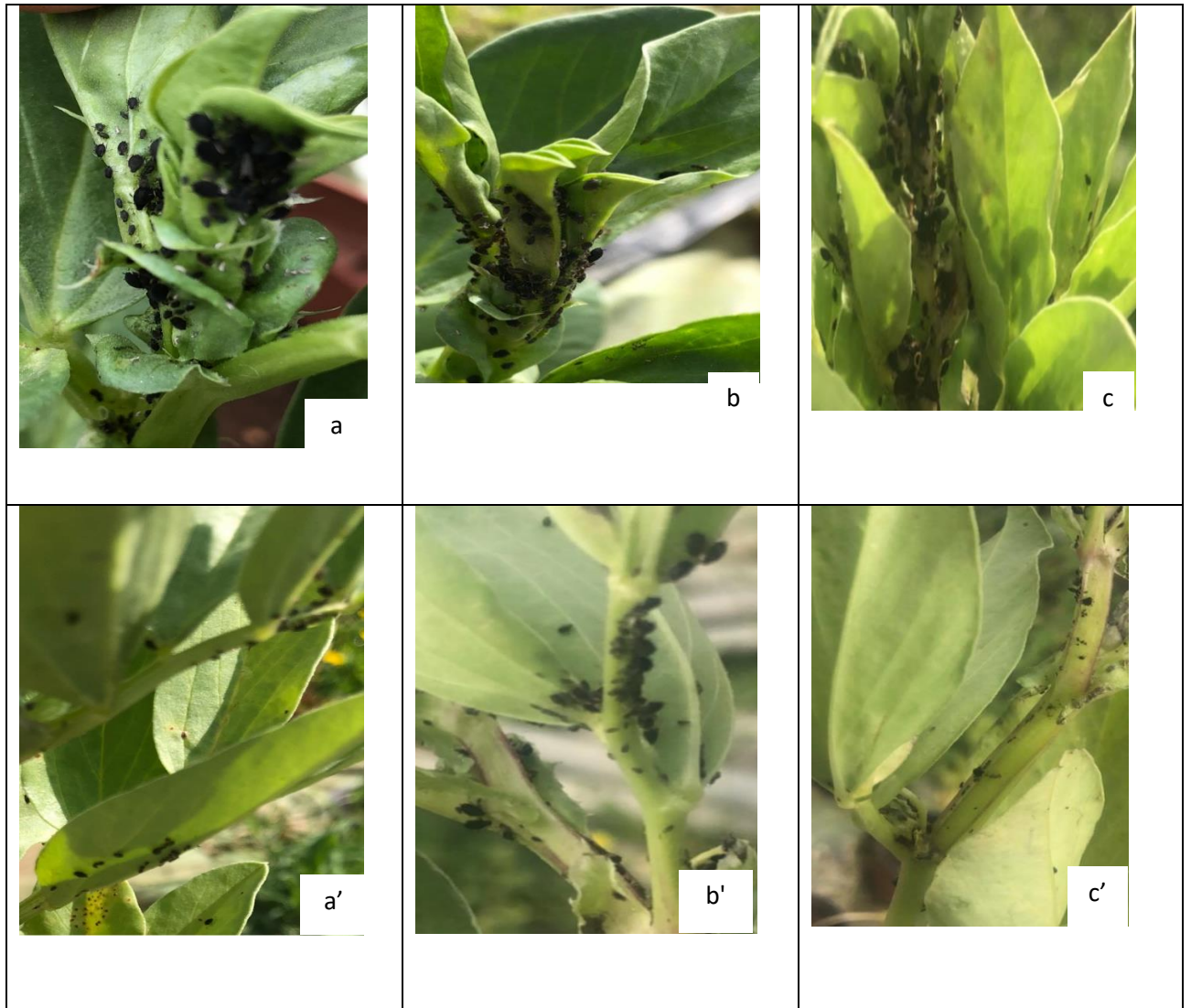
Le classement des traitements selon les taux de polyphénols a montré 4 groupes homogènes (Annexe 18 ; Figure 30), on distingue :

- Groupe 1 correspond au traitement à base de mycorhizes en présence d'ail (a :0,083mg/ml) et celui à base d'acide humique en présence d'ail (a=0,0789mg/ml),
- Groupe 2 correspond au traitement a base de mycorhizes en absence d'ail (b :0,067mg/ml),
- Groupe 3 correspond aux traitements à base d'acide humique en absence d'ail (c :0,056mg /ml) et le témoin en absence d'acide humique (c :0,051mg/ml).
- Groupe 4 correspond au témoin en présence d'ail (d :0,025 mg/ml).

4 Impact des bio-intrants et de la plante service sur l'infestation par les aphides et l'abondance des parasitoïdes

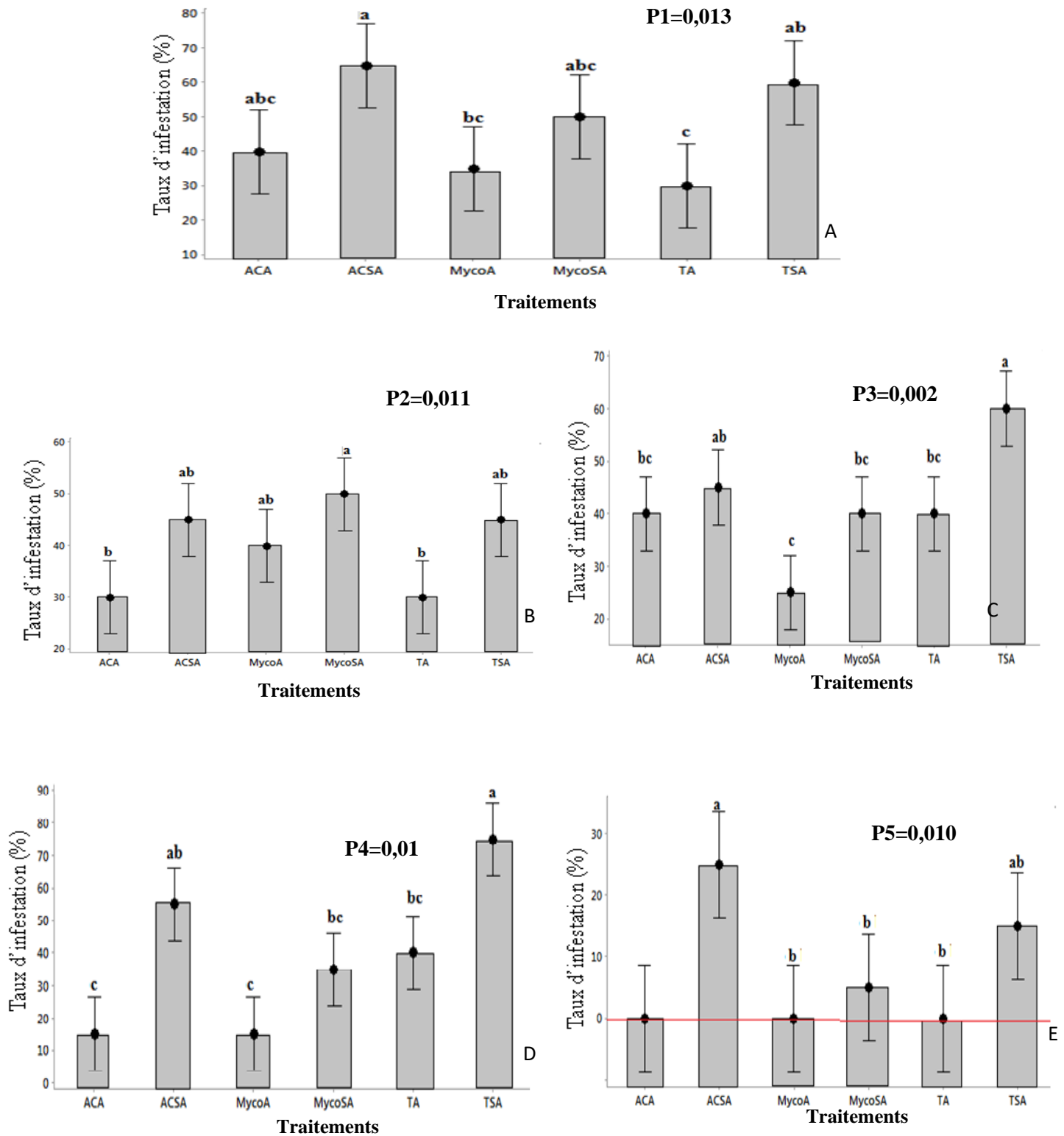
4.1 Effet des bio-intrants et de la plante service sur l'infestation par les aphides

Le suivi phytosanitaire a révélé une infestation des plantes cultivées de fève par le puceron noir durant 5 semaines de croissance. L'infestation des plantes a montré une variabilité selon les traitements et selon la présence et l'absence d'ail (Figure 31).



a : acide sans ail, b: mycorhizes sans ail c :témoin sans ail, a' :mycorhizes avec ail, b' : témoin avec ail,
c' : acide humique avec ail.

Figure 31 : Variabilité morphologique de l'infestation des plantes par les pucerons selon les traitements en présence et/ou en absence d'ail selon la période de croissance de la culture de fève



AC : acide humique, Myco : mycorhizes, T : témoin, A : en présence d'ail, SA : en absence d'ail, A : 1^{ère} semaine, B : 2^{ème} semaine, C : 3^{ème} semaine, D : 4^{ème} semaine, E : 5^{ème} semaine

Figure 32 : Variabilité de l'infestation des plantes par les pucerons selon les traitements en présence et/ou en absence d'ail selon la période de croissance de la culture de fève.

L'analyse de la variance des taux d'infestation des plantes a montré une différence significative selon les traitements et ceci au cours de semaines de croissance de la culture (5 semaines) ; ($P_1=0,013, F_1=7,87$; $P_2=0,011, F_2=8,40$; $P_3=0,002, F_3=15,20$; $P_4=0,001, F_4=26,12$ et $P_5=0,010, F_5=8,60$)(Annexe,19).

Cependant, aucune infestation des plantes par le puceron n'a été enregistré au cours de la 5^{ème} semaine du mois de juin 2021 et ceci à cause de l'élévation de la température.

Le classement des traitements selon les taux d'infestation des plantes et selon la période de croissance de la culture par le test de Tukey a montré 5 groupes homogènes durant la 1^{ère} semaine (Annexe 20A), 3 groupes homogènes durant la 2^{ème} et 3^{ème} semaine (Annexe 20B;Annexe 20C), 4 groupes homogènes durant la 4^{ème} semaine (Annexe 20D) et 2 groupes homogènes durant la 5^{ème} semaine (Annexe 20 E).

L'évolution des infestations par les pucerons a été suivie sur les plantes cultivées sous l'influence des différents traitements, au cours des 5 semaines de croissance comme suit (Annexe 20, Figure 32) :

Les plus importants taux d'infestation ont été enregistré au cours de la 1^{ère} semaine sur les plantes cultivées sous l'effet d'acide humique en absence d'ail (a :65%) d'où une inhibition de moitié de l'infestation a été notée sous l'effet des mycorhizes (bc : 35%) et sur les plantes témoins (c :30%) en présence d'ail (Annexe 20 A).

Durant la 2^{ème} semaine, la plus forte infestation a été enregistrée sous l'influence de Mycorhizes en absence d'ail(a :50%), alors qu'une réduction de l'infestation a affecté les plantes cultivées sous l'effet l'acide humique et sur les plantes témoins en présence d'ail (30%) (Annexe 20B).

Durant la 3^{ème} semaine, la plus forte infestation a été enregistré sur les plantes cultivées témoins en absence d'ail (a : 60%) mais, une réduction remarquable a affecté les plantes cultivées sous l'effet de Mycorhize en présence d'ail (c :25%). (Annexe 20 C).

La 4^{ème} semaine a été marquée par la plus importante infestation sur les témoins en absence d'ail (a :75%)mais, on doit signaler beaucoup plus l'importante réduction sous l'effet des Mycorhizes et de l'acide humique en présence d'ail (c :15%) (Annexe 20D).

En ce qui concerne la 5^{ème} semaine les taux d'infestation semblent très faibles et ceci en rapport avec l'élévation de la température (Annexe 20E).

Ces résultats ont prouvé donc, la fréquence et l'abondance des infestations aphidiennes par le puceron noir durant la 3^{ème} et la 4^{ème} semaine avec un potentiel inhibiteur sous l'effet des deux intrants biologiques : Mycorhizes et acide humique mais, en présence d'ail (Figure 32).

4.2 Effet des bio intrants et de la plante service sur les parasitoïdes

L'identification de la collection d'insecte collecté par les pièges jaunes a révélé de nombreuses espèces de parasitoïdes dont les plus importantes familles sont résumées dans la figure ci-dessus (Figure 33).

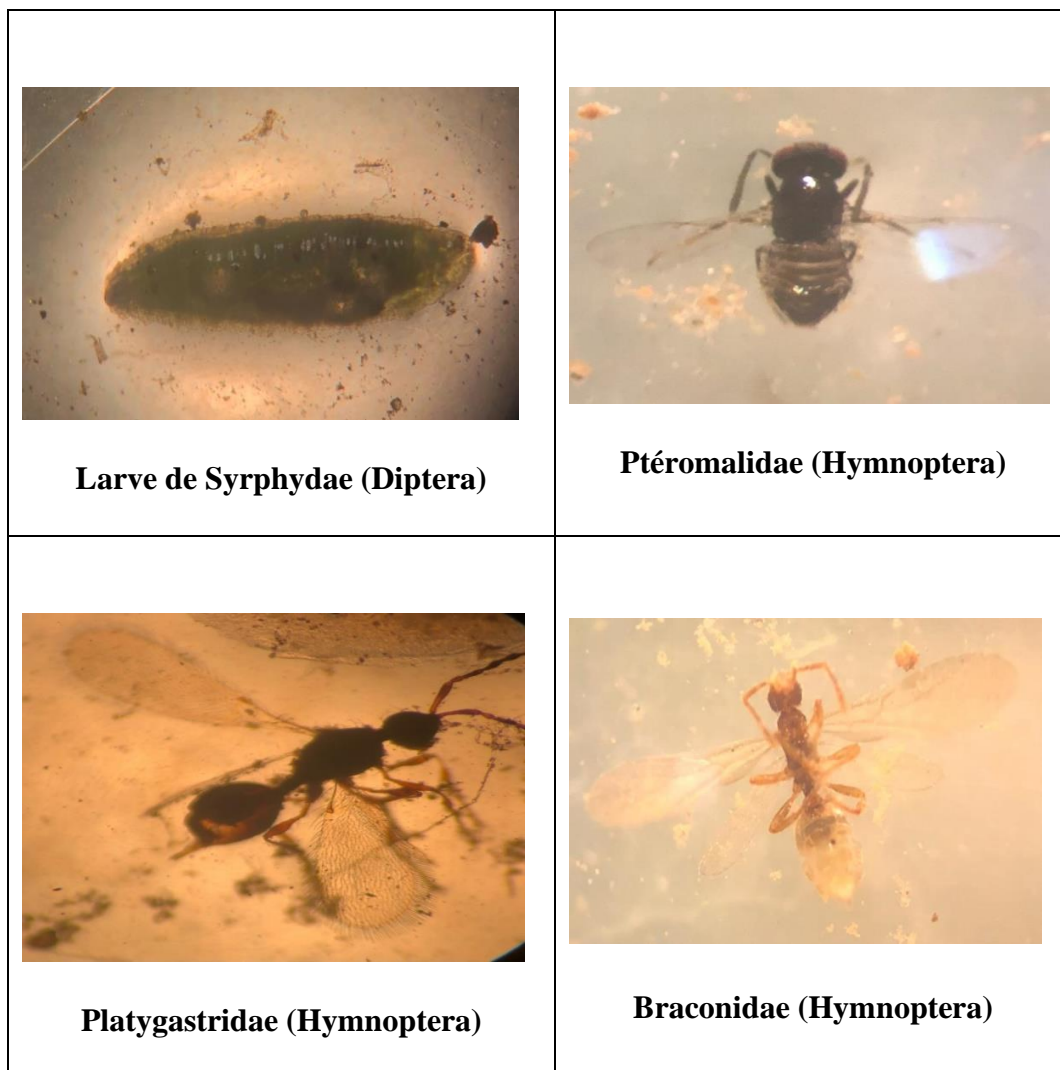
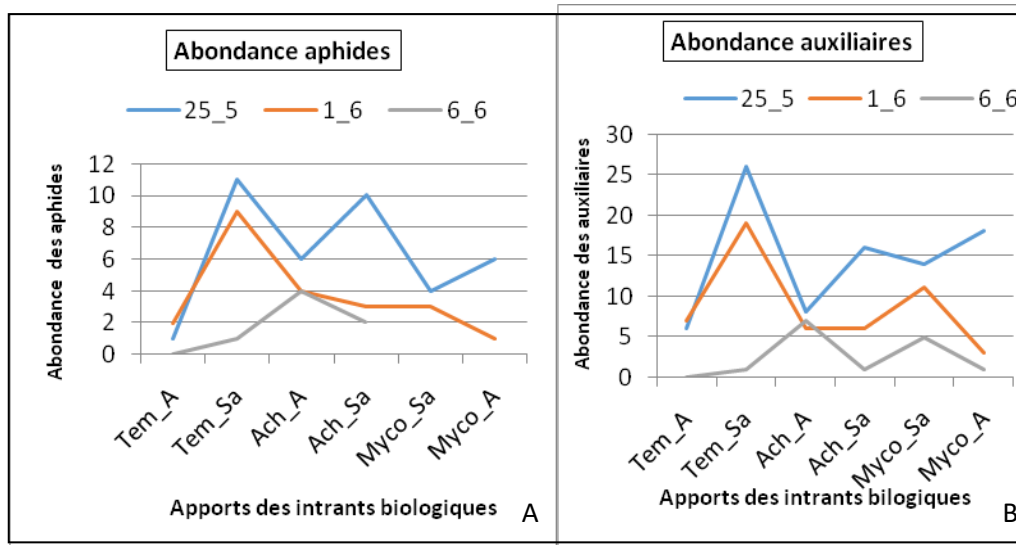


Figure 33 : Morphologie de quelques familles de la collection des parasitoïdes associés aux populations aphidiennes.



Tem :Témoins,Ach :Acide humique,Myco :Mycorhizes,-A : En présence d’ail,-Sa :En absence d’ail.
 25_5 :25/05/2021,1_6 :01/06 /2021,6_6 :06/06/2021(Périodes de piègeage) .

Figure 34 : Abondance des Aphides et des auxiliaires selon les traitements et la période du piègeage

L’abondance des aphides était variable selon les traitements utilisés sur la culture de fève. Il en ressort que les pucerons étaient plus abondants chez les plantes témoins en absence d’ail et ceci durant les trois périodes de piègeage, alors que le nombre de pucerons diminue en présence d’ail.

Par ailleurs, les mycorhizes ont montré une réduction plus importante du nombre d’aphides que celle enregistrée par l’acide humique notamment pour les deux périodes de piègeage : 25/05 et 01/06 et ceci en présence et en absence d’ail.

Il est important de signaler que, l’acide humique a réduit le nombre d’aphides même en absence d’ail (Figure 34A).

Par ailleurs, le nombre d’auxiliaires était plus important chez les témoins notamment en absence d’ail, alors qu’il semble moins important chez les plantes soumises aux intrants biologiques. Le nombre enregistré semble faible sous l’effet de l’acide humique et encore plus faible sous l’effet des mycorhizes particulièrement en présence d’ail (Figure 34 B).

Discussion

L'application des bio-intrants mycorhiziens et l'acide humique en présence et en absence de l'ail comme plante de service ont ensemble confirmé leur impact sur les paramètres de croissance de la culture de fève en pots ainsi que sur les populations aphidiennes.

Les mycorhizes en présence d'ail et l'acide humique seules ont stimulé la hauteur des plantes de fève alors que, la surface foliaire n'a été influencée que par l'effet de l'acide humique avant et après floraison.

Par ailleurs, les mycorhizes ont pu stimuler le poids frais ainsi que le poids sec de la partie aérienne des plantes respectivement en absence et en présence d'ail. Leur effet biostimulant comme aussi pour l'acide humique en présence d'ail était remarquable sur le poids frais de la partie racinaire alors que, leur poids sec n'a pu être augmenté que sous l'effet des mycorhizes et de l'acide humique en présence d'ail.

Quelques travaux de recherche ont rapporté des résultats se rapprochant à notre étude. Les effets des substances humiques sur les végétaux sont nombreux et variables. Leur influence a été largement étudiée sur la croissance et le développement des différentes espèces végétales.

Les travaux de recherche ont révélé leur rôle dans l'augmentation de la biomasse des plantes et leur contribution indirecte via la nutrition minérale, en améliorant la biodisponibilité des éléments minéraux, ou de manière directe, impliquant l'assimilation des molécules organiques qui modifient les processus biochimiques et le métabolisme cellulaire des plantes. Ces effets s'avèrent positifs ou négatifs selon les conditions expérimentales testées.

Dans ce sillage, l'étude de l'impact des acides humiques sur la croissance du teck (*Tectona grandis* L.f.) a permis de corrélér positivement la concentration de matière humique avec la hauteur des plantes, le diamètre de la tige et la teneur en matière sèche totale (Fagbenro and Agboola, 1993).

Par ailleurs, les traitements à base de substances humiques ont augmenté le poids frais et le poids sec des jeunes plantules (Cooper et al., 1998; Hartwigsen, 2000).

D'autres travaux ont démontré que les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) ont induit une amélioration des plantules de fève par l'augmentation de la biomasse des pousses et des racines.

Il est bien établi que les champignons mycorhiziens à arbuscules affectent la physiologie et la biochimie de la plante hôte (Koide et *al.*, 1992; Ruiz-Lozano et *al.*, 1995).

L'utilisation des biointrants a également mis en évidence son impact sur les métabolites primaires de la culture de fève.

Les teneurs en chlorophylle ont connu une augmentation notable sous l'effet de l'acide humique qui demeure légèrement moindre sous l'influence des mycorhizes et ceci en présence et en absence d'ail.

Les taux de sucres n'ont révélé une augmentation que sous l'effet des mycorhizes en présence d'ail avant floraison.

Les teneurs en proline ont à leur tour connu une augmentation sous l'effet d'acide humique en présence d'ail mais, des teneurs légèrement inférieures ont été aussi enregistrées sous l'effet des mycorhizes et de l'acide humique respectivement en absence et en présence d'ail.

Les substances humiques contribuent également à la croissance par l'augmentation de la teneur en chlorophylle (Tejada and Gonzalez, 2004) d'où en résulte une assimilation photosynthétique supérieure favorisant la production d'ATP, d'acides aminés tels que la proline, les sucres et les protéines (Vaughan and Malcom, 1985b).

L'augmentation de la teneur en pigments chlorophylliens par la mycorhization conduit à une augmentation de la photosynthèse permettant une amélioration de la croissance globale de la plante. Les niveaux inférieurs des pigments photosynthétiques observés sous l'effet d'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'accroissement du taux de chlorophylle totale par l'inoculation mycorhizienne serait à l'origine de l'augmentation de la photosynthèse chez les plants inoculées (Krishna et *al.*, 2005).

D'après les travaux d'Ismaïel et *al.* (2014), l'inoculation simple et double de la fève avec *Rhizobia* et les mycorhizes a augmenté la capacité photosynthétique en augmentant la teneur en chlorophylle.

En outre, il a été rapporté que l'inoculation du trèfle par les mycorhizes a augmenté la teneur foliaire en protéines et en sucres solubles. En effet, les plantes répondent à la mycorhization par la synthèse des sucres réducteurs (Tawaraya et *al.*, 1994). Cette augmentation de la teneur en sucres serait liée à une amélioration du taux de la photosynthèse induite par la mycorhization (Azcon et *al.*, 1992 ; Luiz-Rozano et *al.*, 1995).

Les endomycorhizes améliorent également l'assimilation de l'ammonium considéré comme peu mobile dans le sol (Barea et *al.*, 1987, Frey et *al.*, 1993). La propriété des mycorhizes à prélever différents types d'éléments nutritifs notamment azotés (Tobar et *al.*, 1994) est due à leur grande capacité d'absorption d'eau (Kucey et *al.*, 1983) qui leur permet d'apporter un avantage décisif dans la compétition pour l'azote et d'accéder à des sources d'azote peu accessibles aux racines des plantes non mycorhizées.

L'adaptation des plantes aux stress abiotiques a souvent été associée à des changements biochimiques au niveau de la plante tels que, l'accumulation des sucres et de la proline, le changement de la composition lipidique des membranes et l'altération de l'expression de certains gènes (Thoashow, 1994).

Il est important aussi de souligner l'augmentation de la teneur en polyphénols totaux chez les plantes cultivées sous l'effet des mycorhizes en présence de l'ail seulement.

Dans le même contexte, Al-Tawaha et *al.* (2013) ont prouvé dans leur étude sur l'impact d'utilisation des mycorhizes à arbuscules sur la culture en hors sol protégé par les CMA en comparaison avec les conditions de plein champ sur la qualité et la quantité du contenu nutritionnel des polyphénols totaux en mg d'équivalents d'acide gallique (EAG/g de poids sec) dans les parties aériennes des plantes cultivées de sauge (*Salvia officinalis* L.) n'a pas stimulé la teneur en phénols totaux de l'extrait végétal foliaire de *S. officinalis* sous l'effet des CMA (58 mg EAG/g MS), contrairement aux plantes témoins cultivées en plein champ sans mycorhization dont, les teneurs étaient plus importantes (120 mg EAG/g MS).

Par ailleurs, l'infestation des plantes de fève par les pucerons noirs a connu une réduction sous l'effet de l'application des biointraants selon la présence et/ou l'absence d'ail.

Les mycorhizes et l'acide humique ont fortement inhibé les infestations des plantes en présence d'ail. La réduction du nombre de pucerons n'a pas été induite par la présence d'auxiliaires vu leur abondance seulement chez les témoins en absence d'ail et leur faible fréquence notamment sous l'effet des mycorhizes et de l'acide humique en absence d'ail. Certains résultats coïncident avec notre étude mais, l'innovation réside toutefois dans l'impact de la plante service « ail » sur la croissance et le métabolisme primaire et secondaire.

Mais, ce qui a été confirmé c'est l'intérêt de l'installation de la culture d'ail comme plante de service à potentiel allélopathique répulsif du puceron noir.

Dans la même optique, Kulimushi et *al.* (2014) ont révélé la réduction de la densité de la population des pucerons noirs sur les plantes d'haricot traitées par l'extrait d'ail et l'extrait d'oignon.

L'activité insecticide des extraits d'ail et d'oignon a été traduite par la mort du puceron *Myzus persicae* en l'empêchant de se poser et de s'alimenter sur sa plante hôte (Hori, 1996). De plus, il a été rapporté également que l'efficacité de l'extrait d'ail reste principalement liée à leur richesse en principes actifs dont les propriétés sont anti-appétantes, répulsives, insecticides, perturbatrices de ponte et de développement des larves selon plusieurs études sur divers ordres d'insectes (Trematerra et Lanzotti, 1999 ; Auger et *al.*, 2002 ; Auger et *al.*, 2013).

**CONCLUSION
GENERALE
ET PERSPECTIVES
DE RECHERCHE**

Conclusion

La présente étude vise l'évaluation des potentialités agronomiques de deux biointrants, les mycorhizes et l'acide humique en combinaison avec la présence et/ou l'absence d'une plante service représentée par l'ail sur une culture en pots de la fève.

Les deux biointrants appliqués en présence ou en absence de l'ail ont ensemble confirmé leur impact sur les paramètres de croissance de la culture de fève.

Les mycorhizes en présence d'ail et l'acide humique seules ont stimulé la hauteur des plantes de fève alors que la surface foliaire n'a été influencée que par l'effet de l'acide humique avant et après floraison.

Par ailleurs, les mycorhizes ont pu stimuler le poids frais et le poids sec de la partie aérienne des plantes respectivement en absence et en présence d'ail. Leur rôle comme également pour l'acide humique en présence d'ail était remarquable sur le poids frais de la partie racinaire alors que, leur poids sec n'a pu être stimulé que sous l'effet des mycorhizes et de l'acide humique en présence d'ail.

L'utilisation des biointrants a également mis en évidence son impact sur les métabolites primaires de la culture de fève.

Les teneurs en chlorophylle ont connu une augmentation notable sous l'effet de l'acide humique qui demeure légèrement moindre sous l'influence des mycorhizes et ceci aussi bien en présence qu'en absence d'ail.

L'augmentation des taux de sucres n'a été enregistrée que sous l'effet des mycorhizes en présence d'ail avant floraison.

Les teneurs en proline ont également connu une augmentation sous l'effet d'acide humique en présence d'ail mais des teneurs légèrement inférieures ont été aussi enregistrées sous l'effet des mycorhizes et de l'acide humique respectivement en absence et en présence d'ail.

Il est important aussi de souligner l'augmentation de la teneur des polyphenols totaux chez les plantes cultivées sous l'effet des mycorhizes en présence d'ail seulement après floraison. Ce résultat doit être également élucidé avant floraison et à chaque infestation et ceci sur d'autres métabolites à effet insecticide tels que, les tannins condensés, les alcaloïdes et les terpenoïdes,

Par ailleurs, l'infestation des plantes de fève par les pucerons noirs a connu une réduction sous l'effet d'application des biointrants selon la présence et/ou l'absence d'ail.

Les mycorhizes et l'acide humique ont fortement inhibé les infestations des plantes en présence d'ail. La réduction du nombre de pucerons n'a pas été induite par la présence d'auxiliaires vu leur abondance seulement chez les témoins en absence d'ail et leur faible fréquence notamment sous l'effet des mycorhizes et de l'acide humique en absence d'ail. Certains résultats coïncident avec notre étude mais, l'innovation réside dans l'étude de l'impact de la plante service « ail » sur la croissance et le métabolisme primaire et secondaire.

Il est à noter que ce qui a été confirmé c'est l'intérêt de l'installation de la culture d'ail comme plante de service à potentiel allélopathique répulsif du puceron noir.

Les résultats de cette recherche représentent donc une contribution innovante dans l'introduction des biointrants agricoles en vue de développer la culture des légumineuses alimentaires à grande échelle en Algérie.


Les deux biointrants considérés s'avèrent très intéressants dans l'agriculture biologique mais, l'utilisation des mycorhizes s'est montrée plus importante pour une agriculture durable. Toutefois, on recommande la recherche et l'utilisation des mycorhizes endémiques en vue de leur formulation et leur utilisation dans différents biotopes en Algérie.

Par ailleurs, l'introduction de la plante service « ail » s'avère très prometteuse eu égard à son effet allélopathique insecticide sur l'infestation du puceron noir de la fève qui est l'une des contraintes phytosanitaires majeures de la fève, par son effet déprédateur mais aussi comme vecteur de transmission de virus phytopathogènes.

Il serait donc très intéressant dans l'avenir :

- d'élucider l'interaction : plante fève- plante service et mycorhizes ;
- de développer les potentialités biostimulantes sur la croissance et la résistance induite chez la culture ;
- d'étudier l'impact de ces deux biointrants sur le métabolisme primaire et secondaire ainsi que sur la rhizosphère ;
- il est recommandé dans l'avenir de doser les métabolites secondaires à potentiel insecticide au cours de chaque infestation par les pucerons afin d'estimer la corrélation entre la fréquence des populations aphidiennes et les mécanismes de défense induites par ces biomolécules allélopathiques,

- il serait également souhaitable d'identifier les molécules volatiles de l'ail à potentialités répulsives du puceron noir ainsi que celles impliquées dans la biostimulation de la croissance et le métabolisme de la culture.

A thick red border with a wavy bottom edge frames the text.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abbad Andaloussi F.**, 2003. Screening of *Vicia faba* for resistance to the "giant race" of *Ditylenchus dipsaci* in moroco. *Nematol .medier.*29: 29-33.
2. **Al-Tawaha A., Al-Karaki G., Massadeh A.**, 2013. Antioxidant activity, total phenols and variation of chemical composition from essential oil in sage (*Salvia officinalis* L.) grown under protected soilless condition and open field conditions. *Advances in Environmental Biology*, 7(5): 894-901.
3. **Abou Zeid N.M.**, 2002. Curentstatut of food legumes diseases in Egypt. Proceeding du 2ième séminaire du reseau REMAFEVE/REMALA "le devenir des légumineuses dans le Maghreb ", Hammamet, 100p.
4. **Alain F.**, 2006. Fiche technique : les pucerons 1^{ère} partie. N° 141, Paris, 8 p.
5. **Alam J., Rahman F.T., Sah-Teli S.K., Venkatesan R., Koski M.K., Autio K.J., Hiltunena J.K., Kastaniotis A.J.**, 2021. Expression and analysis of the SAM-dependent RNA methyltransferase Rsm22 from *Saccharomyces cerevisiae*. *Acta Crystallogr D StructBiol.*, 77(6): 840-853.
6. **Amagase H., Petesch B.L., Matsuura H., Kasuga S., Itakura Y.**, 2001. Intake of garlic and its bioactive components. *Journal of Nutrition*, 131: 955-962.
7. **Anonyme**, 1985. Séminaire national sur les légumes secs, Caractéristique, Exigence et potentiel de production des différentes variétés de légumes sec I.T.G.C, 15p.
8. **Ashfaq M., Iqbal J., Ali A., Farooq U.**, 2007. Role of abiotic factors in population fluctuation of aphids on wheat. *Pak.Entomonal.*, 29 (2) : 117-122.
9. **Atik F.**, 1999. Etude des signaux chimiques impliqués dans la symbiose entre *Vicia faba* et *Rhizobium leguminosarum*. Thèse de doctorat, Univ. De Tlemcen. Algérie, 146p.
10. **Auger J., Lecomte C., Thibout E.**, 2013. Les composés soufrés d'*Allium*: leurs activités biologiques chez les insectes et leur production. *Acta BotanicaGallica*, 140: 157–168.
11. **Auger J., Dugravot S., Naudin A., Abo-Ghalia A., Pierre D., Thibout E.**, 2002. Utilisation des composés allélochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides. *International Organisation for Biological and Integreted Bulletin*, 259: 295-308.
12. **Azcón R.**, Gomez M., Tobar R., 1992. Effects of nitrogen source on growth, nutrition, photosynthetic rate and nitrogen metabolism of mycorrhizal and phosphorus fertilized plants of *Lactuca sativa* L., *NewPhytol.*, 121: 227–234.
13. **Barea J.M.**, Azcón-Aguilar C., Azcón R., Vesicular-arbuscularmycorrhiza improve both symbiotic N₂ fixation and N uptake from soil as assessed with a N¹⁵ technique under field conditions, *New Phytol.* 106 (1987) 717–725.

14. **Benoit R., 2006.** Biodiversité et lutte biologique. Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée, pour prévenir contre le puceron de la salade. Certificat d'Etude Supérieures en Agriculture Biologique. ENITA de Clermont Ferrand, 10, 1-25 p.
15. **Benoufella-Kitous K., 2005.** Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels à Oued-Aissi (Tizi-Ouzou). Mémoire Magister. E.N.S.A. El Harrach, Alger. 280p.
16. **Blackman R.L., Eastop V.F., 2007.** Taxonomic issue (chapitre 1): Vanemden H.F., Harrington eds. aphids as crop pests. CABI international Oxford shive , U.K, 968-1003p.
17. **Bolan N.S., 1991.** Acritical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil, 134 : 189-207.
18. **Boughdad A .,1994.** Statut de nuisibilité et écologie des populations de *Bruchusrufamanus*(BOH) sur *Vicia faba*, au Maroc.Thèse d'état en science n°3628, Université de Paris sud Orsay ,182 p.
19. **Brault V., Blanc S., Jacquot E., 2007.** Comment les pucerons transmettent des maladies virales aux plantes ? Biofutur, 279 : 40-44.
20. **Bruneton J., 1999.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Techniques et Documentations Lavoisier, 419p.
21. **Chafi M.H. et Bensoltane A., 2009.** *Vicia faba* (L.), A Source of Organic and Biological Manure for the Algerian Arid Regions. World J. Agric. Sci., 5 (6): 698-706.
22. **Chaux C., Foury Y.C., 1994 .**production légumière secs, tome 3, légumineuse potagères,légume, fruits,technique et documentation Lavoisier, Paris cedex 08, 3-15p.
23. **Christelle L., 2007.** Dynamique d'un système hôte-parasitoïde en environnement spatialement hétérogène et lutte biologique. Application au puceron *Aphisgossypii* et au parasitoïde *Lysiphlebus testaceipes* en serre de melons. Thèse Doctorat., Agro Paris Tech, 43-44p.
24. **Conte P., Piccolo A., 1999.** Conformational arrangement of dissolvedhumic substances. Influence of solution composition on association of humicmolecules. Environ. Sci. Technol., 33:1682–1690.
25. **Cooper R.J.C., Liu C., Liu, P.D., Fischer D.S., 1998.** Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. Crop Science, 38(6): 1639-1644.
26. **Ismail A., Hegazy H.S., Azb M.A., 2014.** Physiological response of *Vicia faba* L. to inoculation with '*Rhizobium* and arbuscular myccorhizal fungi: Comparative study for

- irrigation with Nile water and wastewater. *Australian Journal of Crop Science*, 8(5): 781-790.
- 27. Dajoz R., 2000.** *Éléments d'écologies*. Ed. Bordas paris, 5^{ème} Edition, 540p.
- 28. Damrau F., Ferguson E.A.** The Modus Operandi of Carminatives: The Therapeutic Value of Garlic in Functional Gastrointestinal Disorders. *The American Journal of Gastroenterology*, 1949, 16(5):411-419.
- 29. Dedryver CA., LeRelec A., Fabre F., 2010.** The conflicting relationship between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. *C.R. Biologies*, 6-7: 539-553.
- 30. Dedryver, C.A., 1982.** Qu'est-ce qu'un puceron ? journée d'info et d'étude : les pucerons des cultures, Le 2, 3 et 4 mars 1981. Ed. Bordas, Paris, 9-20p.
- 31. Deraison M., 2002.** Isolement, caractérisation et cibles de nouveaux inhibiteurs de protéases pour la création de plantes transgéniques résistantes aux pucerons. Thèse de doctorat en sciences de l'université paris-XI Orsay, 174p.
- 32. Dethier B., 2010.** Contribution à l'étude de la synthèse de l'alliine de l'ail. Mémoire de master : bioingénierie en chimie. Liège : université de liège, 238p.
- 33. Douba F., 2016.** Etude comparative de trois variétés de fève (Aguadulce, Luz De Otono et Reina Mora) pour les rendements en vert pour le marché et en sec pour la production de semence. Thèse de Master en Sciences Agronomiques, Université Abd El Hamid Ibn Badis, Mostaganem, 46p.
- 34. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith E, 1956.** Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Allal. Chem.*, 28: 350-356.
- 35. Eber E., Bleiholder H., 1990.** Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen*, 42: 308-321.
- 36. Fagbenro J.A., Agboola A.A., 1993.** Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 16(8): 1465-1483.
- 37. Ferrero M., 2009.** Le système tritrophique tomate tetranyques tisserands-Phytoseiulus longipes. Etude de la variabilité des comportements alimentaires du prédateur et conséquences pour la lutte biologique. Thèse doctorat, Montpellier, France, 228p.
- 38. Fontana A., 1985.** Vesicular arbuscular mycorrhizas of Ginkgo biloba L. in natural and controlled conditions. *New Phytol.*, 99: 441-447.
- 39. Fouarge C., 1990.** Les pucerons sont-ils dangereux ? *Revue Agronomique Belge*, 47, 4-6.

40. **Frey B., Schüepp H., 1993.** Acquisition of nitrogen by external hyphae of arbuscularmycorrhizal fungi associated with *Zea mays* L., *New Phytol.* 124 221–230.
41. **Georcret M. et Scheromm P., 1995.** Lutte contre les insectes ravageurs des cultures : les apports de la biologie. Ed. INRA, France, 42 p.
42. **Giove R.M. et Abis S., 2007.** Place de la Méditerranée dans la production mondiale de fruits et légumes. Les notes d'analyse du CIHEAM 23 : 1-21
43. **Gordon M.M., 2004.** Haricot sec. Situation prospective et agroalimentaire. Canada, 1-7p.
44. **Grasse P., 1951.** Traité de zoologie, anatomie, systématique, biologie des insectes supérieur et helminthoïdes. Ed. Masson et Cie, T X, fascicule II., Paris, 1948p.
45. **Hamadache A., 2003.** La fèverole. Inst .Techn.Gr. Cult (T.T.G.C), 13p.
46. **Hamadache A. et Oufroukh A., 1994.** Rapport de mission effectuée du 10 au 13 avril 1994 à biskra. Ed .inst. Gr. Cult. Et inst. Nati. Prot. Vég., Alger ,12p.
47. **Harmel N., Francis F., Haubruge E., Giordanengo P., 2008.** Physiologie des interactions entre pomme de terre et pucerons : vers une nouvelle stratégie de lutte basée sur les systèmes de défense de la plante. *Cahiers Agricultures*, 17 (396) : 395-398.
48. **Hartwigsen J.A. and M.R. Evans, 2000.** Humic acids seed and substrate treatments promote seedling root development. *Hort. Sci.*, 35:1231–1233.
49. **Hatch A.B., 1937.** The physical basis of mycotrophy in the genus *Pinus*. *Black Rock For. Bull.*, 6 : 1-168.
50. **Hautier L., 2003.** Impacts sur l'entomofaune indigène d'une coccinelle exotique utilisée en lutte biologique. Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement., Université Libre de Bruxelles, 13 : 1-99.
51. **Hori M., 1996.** Settling inhibition and insecticidal activity of garlic and onion against *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera :Aphididae). *AppliedEntomology and Zoology*, 31: 605-612.
52. **Hulle M., Turpeau-AitIghil E., Leclant F., et Rahn M.J., 1998.** Les pucerons des arbres fruitiers, cycle biologique et activité de vol. Ed. I.N.R.A., Paris. 668p.
53. **Hulle M., Turpeau-Aitighil É., Robert Y. et Monnet Y., 1999.** Les pucerons des plantes maraîchères. Cycles biologiques et activités de vol. Ed. ACTA, INRA, Paris. 136p.
54. **Iluz D., 2011:** The plant-aphid universe. Cellular origin, life in externe habitats and *Astrobiology*, 16: 91-118.

- 55. Jung, S., 2005.** Apport des drogues végétales dans la prévention des maladies cardiovasculaires liées à l'hypercholestérolémie. Th. doctorat en pharmacie. Nancy : Université Henri Poincaré- Nancy1, 149p.
- 56. Keloul L., 2014.** Inventaire qualitatif et quantitatif des pucerons inféodés à la culture de la fève. Dynamique des populations de certaines espèces caractéristiques dans deux parcelles de fève *Vicia faba* minor et *Vicia faba* major dans la région de Tizi-Rached (Tizi-Ouzou) . Thèse de magister, université de Tzi-ouzou.10-12-15 p.
- 57. Khaldi R ., Zekri S ., Maatougui M.E.H et ben yassine A ., 2002.** L'économie des légumineuses alimentaires au Maghreb et dans le monde. Proceeding du 2ième séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA "le devenir des légumineuses dans le Maghreb, Hammamet, 100p.
- 58. Koide R.T., Schreiner R.P., 1992.** Regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis, Annu. Rev. Plant Physiol., 43: 557–581.
- 59. Kormanik P.P., Schultz R.C., Bryan W.C., 1982.** The influence of vesicular arbuscular mycorrhizae on the growth and development of eight hardwood treespecies. For Sci.,28: 531-539.
- 60. Krishna H., Singh S.K., Sharma R.R., Khawale R.N., Grover M., Patel V.B., 2005.** Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular-mycorrhizal fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. Sci. Hortic., 106: 554 – 567.
- 61. Kucey R.M.N., Paul E.A., 1983.** Vesicular-arbuscular mycorrhizal spore populations in various Saskatchewan soils and the effect of inoculation with *Glomus mossaea* on faba bean growth in greenhouse and field trials.Can. J. Soil Sci., 63: 87–95.
- 62. Kulimushi E., 2014.** Evaluation des effets d'insecticides botaniques sur les pucerons noirs du haricot (Aphisfabae) à Goma en république démocratique du Congo. Cahiers Africains des Droits de l'Homme et de la Démocratie, 1: 365-380.
- 63. Labrie G., 2010.** Synthèse de la littérature scientifique sur le puceron du soya, Aphis glycines Matsumura. Centre De Recherche Sur Les Grains Inc. (CÉROM), Québec. 515p.
- 64. Lambert L., 2005.** Les pucerons dans les légumes de serre : Des bêtes de sève. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec, 17p.
- 65. Laumonier R., 1979.** Cultures légumières et maraîchères, Tome III. Ed. J.B. Baillière, Editions J-B. Baillière, Paris, France, 276p.
- 66. Leclant F., 1999.** Les pucerons des plantes cultivées. Clefs d'identification. I- Grandes cultures. Ed. ACTA, INRA, Paris, 64p.

- 67. Leclerc H., 1976.** Précis de phytothérapie : essai de thérapeutique par les plantes françaises ? ed. Masson, Paris, 363 p.
- 68. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R., 1983.** Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem.Soc.Trans.*, 11:591-592.
- 69. Maisonhaute J.E., 2009.** Quand le paysage influence les ennemis naturels. *Bulletin de la Société d'entomologie du Québec*, 16(2) : 3-5.
- 70. Maoui R., Say B., El Hadj B., Frikh A. et Girard C., 1990.** La culture de la féverole en tunisie .Ed.I.N.R.A.T.O.N.H., AGROPOL. et I.T.C.F., 16p.
- 71. Meskine M., Bouznad Z. et Aziri H ., 2002.** La rouille des fèves dans le maghreb: Incidence de la maladie et source de résistance. *Proceeding du 2ième séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA "le devenir des légumineuse dans le Maghreb "*, Hammamet, Tunisie, 100p.
- 72. Mezani S., 2011.**Bioécologie du bruché de la fève *Bruchus rufimanus* Boh. (Coleoptera : Bruchidae) dans des parcelles de variétés de fèves différentes et de féverole dans la région de TiziRached (TiziOuzou). Thèse de Magister U.M.M.T.O. en Sciences biologiques, 81p.
- 73. Monneveux P. et Nemmar M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*T. aestivum* L.) et chez le blé dur (*T. durum* Desf). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6(6) : 583-590.
- 74. Najja H., Zouari S., Arnault I., Auger J., Ammar E., Neffati M., 2011.** Différences et similitudes des métabolites secondaires chez deux espèces du genre *Allium* : *Allium roseum* L. et *Allium ampeloprasum* L. *Acta Botanica Gallica*, 158 (1) : 111-123.
- 75. Nasim A., Marielle B., Donovan B., Hannah B., Ariane R., Rafael B. 2017.** A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *Taxon* February 66 (1): 44-47.
- 76. Netto A.T., Campostrini E., Oliveira J.G., Bressan-Smith R.E., 2005.** Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104: 199-209.
- 77. Ohta R., Yamada N., Kaneko H., Ishikawa K., Fukuda H., Fujino T. and Suzuki A., 1999.** *In vitro* inhibition of the growth of *Helicobacter pylori* by oil-macerated garlic constituents. *Antimicrobial Agents and chemotherapy*, 43: 1811-1812.

- 78. Ouslim S., 2016.** BNL associées aux légumineuses alimentaires (*Vicia faba*) dans l'ouest Algérienne « Caractérisation et importance ».Thèse de doctorat, université Université Ahmed Ben Bella (Université Es-Sénia) d'Oran, 131p.
- 79. Peterson R.L., Massicotte H.B., 2004.** Exploring structural definitions of mycorrhizas,with emphasis on nutrient-exchange interfaces. NRC Research Press, 82 : 1074–1088.
- 80. Peyronnel B., Fassi B., Fontana A., Trappe J.M., 1969.** Terminology of Mycorrhizae. Mycologia, 61: 41 0-41 1.
- 81. Philips J.M. and Hayman D.S., 1970.**Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc., 55 :158.
- 82. Rabatel A., 2011.** Développement embryonnaire du puceron *Acyrtosiphon pisum*: caractérisation de voies métaboliques et gènes clés dans les interactions trophiques avec *Buchneraaphidicola*. Thèse de doctorat d'Etat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 236 p.
- 83. Rachef S.A., Ouamer F. et Ouffroukh A., 2005.** Inventaire des ravageurs de la fève en Algérie (identification et caractérisation) I.N.R.A., 16:36-41.
- 84. RemaudiereG. et Remaudiere M., 1997.** Catalogue des Aphidae du monde, I.N.R.A, Paris, 473p.
- 85. Robert Y., 1982.** Fluctuation et dynamique des populations des pucerons. Jour. D'étude et d'info : Les pucerons des cultures, Le 2, 3 et 4 mars 1981. Ed. A.C.T.A, Paris, 21-35p.
- 86. Ruiz-Lozano J.M., Azcón R., Gomez M., 1995.** Effects of arbuscular–mycorrhizalGlomus species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. Appl. Environ. Microbiol., 61 : 456–460.
- 87. Ryckewaert. P., Fabre. F., 2001.** Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures maraichèresà la réunion. Food and Agricultural Research Council, Réduit, Mauritius. Ed CIRAD, Saint Pierre, La Réunion, 103p.
- 88. Ryckewaert P., Fabre F., 2001.** Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures maraichères à la Réunion. *In* : AMAS (Annual Meeting of Agricultural Scientists), Le Réduit, Ile Maurice, 3-4 mai 2001.
- 89. Satiadev S., 1998.** L'ail condiment et médicament.Seedling root development. Hort. Science., 35(7): 1231-1233.

- 90. Shannag H.K., Abadneh J.A., 2007.** Biometry and responses of faba bean varieties to black bean aphid, *Aphis fabae scopoli*. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 2(4): 328-334.
- 91. Silagy C.A., Neil H.A.** A meta-analysis of the effect of garlic on blood pressure. Journal of Hypertension, 1994, 12(4): 463-468.
- 92. Silagy C.A., Neil H.A., 1994.** Garlic as a lipid lowering agent: a meta-analysis. Journal of the Royal College of Physicians of London,28: 39-45.
- 93. Souza T., 2015.** Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi.1er edition, Springer International Publishing ,Switzerland, 87-128p.
- 94. Stodards F.L., Nicholas A.S.,Rubiales D., Thomas J., 2010.** Integrated pest management in faba bean field. Crops research, 11: 308-318.
- 95. Strullu D.G., 1990.** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Collection TEC & DOC,Lavoisier, Paris,250 p.
- 96. Tanya. D., 2002.** Aphids. Bio-Integral Resource Center, Berkeley, 510-524.
- 97. Tawaraya K., Saito M., 1994.** Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on amino acid composition in roots of onion and white clover. Soil. Sci. Plant Nutr., 40: 339–343.
- 98. Tejada M. and J.L. Gonzalez, 2003.**Effects of foliar application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on maize yield. Agronomie, EDP Sciences, 23 (7): 617-623.
- 99. Thomas F., 2008.** La fève confirme son intérêt. Technique culturales simplifiée, 48 .4eme Edition, Bruxelles, Belgique, 102p.
- 100. Thomashow M.F.** 1998. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. Plant Physiol., 118: 1–7.
- 101. Tinker P.B.,1984.** The role of microorganisms in mediating and facilitating the of plant nutrients from soil. Plant Soil, 76 : 77-91.
- 102. Tobar R., Azcón R., Barea J.M., 1994.** Improved nitrogen uptake and transport from ¹⁵N-labelled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhizae under water-stressed conditions. New Phytol., 126: 119–122.
- 103. Touil A., Litaïem J.A.B., Zagrouba F.A., 2015.** Isothermes de sorption et propriétés thermodynamique d'*Allium sativum*. Université de Carthage, Institut Supérieur des Sciences et de Technologie de l'Environnement, Borj Cedria, Tunisie, Institut National Agronomique de Tunis.1st International Refrigeration, Energy and Environment Colloquium. Proceedings: Hammamet, Tunisia, March 24-27.

- 104. Trematerra P., Lanzotti V., 1999.** The activity of some compounds extracts by *Allium* on stored-product insects *Oryzae philussurinamensis* L., *Sitophilus oryzae* L. and *Tribolium castaneum* Herbst. Journal of Pest Science, 72: 122-125
- 105. Vanlerbergbe-Masutti F., 1996.** La variabilité des pucerons : causes et conséquences. Rev. Phra. Horticole., 369(4):13-17.
- 106. Vaughan D. and R.E. Malcom, 1985b.** Influence of humic substances on growth and physiological processes. In Soil organic matter and biological activity. M. R. E. Vaughan D., eds. Boston, Dordrecht: 37-75.
- 107. 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. Theor.Appl. Genet., 124: 789-797.
- 108. Weber E.; Bleiholde R., 1990.**Erläuterungen zuden BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse mit Abbildungen. Gesunde Pflanzen, 42: 308-321.
- 109. Yahia Y., Guetat A., El Falleh W., Ferchichi A., Yahia H. et Loumerem M., 2012.** Analysis of agro morphological diversity of southern Tunisia faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm. African Journal of Biotechnology, 11 (56): 11913-11924.
- 110. Yoshida H., Iwata N., Katsuzaki H., Naganawa R., Ishikawa K., Fukuda H., Fujino T. and Suzuki A., 1998.** Antimicrobial activity of a compound isolated from an oil-macerated garlic extract. Biosci. Biotechnol. Biochem, 62(5): 1014-1017.
- 111. Yoshida H., Katsuzaki H., Ohta R., Ishikawa K., Fukuda H., Fujino T. and Suzuki A., 1999.** Antimicrobial activity of the thiosulfinates isolated from oil-macerated garlic extract. Biosci. Biotechnol. Biochem, 63(3): 591-594.
- 112. Zaghouane O., 1991.** The situation of faba bean (*Vicia faba*) in Algeria. Option méditerranéenne, present statut and future perspectives of faba bean production I.C.A.R.D.A., A (10): 123-125.
- 113. Sites consultés le 05/06/2021:**
- techno-science.net
- www.gerbeaud.com
- www.entomart.be
- www.myrmecofourmis.fr

ANNEXES

Annexe 1 : Analyse de la variance de la hauteur des plantes selon les intrants biologiques en présence et en absence d'ail, avant (A) et après floraison (B) par le test Anova

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRAITEMENT	5	533,4	106,69	5,43	0,000

A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	2346	469,22	6,47	0,000

B

Annexe 2 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon la hauteur des plantes, en présence et en absence d'ail avant (A) et après (B) floraison par le test de Tukey

TRAITEMENT	N	Mean	Grouping
ACSA	20	21,75	a
ACA	17	21,71	a
MYCOA	20	20,60	a
TA	10	19,800	a
MYCOSA	19	18,24	a b
TSA	10	14,00	b

A

Intrant	N	Mean	Grouping
TA	10	45,35	a
ACA	20	38,15	a b
MYCOA	20	35,90	a b c
ACSA	20	32,83	b c
TSA	10	32,60	b c
MYCOSA	20	28,250	c

B

Annexe 3 : Analyse de la variance de la surface foliaire des plantes de fève selon les intrants biologiques, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après (B) floraison par le test Anova

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	590,3	118,06	5,50	0,000

A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRAITEMENT	5	349,8	69,97	2,24	0,057

B

Annexe 4 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon la surface foliaire des plantes, en présence et en absence d'ail, avant (A) et après floraison (B) par le test de Tukey

Intrant	N	Mean	Grouping
ACSA	20	25,175	a
ACA	19	20,66	b
TA	10	19,80	b
TSA	10	19,65	b
MYCOSA	19	18,737	b
MYCOA	20	18,48	b

A

TRAITEMENT	N	Mean	Grouping
ACSA	20	21,825	a
MYCOSA	19	21,54	a b
ACA	17	19,68	a b
MYCOA	20	19,34	a b
TA	10	18,50	a b
TSA	10	15,45	b

B

Annexe 5 : Analyse de la variance du nombre de gousses produites par plante de fève selon les intrants biologiques par le test Anova

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitements	5	2,278	0,4556	4,10	0,021

Annexe 6 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon le nombre de gousses produites par plante, en présence et en absence d'ail, par le test de Tukey

Traitements	N	Mean	Grouping
TSA	3	2,000	a
ACSA	3	1,333	a b
ACA	3	1,333	a b
TA	3	1,000	b
MycoSA	3	1,000	b
MycoA	3	1,000	b

Annexe 7 : Analyse de la variance du poids frais (A) et Poids sec (B) de la partie aérienne des plantes de fève selon les intrants biologiques en présence et en absence d'ail, après floraison par le test Anova

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	134,1	26,830	4,77	0,004

A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	88,13	17,626	11,01	0,000

B

Annexe 8 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon le poids frais (a) et le poids sec (b) de la partie aérienne des plantes, en présence et en absence d'ail, après floraison par le test de Tukey

Intrant	N	Mean	Grouping
MycoSA	6	24,17	a
ACA	3	23,333	a b
TSA	5	20,20	a b
MycoA	6	19,833	b
ACSA	6	19,500	b
TA	3	17,667	b

A

Intrant	N	Mean	Grouping
MycoA	6	11,667	a
MycoSA	6	8,833	b
ACA	3	8,333	b
TA	3	7,167	b
ACSA	6	7,167	b
TSA	5	7,000	b

B

Annexe 9 : Analyse de la variance du poids frais(A) et Poids sec(B) de la partie racinaire des plantes de fève selon les intrants biologiques en présence et en absence d'ail, après floraison par le test Anova

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	492,01	98,401	31,35	0,000

A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	309,00	61,799	23,05	0,000

B

Annexe 10 : Classement des intrants biologiques en groupes homogènes selon le poids frais (a) et le poids sec (b) de la partie racinaire des plantes, en présence et en absence d'ail, après floraison par le test de Tukey

Intrant	N	Mean	Grouping
MycoA	6	19,667	a
ACA	3	18,000	a
TSA	5	16,600	a
MycoSA	6	12,500	b
ACSA	6	10,500	b c
TA	3	7,333	c

A

Intrant	N	Mean	Grouping
ACA	3	12,667	a
MycoA	6	12,000	a
MycoSA	6	10,500	a
TSA	5	6,80	b
ACSA	6	5,083	b
TA	3	3,500	b

B

1 Impact des traitements sur les métabolites primaires chez les plantes de fève

Annexe 11 : Analyse de la variance des taux de proline chez les plantes de fève avant (A) et après (B) floraison par le test ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	0,050833	0,010167	94,77	0,000

A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	0,080543	0,016109	379,52	0,000

B

Annexe 12 : Classement des traitements selon la teneur en proline des plantes de fève avant (a) et après (b) floraison

Intrant	N	Mean	Grouping
ACA	3	0,18333	a
TSA	3	0,1557	a
ACSA	3	0,09167	b
MycoA	3	0,07333	b
TA	3	0,07100	b
MycoSA	3	0,02733	c

A

Intrant	N	Mean	Grouping
ACA	3	0,17833	a
ACSA	3	0,15700	b
MycoA	3	0,05400	c
TA	3	0,028000	d
TSA	3	0,020667	d
MycoSA	3	0,013000	d

B

Annexe 13 : Analyse de la variance des taux de sucres chez les plantes de fève avant (A) et après (B) floraison par le test ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	0,546511	0,109302	711,68	0,000

A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	0,388526	0,077705	312,00	0,000

B

Annexe 14 : Classement des traitements selon les taux de sucres chez les plantes de fève avant (a) et après (b) floraison

Intrant	N	Mean	Grouping
TSA	3	0,5579	a
MycoSA	3	0,18951	b
MycoA	3	0,13946	c
ACA	3	0,11325	c d
ACSA	3	0,08893	d
TA	3	0,02167	e

A

Intrant	N	Mean	Grouping
MycoSA	3	0,5597	a
TSA	3	0,43533	b
MycoA	3	0,3590	c
ACSA	3	0,2800	d
TA	3	0,18167	e
ACA	3	0,12867	f

B

Annexe 15 : Analyse de la variance des teneurs en chlorophylle chez les plantes de fève avant (a) et après (b) floraison par le test ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	1310,56	262,112	90,72	0,000

A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	148,47	29,694	26,91	0,000

B

Annexe 16 : Classement des traitements selon les teneurs en chlorophylle chez les plantes de fève avant (A) et après (B) floraison

Intrant	N	Mean	Grouping
ACSA	3	28,24	a
ACA	3	25,522	a
MycoA	3	13,57	b
TA	3	8,388	c
TSA	3	7,858	c
MycoSA	3	7,628	c

A

Intrant	N	Mean	Grouping
TA	3	10,784	a
MycoA	3	9,542	a b
ACA	3	9,273	a b
TSA	3	7,028	b c
ACSA	3	4,386	c d
MycoSA	3	2,842	d

B

1 Impact des traitements sur les métabolites secondaires chez les plantes de fève

Annexe 17 : Analyse de la variance des teneurs en polyphénols totaux chez les plantes de fève après floraison par le test ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	0,006831	0,001366	152,94	0,000

Annexe 18 : Classement des traitements selon les teneurs en polyphénols totaux chez les plantes de fève après floraison

Intrant	N	Mean	Grouping
MycoA	3	0,08369	A
ACA	3	0,07894	A
MycoSA	3	0,06706	B
ACSA	3	0,05637	C
TSA	3	0,05123	C
TA	3	0,02510	D

Annexe 19 : Analyse de la variance des taux d'infestation des pucerons des plantes selon les traitements selon la période de croissance de la culture de fève

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitements	5	1966,7	393,33	7,87	0,013

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitements	5	700,0	140,00	8,40	0,011

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitements	5	1266,7	253,33	15,20	0,002

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	5441,7	1088,33	26,12	0,001

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intrant	5	1075,0	215,00	8,60	0,010

Annexe 20 : Classement des traitements selon les taux d'infestation des pucerons des plantes et selon la période de croissance de la culture de fève

Intrant	N	Mean	Grouping
ACSA	2	65,00	a
TSA	2	60,00	a b
MycoSA	2	50,00	a b c
ACA	2	40,00	a b c
MycoA	2	35,00	b c
TA	2	30,0	c

A

Intrant	N	Mean	Grouping
MycoSA	2	50,00	a
TSA	2	45,00	a b
ACSA	2	45,00	a b
MycoA	2	40,00	a b
TA	2	30,00	b
ACA	2	30,00	b

B

Intrant N	Mean	Grouping	A
TSA	2 60,00	a	
ACSA	2 45,00	a b	
TA	2 40,00	b c	
MycoSA	2 40,00	b c	
ACA	2 40,00	b c	
MycoA	2 25,00	c	
Intrant N	Mean	Grouping	B
TSA	2 75,00	a	
ACSA	2 55,00	a b	
TA	2 40,00	b c	
MycoSA	2 35,00	b c	
MycoA	2 15,00	c	
ACA	2 15,00	c	
Intrant N	Mean	Grouping	
ACSA	2 25,00	a	
TSA	2 15,00	a b	
MycoSA	2 5,00	b	
TA	2 0,000000	b	
MycoA	2 0,000000	b	
ACA	2 0,000000	b	