



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Microbiologie
Spécialité : Mycologie et Biotechnologie fongique

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie fongique

Thème :

*Le rôle que jouent les moisissures dans la lutte
biologique dans le domaine de l'agriculture.*

Présenté par : NAHDI INTISSAR. *Le : 20/09/2021.*

KASSEH LAOUAR CHIRAZ.

GUERRAICHE RADHIA.

Présidente : Mme. MEZIANI M. MCB - UFM, Constantine.
Encadrant : Mme. BENKAHOUL M. MCA - UFM, Constantine.
Examinatrice : Mme. ABDELAZIZE W. MCB - UFM, Constantine.

Année universitaire : 2020-2021.

Remerciement

Au terme de ce modeste travail, Nous exprimons tout d'abord, nos profonds remerciements et louanges à DIEU tout puissant, qui nous a guidé sur le droit chemin et nous a donné le courage et la volonté d'achever ce travail.

Nous remercions par la suite très vivement Mr DEHIMAT L. doyen de la faculté des sciences de la nature et de la vie pour sa confiance, son soutien, sa gentillesse et sa patience pendant toutes les années d'étude.

Nous tenons à exprimer toute nos reconnaissances et nos profonds respects à notre Directrice de mémoire, Mme. BENKAHOUL M. MCA à l'université Mentouri Constantine, pour sa patience, ses précieux conseils, la rigueur et l'orientation dont nous avons pu bénéficier.

Nous tenons à exprimer notre grande considération et nos sentiments de reconnaissance aux membres de jury : Dr. ABDELAZIZ W et Dr. MEZIANI qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger ce modeste travail

Nous remercions aussi les personnes responsables du magasin de la faculté des sciences de la nature et de la vie pour leurs gentillesse et aides.

Un grand merci également à tous les enseignants de la faculté en générale et ceux de la Mycologie et biotechnologie fongique en particulier.

Nos reconnaissances et nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous.

Dédicace

A mon estimable et cher Père, l'idéal de l'engagement de la responsabilité et de la fidélité, que Dieu ait pitié de lui

A mon estimable et chère Maman l'exemple de l'affection et de la compassion, et de l'amour éternel

Je vous remercie pour votre patience, vos encouragements, votre sacrifice pour moi. Merci aussi beaucoup pour votre veille et je n'ai jamais oublié votre invocation à la prière pour ma réussite

Je m'excuse sincèrement mille fois de vous avoir dérangé. Que Dieu vous bénisse

Je souhaite pour vous le bonheur dans la vie et le paradis.

A ma jumelle, ma moitié et ma confidente, ma sœur aya merci d'être à mes coté

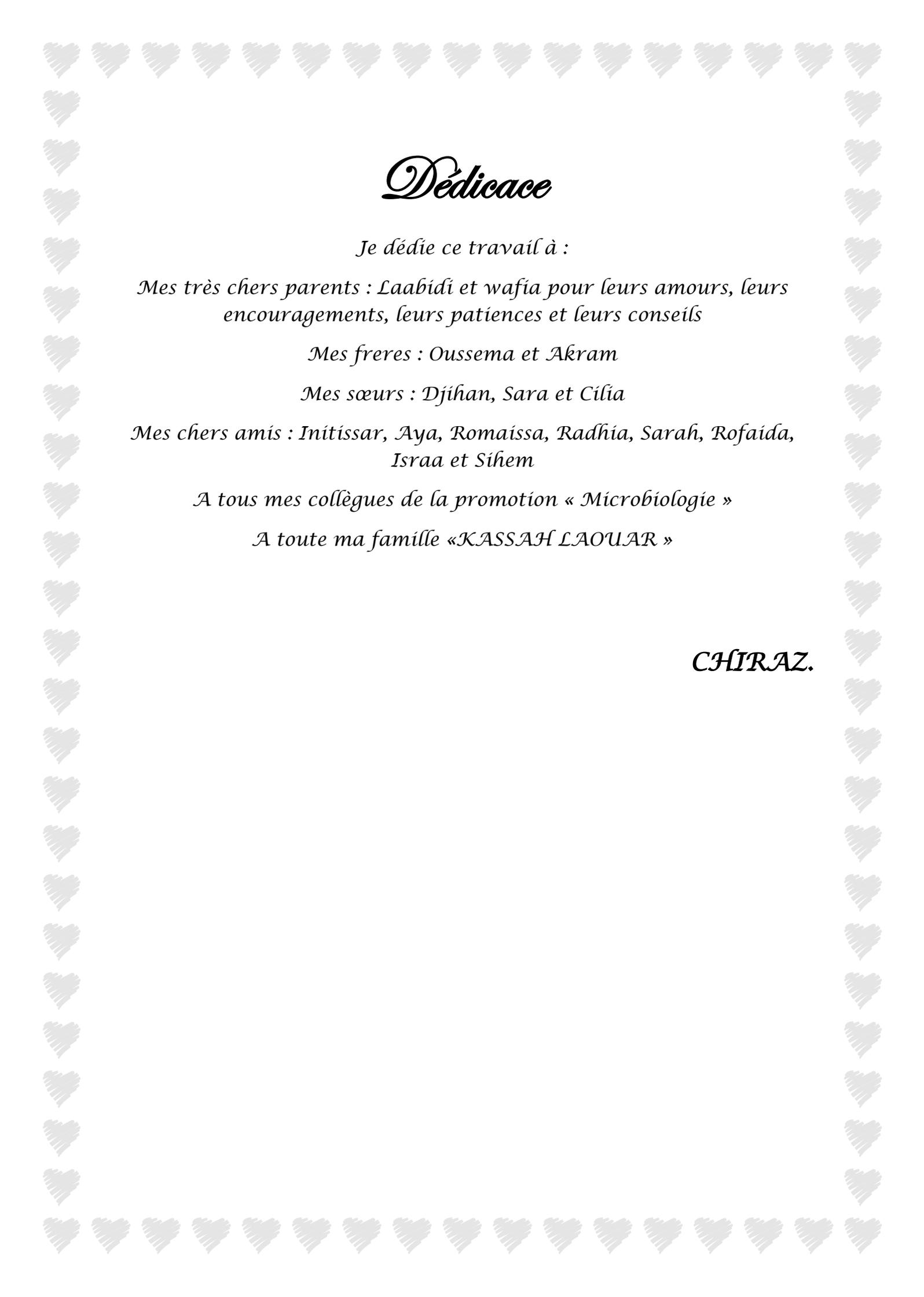
A mon petit frère Mohamed Aymen que dieu te bénisse

A tous mes proches de la famille NAHDI et DERBAL, plus particulièrement mon oncle AZOUZ et mes chères tantes CHAHRA ZED et AFEF merci énormément pour votre amour et vos encouragements

A tous mes amies : AYA, CHIRAZ, RADHIA, ROMEISSA, ISRAA et SIHEM

Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma gratitude.

INTISSAR.



Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents : Laabidi et wafia pour leurs amours, leurs encouragements, leurs patiences et leurs conseils

Mes freres : Oussema et Akram

Mes sœurs : Djihan, Sara et Cilia

Mes chers amis : Initissar, Aya, Romaiissa, Radhia, Sarah, Rofaida, Israa et Sihem

A tous mes collègues de la promotion « Microbiologie »

A toute ma famille «KASSAH LAOUAR »

CHIRAZ.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents :

MON TRÈS CHER PÈRE MOHAMED el Tahar Que Dieu lui fasse miséricorde : A qui je dois beaucoup, Tu m'as inculqué la passion du savoir, tu as toujours éclairé ma voie par tes conseils et pour qui aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et la reconnaissance pour l'ampleur des sacrifices que tu as endurés pour nous éduquer. J'espère être à la hauteur de tes espérances. Je suis fière et contente de réaliser une partie de ce que tu as tant espéré et attendu de moi Et je suis fier d'être ta fille. Dieu ne t'a pas décrété d'être avec moi en ce moment, mais tu es toujours dans mon cœur.

A LA MEMOIRE DE MA TRÈS CHÈRE MÈRE Dalila : La femme, qui a œuvré pour ma réussite et qui a tant sacrifié pour nous. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour elle.

A mes frères : Rabie et Abd El halime

A ma petite sœur : Fadía

A mon mari : Bilél qui m'a soutenu pendant toute cette épreuve, je le remercie pour sa gentillesse, sa patience, son encouragement et pour son amour.

Les filles de ma tante : Maḥdia et sabrine

A toute ma belle-famille « Geurraiche » et ma famille « Rahal »

Et aussi à mon trinômes Chiraz et Intissar.

RADHIA.

Résumé :

La lutte biologique est l'utilisation d'organismes vivants parmi lesquelles les moisissures pour limiter la pullulation des divers d'ennemis des cultures. Elle est naturellement présente dans la plupart des écosystèmes et peut être utilisée volontairement, en agriculture, en remplaçant des pesticides conventionnels. En comparaison à ces derniers, la lutte biologique est beaucoup plus écologique mais a également des coûts d'application substantiellement plus élevés. De nombreuses applications de la lutte biologique ont eu lieu dans le passé, parfois avec succès. En effet, La première année de terrain a permis d'identifier les principales difficultés associées à l'utilisation de *B.bassiana* en verger de pommiers. Les applications foliaires utilisées ont exposé le champignon à des conditions défavorables, lesquels ont contribué à rendre *B.bassiana* peu efficace contre le charançon de la prune. Au cours de la deuxième année de terrain, des applications au sol ont donc été testées en plus des applications foliaires. Aussi, des adjuvants ont été ajoutés à la suspension de conidies, afin de favoriser la survie et le développement de *B.bassiana*. Ces expériences de terrain indiquent que les applications au sol de *B.bassiana* sont efficaces et augmentent la mortalité du charançon de la prune. L'étude concernant l'évaluation et la comparaison de l'efficacité de l'activité antagoniste in vitro de *Trichoderma atroviride* T13 et *Trichoderma longibrachiatum* T9 a montré l'existence d'une variabilité de l'activité antagoniste à l'égard des isolats de *Botrytis* qui s'est manifesté au niveau de la réduction de la croissance mycélienne et la sporulation.

Les mots clés : moisissures, agricultures ; lutte biologique, *B.bassiana*, *Trichoderma atroviride* T13, *Botrytis cinerea*.

المخلص

المكافحة البيولوجية هي استخدام الكائنات الحية، بما في ذلك العفن، للحد من انتشار آفات المحاصيل المختلفة. يوجد بشكل طبيعي في معظم النظم البيئية ويمكن استخدامه طوعاً في الزراعة، لتحل محل مبيدات الآفات الزراعية التقليدية. بالمقارنة مع الأخير، تعتبر المكافحة البيولوجية أكثر ملاءمة للبيئة ولكن لها أيضاً تكاليف تطبيق أعلى بشكل كبير. لقد حدثت العديد من تطبيقات المكافحة البيولوجية في الماضي، وأحياناً بنجاح. في الواقع، أتاحت السنة الأولى في هذا المجال تحديد الصعوبات الرئيسية المرتبطة باستخدام *B. bassiana* في بساتين التفاح. أدت التطبيقات الورقية المستخدمة إلى تعريض الفطر لظروف غير مواتية ساهمت في عدم فاعلية *B. bassiana* ضد سوسة البرقوق. خلال السنة الثانية في الحقل، تم اختبار التطبيقات الأرضية بالإضافة إلى التطبيقات الورقية. أيضاً، تمت إضافة مواد مساعدة إلى معلق الكونديا، من أجل تعزيز بقاء وتطور بكتيريا باسيانا. تشير هذه التجارب الميدانية إلى أن تطبيقات التربة لفطر *B. bassiana* فعالة وتزيد من معدل وفيات سوسة البرقوق. أظهرت الدراسة المتعلقة بتقييم ومقارنة فعالية النشاط المضاد في المختبر لـ *Trichoderma atroviride* T13 و *Trichoderma longibrachiatum* T9 وجود تباين في نشاط المضاد تجاه عزلات *Botrytis cinerea* والذي يتجلى في الحد من نمو mycelial و التجرثم.

الكلمات المفتاحية: القوالب، الزراعة، المكافحة البيولوجية، *B. bassiana*، *Trichoderma atroviride* T13، *Botrytis cinerea*.

Abstract:

Biological control is the use of living organisms, including molds, to limit the proliferation of various crop pests. It is naturally present in most ecosystems and can be used voluntarily in agriculture, replacing conventional pesticides. Compared to the latter, biological control is much more environmentally friendly but also has substantially higher application costs. Many applications of biological control have taken place in the past, sometimes with success. Indeed, the first year in the field made it possible to identify the main difficulties associated with the use of *B. bassiana* in apple orchards. The foliar applications used exposed the fungus to unfavorable conditions, which made *B. bassiana* ineffective against plum weevil. During the second year in the field, ground applications were therefore tested in addition to foliar applications. Also, adjuvants have been added to the conidia suspension, in order to promote the survival and development of *B. bassiana*. These field experiences indicate that soil applications of *B. bassiana* are effective and increase plum weevil mortality. The study concerning the evaluation and the comparison of the efficacy of the antagonist activity in vitro of *Trichoderma atroviride* T13 and *Trichoderma longibrachiatum* T9 showed the existence of a variability of the antagonist activity towards isolates of *Botrytis* which manifested itself in the reduction of mycelial growth and sporulation.

The key words: molds, agriculture, biological control, *B. bassiana*, *Trichoderma atroviride* T13, *Botrytis cinerea*.

Liste des abréviations :

ARN : Acide ribonucléique.

ARNr : Acide ribonucléique ribosomique.

PCR-RT: *Polymérase Chain Reaction- Reverse Transcription*.

FAO: *Food and Agricultural Organisation*.

B. hardei: *Bulmeria hardei*.

OGM : Organisme Génétiquement modifié.

Bt : *Bacillus thuringiensis*.

Pf5 : *Pseudomonas fluorescens* 5.

ISR : Induction de résistance systématique.

B. bassiana : *Beauveria bassiana*.

R. solani : *Rhizoctonia solani*.

B. cinerea : *Botrytis cinerea*.

ADN : Acide désoxyribonucléique.

INRS-CEL : Institut national de la recherche scientifique.

CL : Concentrations létales.

CL50 : concentration létale qui provoque 50% de mortalité dans la population d'organisme étudiée, pendant un temps donné, par administration unique.

CL10 : concentration létale qui provoque 10% de mortalité dans la population d'organisme étudiée, pendant un temps donné, par administration unique

CL90 : concentration létale qui provoque 90% de mortalité dans la population d'organisme étudiée, pendant un temps donné, par administration unique

TMS : Taux moyen de survie.

UV : Rayonnement ultraviolet.

PDA : Dextrose à la pomme de terre.

TF : la prune femelles.

TM : la prune male.

T : témoin.

Liste des figures :

- Figure 1 :** représentation schématique des champignons; A: fragment de mycélium; B: forme générale et développement d'un mycélium fongique. 5
- Figure 2:** les structures de thalles filamenteux : hyphes cenocytique, hyphe septée.. 5
- Figure 3 :** structure de formation de spores végétatives de moisissures. A : sporangiospores dans un sporange (*Mucor*), B : arthrospores (*Geotrichum*), C : conidiospores (*Penicillium*). .. 6
- Figure 4:** photographie au microscopique de *Beauveria bassiana*.. 35
- Figure 5:** adulte de charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar*. les caractéristiques représentatives sont: A) une série de bosses portés par chaque élytre, B) une bande claire transversale sur les élytres et C) un rostre large et court portons des antennes. 36
- Figure 6:** cicatrice en forme de demi- lune associées à la ponte des charançons..... 36
- Figure 7 :** Symptomatologie et morphologie de *Botrytis cinerea*..... 40
- Figure 8 :** Activité insecticide de l'isolat INRS-CFL contre les femelles (A, B) et les mâles (C, D) du charançon de la prune lors d'applications de *Beauveria bassiana* au sol aux jours 7 et 14 suivant le traitement. Rouge (●) = *B. bassiana* sans adjuvant ; Orange (●) = *B. bassiana* avec adjuvants ; Vert pomme (●) = témoin sec, sans adjuvant ; Vert foncé (●) = témoin, avec adjuvants.....48
- Figure 9 :** A. confrontation équidistance de *B.cinerea* et *T.harzianum* par contacte directe...52
- Figure 10 :** confrontation à distance entre *B. cinerea* et *T. harzianum*.....53

Liste des tableaux :

Tableau 1: comparaison entre les caractéristiques clés dans trois embranchements du règne des champignons, avec des exemples d'organismes.....	132
Tableau 2: aperçus de degré de résistance des spores fongiques.....	14
Tableau 3: les principaux microorganismes utilisés dans la lutte biologique.	32
Tableau 4: exemple de bio fongicides commercialisées à base de <i>Trichoderma spp.</i>	389
Tableau 5: Estimation des concentrations létales chez les adultes des deux générations du charançon de la prune soumis aux isolats INRS-CFL et INRS-IP de <i>Beauveria bassiana</i> en laboratoire.....	46
Tableau 6: pourcentage de cadavres de charançon de la prune femelles (TF) et mâles (TM) développant de la muscardine suite aux traitements au sol suivants : T1= <i>B. bassiana</i> sans adjuvant, T2= <i>B. bassiana</i> avec adjuvants, T3= témoin, avec adjuvants, T4= témoin sec, sans adjuvant (non traité).	48
Tableau 7: liste des échantillons utilisés pour la recherche de <i>Botrytis cinerea</i>	49
Tableau 8: origine des souches de <i>trichoderma sp.</i>	51
Tableau 9: Effet des souches de <i>Trichoderma sp</i> sur la croissance mycélienne du <i>Botrytis cinerea</i> après 7 jours de confrontation directe.	53

Tableau 10: Effet des souches de *Trichoderma sp* sur la croissance mycélienne du *Botrytis cinerea* après 7 jours de confrontation indirecte. 55

Tableau 11: Effet des souches de *Trichoderma* sur la concentration en spores des isolats de *Botrytis* cultivés sur milieu de culture PDA en spores/ boites. 56

Table des matières :

Résumé	I
المخلص	II
Abstract	III
Liste des abréviations	IV
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
Introduction	1

Chapitre 01 : Les moisissures

1	Généralités.....	4
2	Structure cellulaire des moisissures	4
2.1	L'appareil végétatif	4
2.2	L'appareil reproductif	6
2.2.1	Reproduction asexué	6
2.2.2	Reproduction sexuée	7
3	Facteurs de développement des moisissures	7
3.1	Les macroéléments	7
3.2	Les sources minérales.....	8
3.3	Facteurs physicochimiques	8
3.3.1	Température	8
3.3.2	Humidité.....	8
3.3.3	pH.....	9
3.3.4	Aération.....	9
3.3.5	Lumière	9
4	Critères d'identification des moisissures.....	9
4.1	Les critères d'identification macroscopiques	10
4.2	Les critères d'identification microscopiques.....	10
4.3	Les critères d'identification moléculaires	11
5	Classification.....	12

6	Tolérance des moisissures dans les milieux extrêmes	13
6.1	L'état des champignons filamenteux dans le sol.....	14
7	Leur Application dans les différents domaines	15
7.1	Alimentaire.....	15
7.2	Pharmaceutique	16
7.3	Médical.....	16
7.4	La lutte biologique	16

Chapitre 02 : L'agriculture

1	Généralités.....	17
2	L'évolution des problèmes phytosanitaires.....	17
2.1	Avant les pesticides chimiques de synthèse.....	17
2.2	L'utilisation des pesticides chimiques de synthèse.....	18
2.3	Les inconvénients "Phytosanitaires" de l'emploi exclusif des pesticides chimiques	19
2.3.1	Les races résistantes	19
2.3.2	Les ravageurs nouveaux	19
3	Les maladies phytopathogènes.....	20
3.1	Les grands groupes des champignons pathogènes	20
3.2	Les grands groupes des champignons phytopathogènes	20
3.2.1	Les champignons à plasmode (Plasmodiophoromycota).....	20
3.2.2	Les champignons à thalle unicellulaire ou filamenteux cœnocytiques	20
3.2.2.1	Oomycota	21
3.2.2.2	Chytridiomycota.....	21
3.2.2.3	Zygomycota.....	21
3.2.3	Ascomycota.....	21
3.2.4	Les Basidiomycota	22
4	L'agriculture biologique.....	23
4.1	Principes généraux	23
4.2	Les méthodes de lutte	23
5	Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte	24

Chapitre 03 : La lutte biologique

1	Historique de la lutte biologique dans le monde	26
2	Définitions.....	27
2.1	La lutte biologique	27
2.2	La lutte conventionnelle	27

2.3	La lutte intégrée.....	28
3	Objectif et importance.....	28
3.1	Objectifs	28
3.2	Importance.....	28
4	Type de lutte biologique :.....	28
5	Mécanisme d'action	29
5.1	Antibiose	29
5.2	Compétition.....	30
5.3	Parasitisme	30
5.4	Induction des systèmes de résistance de la plante hôte.....	31
5.5	Diminution de l'agressivité du pathogène.....	31
6	Les microorganismes de lutte biologique les plus utilisés	31
7	Le rôle des moisissures dans la lutte biologique en agriculture.....	33
7.1	Les champignons entomophages.....	33
7.1.1	Définition :	33
A.	Espèce <i>Bearveria bassiana</i> contre charançon de prune	34
a.	Taxonomie :.....	34
b.	Mode d'action :.....	35
c.	Le charançon de la prune.....	36
7.2	Action de certains champignons contre champignons phytopathogènes.....	37
7.2.1	Définition	37
A.	<i>Trichoderma harzianum</i> contre <i>Botrytis cinerea</i> :	37
a.	<i>Botrytis cinerea</i>	39
b.	Taxonomie <i>Trichoderma</i>	40
8	Avantages et inconvénients de la lutte biologique.....	40
8.1	Les avantages de la lutte biologique	41
8.2	Les inconvénients de la lutte biologique :.....	42

Synthèse méthodologique

1	Utilisation de <i>Beauveria bassiana</i> contre le charançon de la prune, <i>Conotrachelus nenuphar</i> , en verger de pommiers.....	44
1.1	Méthodologie	44
1.2	Pathogénicité des isolats (INRS-CFL et INRS-IP) chez les charançons de la prune : 44	

1.3	Résultats	46
1.4	Discussion :	49
2	Contribution à l'étude de <i>Botrytis cinerea</i> par agent de la pourriture grise	49
2.1	Collection d'isolats de <i>Botrytis sp</i> :	49
2.2	Agent antagoniste	51
2.3	Etudes de l'activité antagoniste in vitro de <i>Trichoderma longibrachiatum</i> et de <i>Trichoderma harzianum</i> vis-à-vis <i>Botrytis cinerea</i>	51
2.3.1	Effet de <i>Trichoderma sp</i> sur la croissance mycélienne de <i>Botrytis sp</i>	51
A.	Confrontation directe.....	51
B.	Confrontation à distance.....	52
2.3.2	Effet de <i>Trichoderma sp</i> sur la sporulation du <i>Botrytis sp</i>	53
2.4	Résultats :	53
2.4.1	Effet de <i>Trichoderma sp</i> sur la croissance mycélienne de <i>Botrytis sp</i>	53
A.	Confrontation directe.....	53
B.	Confrontation indirecte	55
2.4.2	Effet de <i>Trichoderma sp</i> sur la sporulation de <i>Botrytis sp</i>	56
2.5	Discussion :	58
	Conclusion	61
	Référence bibliographique	63

Introduction

Introduction

Depuis la naissance du monde, des organismes minent la vie de l'Homme, qui tente souvent de combattre ces insectes, acariens, bactéries, champignons, et autres. Cependant, dans les environnements non-perturbés, la densité de ces ravageurs est généralement contrôlée par l'intervention de leurs ennemis naturels, dont chacun varie en fonction de l'abondance des autres. La biodiversité permet de maintenir ces conditions équilibrées. (Lambert, 2008).

L'agriculture est l'épine dorsale de l'économie de nombreux pays. Malheureusement, cela est soumis à certaines limites, principalement d'ordre abiotique et biotique (Martins *et al.*, 2018). Les producteurs sont confrontés à diverses maladies qui attaquent les cultures. De nombreuses cultures sont ravagées par des parasites (bactéries, virus, insectes), les plus connus sont les champignons qui attaquent les plantes pendant la culture (microorganismes de champs) ou après la récolte (microorganismes de stockage) (Sayegh, 2009). La perte économique est énorme. Selon la F.A.O. (1999) les maladies phytopathogènes ont réduit de 12 à 14% la production agricole mondiale et 70% des dégâts sont causés par les champignons. (Aouar, 2012).

En réponse à ces problèmes, l'humanité a inventé. Depuis plus de 50 ans, la lutte contre les ravageurs et les maladies des cultures. Celle-ci passe principalement par l'utilisation de pesticides faciles à utiliser et peu coûteux. Cependant, l'utilisation de ces molécules « toxiques » présente de nombreux inconvénients qu'il n'est plus nécessaire de démontrer, comme l'émergence de résistance aux médicaments, la pollution de l'environnement, la réduction de la biodiversité dans les agroécosystèmes, et l'impact sur la santé humaine. C'est pourquoi, dans une optique de développement durable, l'utilisation seule de cette méthode de lutte présente de moins en moins d'avenir. Elle est, par conséquent, de plus en plus remplacée par une lutte intégrée qui combine différentes méthodes de lutte : lutte culturale, lutte biologique, lutte autocide et lutte chimique. Dans ces modèles, bien que la lutte biologique soit très ancienne, ses perspectives sont larges. En fait, il était utilisé par le passé dans des centres de recherches publics pour résoudre des problèmes spécifiques. De nos jours, la lutte biologique s'est fortement développée dans certaines filières agricoles (comme la production sous serre), notamment grâce à l'émergence d'entreprises privées spécialisées dans les productions auxiliaires. La raison de cette prospérité est que la lutte biologique peut résoudre sans attendre certains problèmes de résistances aux médicaments, et répondre à

Introduction

certaines attentes des consommateurs, plus soucieux de leur environnement, et de leur santé. (Hautier, 2003).

La lutte biologique est l'une des méthodes prometteuse, qui implique l'utilisation des microorganismes antagonistes. Parmi ces derniers, les champignons filamenteux qui sont connus pour leur capacité à produire des métabolites bioactifs, à coloniser la rhizosphère et les racines des plantes, et à induire une résistance à un large spectre d'agents pathogènes. Contrôler des microorganismes phytopathogènes et la formation des spores appropriées pour formuler des produits stables est une caractéristique importante d'un contrôle biologique réussi (Otoguro *et al.*, 2018).

Les champignons filamenteux (moisissures) sont des microorganismes eucaryotes filamenteux ; l'hyphe en est l'élément structural, ayant un métabolisme hétérotrophe. Les facteurs physicochimiques ont une grande influence sur le développement des champignons filamenteux ainsi que sur la germination. La plupart des moisissures sont mésophiles, possèdent un besoin en eau faible par rapport aux autres microorganismes et ayant une zone de pH optimal de croissance. (Nicklin *et al.*, 2000 ; Bousseboua, 2005).

Les moisissures sont des acteurs importants du monde microbien. Ils participent à une variété de processus biologiques dans l'environnement. Ils présentent également des avantages économiques dus à leur utilité. Ces micro-organismes agissent par compétition (pour l'espace, l'oxygène ou les ressources nutritionnelles) à la surface des plantes, par parasitisme direct, par stimulation des défenses naturelles des plantes, par antibiose (sécrétion de molécules à activité fongicides), prédation, ou autres formes spéciales d'interférence (Ajouz *et al.*, 2010).

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés d'abord à la capacité du champignon entomopathogène (*Beauveria bassiana*) contre le charançon de la prune (*Conotrachelus nenuphar*), et l'évaluation de son impact sur les ravageurs et entomophages présents dans les vergers de pommiers au Québec. Ensuite au champignon *Trichoderma sp* qui inhibe la croissance du champignon pathogène *Botrytis cinerea* isolés à partir de plantes infectées en Algérie.

Le contenu de ce mémoire est divisé en deux parties. La première partie est la revue bibliographique, qui contient trois chapitres principaux. Le premier chapitre traite les moisissures (Généralité, Structure cellulaire des moisissures, Facteurs de développement, Classification etc.). Dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons particulièrement à

Introduction

l'agriculture (généralité, L'évolution des problèmes phytosanitaires, Les maladies phytopathogènes, cas de l'agriculture biologique etc.). Le troisième chapitre décrit la lutte biologique (historique, définition, objectif et l'importance, types de lutte biologique etc.), en particulier le rôle des moisissures dans la lutte biologique agricole (Les champignons entomophages et Les champignons contre champignons pathogènes).

La deuxième partie présente la synthèse méthodologique, la méthode de la lutte biologique par les moisissures (Espèce *Bearveria bassiana* contre charançon de prune, *trichoderma sp* contre *botrytis cinerea*).

Chapitre 01 :

Les moisissures

1 Généralités

Les moisissures sont des champignons filamenteux pluricellulaires sporifères formant lors de leur croissance un enchevêtrement de filaments longs, fins et ramifiés appelés hyphes. Qui s'accroissent par leur sommet et dont l'ensemble constitue un réseau appelé mycélium.

Les moisissures sont des organismes eucaryotes (possèdent un noyau) ; dépourvues de chlorophylles ; il s'agit de microorganisme hétérotrophes qui nécessitent une source de carbone et une source d'azote pour leur développement. Ubiquistes qui apparaissent naturellement et que l'on trouve autant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'aliment (Palatya *et al.*, 2009). Ils peuvent être saprophytes, s'ils se développent sur du substrat organique inerte. (Caillaud *et al.*, 2006).

2 Structure cellulaire des moisissures

2.1 L'appareil végétatif

Les moisissures sont composées d'un appareil végétatif appelé thalle. Il est typiquement sous la forme d'un amas de filaments enchevêtrés et ramifiés dans tous les sens, appelés hyphes (figure 01).

L'ensemble des hyphes constitue un réseau appelé mycélium ou thalle, d'où l'appellation de thallophytes des champignons.

L'hyphe a un diamètre moyen de $5\mu\text{m}$. Il constitue la structure de base du mycélium et se compose d'une paroi cellulaire entourant le cytoplasme. (Bousseboua, 2005).



Figure1 : représentation schématique des champignons; A: fragment de mycélium; B: forme générale et développement d'un mycélium fongique. (Bousseboua, 2005).

Les thalles filamenteux peuvent être cloisonné ou siphonné. Ces derniers ne sont pas séparés par des cloisons transversales ; le thalle est dit : ceonocytique. Alors que les thalles cloisonnés par des cloisons appelés septa possèdent des perforations assurant la communication entre les cellules (Figure2).

Les caractéristiques morphologiques de ces microorganismes sont liées à leur substrat nutritif. La colonisation du substrat est réalisée par extension et ramification des hyphes (Bousseboua, 2005).

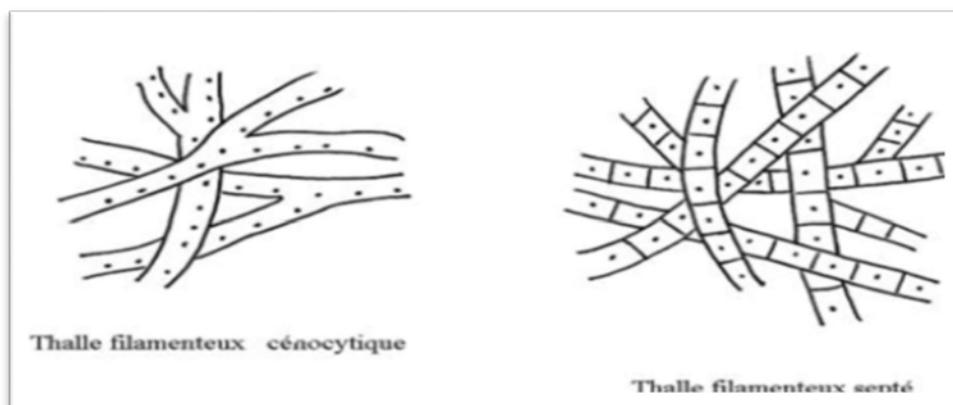


Figure2 : les structures de thalles filamenteux : hyphes ceonocytique, hyphe septé. (Nasraoui, 2015).

Les moisissures possèdent une paroi cellulaire à structure rigide. Celle-ci est formée par plusieurs couches, disposées les unes sur les autres. La paroi fongique est composée de 80% à 90 % de polysaccharides associés à des protéines, des lipides, des polyphosphates et des ions inorganiques. (Bousseboua, 2005). En effet, certaines espèces intègrent la cellulose dans leur paroi qui est en règle générale composée de chitine, structurée en micro-fibrilles

polymérisées, comme c'est le cas des ascomycètes, des basidiomycètes. Pour les autres, la chitine est remplacée par les mannanes et divers autres glucanes. (Bousseboua, 2005).

2.2 L'appareil reproductif

La croissance des moisissures se fait exclusivement au niveau de l'apex des hyphes : c'est une croissance apicale. Leur reproduction peut être asexuée ou sexuée :

2.2.1 Reproduction asexuée

A partir de la germination d'une spore disséminée dans un milieu favorable se développent des hyphes dans toutes les directions, jusqu'à former par leur ensemble un mycélium, plus ou moins important selon le milieu dans lequel il se trouve (Delarras, 2007).

Les spores asexuées sont produites par une mitose, suivie d'une division cellulaire et ces spores sont de plusieurs types dont les arthrospores (issues de la septation de la paroi cellulaire), les sporangiospores (formées dans le sporange à l'extrémité d'un hyphe), les conidiospores (produites à la périphérie des hyphes) et blastospores (produites par bourgeonnement de surface d'une cellule végétative) (figure 3). (Delarras, 2007).

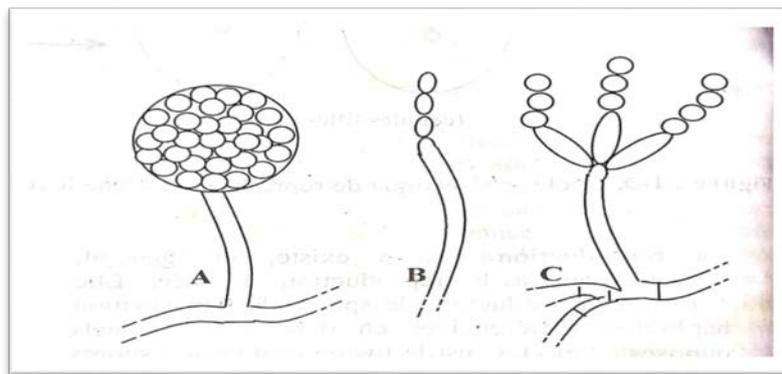


Figure3 : structure de formation de spores végétatives de moisissures. A : sporangiospores dans un sporange (*Mucor*), B : arthrospores (*Geotrichum*), C : conidiospores (*Penicillium*) (Bousseboua, 2005).

Chez la plupart des moisissures, toute fraction du mycélium utilisée pour inoculer un milieu et produire un nouveau thalle se fait par une simple multiplication végétative du mycélium qui se caractérise par l'envahissement du milieu. Cette situation peut s'observer sur

pain moisi ou des fruits avariés du fait de leur colonisation et de la croissance de moisissures contaminants (Delarras, 2007).

2.2.2 Reproduction sexuée

Par la formation de spores reproductrices sexuellement différenciées. Certaines espèces de champignons filamenteux, appelées auto-fertilisants, produisent des spores de sexe opposé à partir du même mycélium. Leur germination, puis à la suite de leur croisement, formera un nouveau mycélium par divers mécanismes.

Par exemple, dans les ascomycètes, le mycélium formé par des gamètes de signes sexuels s'oppose aux anthéridies avec noyau" + "et ascogones avec noyaux" - ". Dans l'ascogone les noyaux sont compatibles par paires, chacun sous forme d'hyphes, sans fusion. Ensuite, les noyaux formés par la méiose et 8 noyaux haploïdes donneront, et après une phase résultante, des asques avec des ascospores à l'extrémité des hyphes. Après germination des ascospores, les spores sont libérés ce qui engendrera un nouveau mycélium par le même processus, terminant ainsi l'évolution du cycle reproductif (Delarras, 2007).

3 Facteurs de développement des moisissures

Bien qu'elles soient relativement peu exigeantes un certain nombre de facteurs, nutritifs et environnementaux, doivent être réunis pour que les moisissures se développent. Les principaux facteurs de développement sont :

3.1 Les macroéléments

Les mycètes utilisent des matières organiques comme source de carbone et d'énergie. Ils absorbent ce carbone de manière saprophyte, symbiotique ou parasitaire.

Grâce à la glycolyse et au métabolisme aérobie, les moisissures assimilent des sucres facilement métabolisés tels que le glucose, le maltose, le saccharose et des polymères tels que l'amidon. Certains peuvent utiliser des fermentations à des taux bas d'oxygène et d'autres sont anaérobies.

Par ailleurs, tous les champignons filamenteux peuvent métaboliser les acides aminés et l'urée. La plus part d'entre eux utilisent l'ammonium. Aucun ne peut fixer l'azote atmosphérique. Les sources complexes d'azotes comme les peptides et les protéines ne sont

utilisables par les hyphes qu'après leurs destructions par les protéases en acide aminés. (Nicklin *et al.*, 2000).

3.2 Les sources minérales

La présence d'ions minéraux dans le milieu de culture est nécessaire pour la croissance de certaines espèces de champignons filamenteux. Il s'agit principalement de sulfates, de magnésium, de potassium, de sodium et de phosphore avec des concentrations plus ou moins variables selon les espèces. Des traces d'éléments tels que le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc et le molybdène, sont nécessaires pour la plupart des moisissures afin de produire des cytochromes, des pigments, des acides organiques, etc. (Nicklin *et al.*, 2000).

3.3 Facteurs physicochimiques

La croissance des moisissures ainsi que leur germination est affectée par des facteurs physico-chimiques dont certains sont importants.

3.3.1 Température

La température joue un rôle préférentiel dans le processus de croissance, elle est également impliquée dans la sporulation et la germination (Dendouga, 2006). La plupart des moisissures poussent bien entre 15°C et 30°C avec des températures optimales entre 20°C et 25°C. Leur croissance est généralement stoppée ou ralentie par la réfrigération à l'exception de *Cladosporium*, *Sporotrichum*. Ces dernières peuvent résister longtemps à la basse température allant jusqu'à -10 (-20) °C, espèces connues sous le nom de psychrophiles ou psychrotolérants. On remarque souvent leur présence dans les entrepôts frigorifiques (Davet, 1996 ; Botton *et al.*, 1999). Il existe également des moisissures capables de croître à 57 ° C, avec une croissance optimale à 25 °C, *Aspergillus fumigatus* étant un excellent exemple, l'espèce est connue sous le nom de thermotolérantes ou thermophile. (Tabuc, 2007).

3.3.2 Humidité

La quantité d'eau disponible dans le substrat et dans la zone environnante est un facteur clé pour initier la croissance des champignons filamenteux. La phase de germination nécessite plus d'eau que la phase de croissance. Il est admis qu'à partir d'une humidité relative

de 60%, les spores peuvent se réhydrater spontanément, d'où le risque de germination. Une fois la germination commencée, la croissance se poursuivra à une humidité relative inférieure à 60%. La croissance des moisissures ralentit si l'humidité relative s'arrête autour de 30%, la moisissure ne meurt pas, elle entre dans la phase d'attente de conditions favorables pour germer à nouveau (Basset et Laffont, 2011).

3.3.3 pH

La plupart des moisissures tolèrent une très large gamme de pH pour leur croissance (de 2 à 8,5) (Botton *et al.*, 1999). Leur pH optimal est généralement compris entre 4 et 6. Cependant, leurs adaptation est facile à un pH plus acide ou plus alcalin (Urbanek *et al.*, 1984 ; Delgado *et al.*, 2002).

3.3.4 Aération

Les champignons filamenteux sont très majoritairement des organismes aérobie, c'est-à-dire qu'ils ont un besoin impératif d'oxygène moléculaire pour croître mais à des concentrations variables selon les espèces et même parfois selon les différentes formes d'une même espèce (spore/ mycélium). Mais certaines moisissures sont anaérobie facultatives et il existe aussi quelques espèces de moisissures anaérobies qui ne tolèrent pas la présence d'oxygène et sont des hôtes naturels spécifiques du tube digestif mammifères (Bousseboua, 2005).

3.3.5 Lumière

La lumière favorise la maturation des conidies et la germination des spores. Les moisissures sont, généralement, indifférentes à l'action de la lumière. Cependant, certaines espèces ne peuvent pas s'éclairer et prospérer dans les endroits sombres ; En revanche, d'autres poussent sur des pentes de montagne ensoleillée en permanence ou dans des régions désertiques (Tabuc, 2007).

4 Critères d'identification des moisissures

L'identification des espèces fongique est basée sur les observations des critères morphologiques par des paramètres macroscopiques (aspects des colonies, leur revers, les

couleurs et la taille) et microscopiques (l'aspect des mycéliums, les spores, les phialides, les conidiophores...).

4.1 Les critères d'identification macroscopiques

- L'aspect des colonies : représente un critère d'identification important (les colonies peuvent être cotonneuses, duveteuses, laineuses, poudreuses, veloutées, ou granuleuses ; et parfois certaines colonies peuvent avoir une apparence glabre (l'absence ou pauvreté du mycélium aérien) selon les espèces observées (Diguta, 2010).
- Le relief des colonies : présente un aspect plat ou plissée et la consistance des colonies peut être variable (molle, friable, élastique ou dure) (Diguta, 2010).
- La taille des colonies : est variable en fonction du genre fongique donc soit petites colonies ou au contraire, étendues, ou envahissantes (Diguta, 2010).
- La couleur des colonies : c'est un élément très importante, les couleurs les plus fréquentes : blanche, crème, jaune, orange, rouge, bleue, vert, brun, noire. Les pigments peuvent être localisés au niveau du mycélium (*Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*) ou diffuser dans le milieu de culture (*Fusarium spp.*). (Diguta, 2010).

4.2 Les critères d'identification microscopiques

L'examen microscopique d'une colonie fongique repose sur une réalisation d'un étalement entre lame et lamelle, généralement observé à l'objectif 40 ; cet examen est suffisant pour mettre en évidence la plupart des éléments importants à l'identification (Tabuc, 2007).

L'ensemble des hyphes forment le thalle filamenteux ou le mycélium donc le thalle peut être septé ou siphonné (Tabuc, 2007).

Les spores peuvent être endogènes (produite à l'intérieure dans un sac fermé) ou exogènes (formé par bourgeonnement) (Tabuc, 2007).

Les spores peuvent être unicellulaires (*d'Aspergillus*), bicellulaires (*Trichothecium*), ou pluricellulaires (*Alternaria*) (Tabuc, 2007).

4.3 Les critères d'identification moléculaires

Les méthodes moléculaires permettent des identifications plus précises, plus fiables et plus exactes. Les méthodes de séquençage comparatif multilocus s'avèrent plus performantes que les méthodes de séquençage comparatif unilocus (28S ou ITS). La démonstration de l'intérêt des séquences des gènes codant les ARN ribosomiques pour les études phylogénétiques a permis d'affiner la distinction des groupes taxonomiques et des espèces chez les champignons. Les régions inter-géniques non transcrites de ces gènes se sont également avérées utiles pour la distinction des taxa. Les bases de données de séquences de référence sont riches, puisqu'à chaque description de nouvelles espèces les données de séquence des divers marqueurs sont générées (Carlotii, 2014).

Néanmoins, toutes les séquences ARNr 28S ou ITS1/ITS2 ne sont pas connues simultanément pour toutes les espèces fongiques. Les régions intergéniques ITS1-ITS2 combinées ont été proposées comme «code barre de la vie» pour les espèces animales, les plantes et les champignons. En effet, de nombreuses limitations ont été documentées pour l'identification des espèces fongiques, certaines espèces différentes pouvant présenter 100 % d'homologies avec l'un ou l'autre de ces marqueurs, voire les deux. La combinaison des deux régions ITS s'est avérée plus performante que l'utilisation de l'une ou de l'autre séparées (Carlotii, 2014).

Dans tous ces cas il s'avère nécessaire de recourir à d'autres marqueurs, pour différencier précisément les espèces au sein des genres. Ces autres marqueurs sont constitués par des gènes de ménage «House Keeping Genes» sur lesquels la pression de sélection est différente, et qui ont donc accumulé des mutations plus nombreuses pour des espèces ayant divergé plus récemment au cours de l'évolution. Ces méthodes moléculaires d'identification par séquençage comparatif restent onéreuses, en raison des investissements lourds. Elles sont par contre plus rapides que les méthodes classiques, s'appliquent à tous les champignons, même ceux ne sporulant pas (Carlotii, 2014).

Enfin, avec le développement des méthodes moléculaires d'amplification en temps réel (PCR-RT), des tests spécifiques de détection-identification directs sont disponibles pour certaines espèces particulièrement importantes (Carlotii, 2014).

5 Classification

La classification des champignons basés sur les modalités de reproduction ou de structure, sont classés dans le règne des Mycètes, Au sein Eucarya.

Leur règne contient deux divisions : Myxomycotina c'est un champignon visqueux dépourvu de filaments, et Eumycota c'est un vrai champignon c'est-à-dire filamenteux composé de trois groupes : Zygomycètes, Ascomycètes, Basidiomycètes. (Tableau 01) présente les principaux embranchements des moisissures et leurs caractéristiques (Nagwa, 2021).

Tableau 1 : comparaison entre les caractéristiques clés dans trois embranchements du règne des champignons, avec des exemples d'organismes. (Nagwa, 2021).

Embranchement	Caractéristiques	Exemple d'organisme
Zygomycètes	<ul style="list-style-type: none"> • Hyphes non cloisonnées. • Spores produites dans des sporanges. • Spores produites par reproduction sexuée ou asexuée. 	<i>Rhizopus nigricans</i> (moisissure du pain).
Ascomycètes	<ul style="list-style-type: none"> • Peut-être unicellulaire ou multicellulaire. • Hyphes cloisonnées par des septa. • Spores produites dans une structure en forme de sac appelée asque. • Spores produites par reproduction sexuée ou asexuée. 	<i>Penicillium</i> , levure
Basidiomycètes	<ul style="list-style-type: none"> • Hyphes cloisonnées par des septa. 	

	<ul style="list-style-type: none"> • Spores produites sur une structure microscopique en forme de massue appelée basides, située sous le « chapeau » d'un champignon. • Spores produites par reproduction sexuée (principalement). 	Champignon commun
--	--	-------------------

6 Tolérance des moisissures dans les milieux extrêmes

Dans leur environnement naturel, la plupart des moisissures sont des saprophytes et tirent des nutriments de la matière organique morte ou en décomposition. Bien que toute matière organique puisse devenir un substrat de croissance pour la moisissure, les conditions de croissance optimales varient d'une espèce à l'autre, chacune avec un degré d'adaptation différent à son environnement (Halwyn *et al.*, 2002).

Certaines moisissures nécessitent une humidité très élevée pour se développer, tandis que d'autres préfèrent un taux beaucoup plus faible. Certaines peuvent pousser sur des feuilles en décomposition, substance humide et facilement pénétrable, tandis que d'autres peuvent attaquer des matériaux plus ligneux, tels que le bois et même des matériaux animaux chitineux, tels que les cheveux et les ongles. De plus, la compétition inter espèces apportera des avantages aux moisissures les plus adaptables, faisant référence au concept de niches écologiques spécifiques pour optimiser la croissance de chaque type de moisissure (Grant *et al.*, 1988 ; Malloch, 1982 ; Robbins *et al.*, 2000).

Les spores peuvent résister à des conditions extrêmes telles que la congélation, les processus de digestion et les grandes sécheresses (tableau 01). Cette résistance aux conditions environnementales peut varier considérablement entre les espèces, mais certaines espèces peuvent s'adapter à presque à tous les climats et conditions extrêmes (Halwyn *et al.*, 2002).

Tableau 2: aperçus de degré de résistance des spores fongiques. (Halwyn *et al.*, 2002).

Conditions environnementales	Seuil de résistance	Durée de la viabilité	Exemple d'espèces concernées
Chaleurs très élevées	90C° (feux de forêt)	Quelques mois	Ascospores de <i>Byssochlamyces</i>
Froids intense	Congélation	Un hiver	Plusieurs espèces du nord
Sécheresse de l'air ambiant	±0% d'humidité relative	Semaine à année	La majorité de genre de l'environnement intérieur : <i>Eurotium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> .
Présence de l'humidité dans le milieu sur lequel se dépose les spores	0 à 50% de l'humidité	Jusqu'à des années	<i>Eurotim Sp.</i>
	+de 50% de l'humidité	A ces taux les spores devraient germer dans les cas contraires	Toutes les espèces

6.1 L'état des champignons filamenteux dans le sol

L'étude microscopique du sol intact, de ses suspensions aqueuses ou encore de coupes minces ou de sections polies permet de constater que les Champignons filamenteux s'y rencontrent à l'état de mycélium et d'organes de propagation ou de conservation que l'on peut désigner sous le nom de « spores » (Dommergues et Mangenot, 1970).

Les mycéliums du sol sont tantôt hyalins, continus (Zygomycètes ou Oomycètes) ou septes (Ascomycètes, Basidiomycètes, Deutéromycètes) tantôt fuligineux (noirâtre). Du point de vue de leur mode de colonisation du sol, Hepple et Burges (1956) ont divisé le comportement mycélien en plusieurs catégories. Du point de vue des modèles de colonisation du sol. Nous en retiendrons trois : dans le type *Penicillium*, les particules organiques sont

envahies par des hyphes densément enchevêtrés, produisant un grand nombre de conidies, mais il est difficile de s'étendre au sol adjacent. Dans le type *Mortierella ramanniana*, le mycélium reste encore localisé au voisinage du fragment nourricier ; cependant, il peut s'étendre sur une certaine distance puis disparaître après avoir produit un grand nombre de chlamydospores, qui seront la seule trace de son intervention temporaire. Dans le type « Basidiomycètes », qui ne se limitent pas à ces Champignons, le mycélium rayonne à partir des fragments colonisés, formant un chapelet d'hyphes ou des rhizomorphes agrégés, qui peuvent s'étendre sur une distance considérable (Dommergues et Mangenot, 1970).

- ✓ Les fructifications : elles sont rarement observées dans le sol, et dans le cas des sporanges ou des conidies muqueuses, leur diamètre est d'au moins 200 microns (Warcup, 1965). Ces derniers peuvent également se développer de façon basique lors de la phase de croissance active du mycélium puis se lyser avec eux (Dommergues et Mangenot, 1970).

Les conidies libérées par la destruction du thalle sont dispersées par le mouvement des animaux de taille moyenne et par l'infiltration des eaux de pluie, leur nombre varie donc d'un point à l'autre sans accumulation locale, et différentes espèces donc se mélangent.

Les plus grosses fructifications se trouvent parfois sous terre (Endogonacées, champignons endogés : Tubérales, Gastéromycètes) ; le plus souvent ils sont superficiels : Pezizes et autres grands Ascomycètes, Agaricales.

- ✓ Les spores du sol appartiennent à plusieurs types, en fonction de leur origine et de leur importance biologique. Certains d'entre eux sont des organes reproducteurs, et leur efficacité est très courte : cela prend des dizaines de minutes dans les zoospores des Oomycètes, et plusieurs jours dans les sporangiospores des Mucorales ou les conidies de certains Champignons imparfaits (Dommergues et Mangenot, 1970).

7 Leur Application dans les différents domaines

Les moisissures présentent un rôle primordial dans divers domaines tels que l'industrie alimentaire, pharmaceutique et médicale, ainsi que le secteur de contrôle biologique.

7.1 Alimentaire

Les moisissures sont des producteurs importants d'acides organiques comme l'acide lactique, l'acide citrique et divers autres produits. Certaines moisissures sont utilisées pour la synthèse d'enzymes telle qu'amylases, rénine, cellulase, catalase...etc. (Nicklin *et al.*, 2000).

7.2 Pharmaceutique

La production industrielle en métabolites ayant une importance commerciale. Ce sont des antibiotique tel que la pénicilline produite par le genre *Penicillium* et la Céphalosporines produite par *Cephalosporium*. (Nicklin *et al.*, 2000).

7.3 Médical

La plus part des moisissures sont utilisées pour la synthèse de médicaments notamment d'immunosuppresseurs tels que ciclosporines importants en médecine (Nicklin *et al.*, 2000).

7.4 La lutte biologique

Les propriétés pathogènes naturelles des moisissures peuvent être exploitées par les humains pour lutter contre les populations de mauvaises herbes et les insectes nuisibles. Ils sont capables de parasiter des plantes. Ce processus s'appelle contrôle biologique ou la lutte biologique et peut être une alternative aux pesticides chimiques. (Nicklin *et al.*, 2000).

Chapitre 02

L'agriculture

1 Généralités

L'agriculture biologique est définie comme un système de gestion de la production agricole qui combine des niveaux élevés de biodiversité avec des pratiques environnementales qui préservent les ressources naturelles en intégrant des normes rigoureuses en faveur des animaux. Elle répond à la demande croissante des consommateurs pour des produits naturels, tout en contribuant à l'environnement dans le cadre de la durabilité rurale.

Le terme « agriculture biologique » ne peut s'appliquer qu'aux catégories de produits suivantes :

- Produits non transformés : légumes, céréales fruits, coton, fleurs, animaux, œufs, lait....
- Produits transformés pour l'alimentation humaine : fromage, pain plats cuisines....
- Alimentation destinée aux animaux : tourteaux de soja bio... (Youmatter, 2019).

2 L'évolution des problèmes phytosanitaires

2.1 Avant les pesticides chimiques de synthèse

Les agriculteurs sont toujours confrontés à la concurrence de nombreux organismes vivants. Les plantes cultivées fournissent, en effet, une nourriture abondante pour divers animaux. Plus d'insectes interfèrent également. De plus, ces plantes sont sujettes à des maladies causées par l'action de champignons, bactéries, virus, etc., qui les détruisent ou réduisent considérablement leur rendement. Enfin, certaines plantes provoquent spontanément une compétition importante qui conduit à recevoir le nom de «mauvaise herbe» (Biliotti et Brader, 1975).

L'image de l'agriculture traditionnelle a été en partie modelée par la demande face aux concurrents humains. Ainsi, par exemple, le rôle du labourage dans diverses méthodes agricoles est extrêmement importante pour les mauvaises herbes, et la traditionnelle «rotation des cultures» a été établie en partie pour éliminer les mauvaises herbes les plus gênantes et a

contribué à réduire l'importance de certains ravageurs. Ainsi s'était-il développé, empiriquement, un ensemble de pratiques qui permettaient à l'agriculteur de "vivre avec" ses concurrents dans le cadre d'un certain équilibre plus ou moins stable et satisfaisant avec les divers éléments du milieu naturel, et qui lui assuraient une production suffisante pour ses besoins (Biliotti et Brader, 1975).

Les méthodes utilisées sont toujours très diverses ; Souvent, physique (récolte directe à la main ou grâce à divers moyens mécaniques etc...) ou chimique (utilise un mélange de savon et d'huile de vidange de voitures) selon les méthodes disponibles. Insecticides efficaces de première génération constitués de dérivés végétaux et de sels minéraux tandis que le "Bordeaux blend" est largement utilisé pour protéger la vigne en introduisant les racines de porte-greffe américain, avec du soufre, prototype du premier fongicide (Biliotti et Brader, 1975).

2.2 L'utilisation des pesticides chimiques de synthèse

Il est certain que depuis leur utilisation, les produits phytosanitaires de synthèse ont joué un rôle important dans l'augmentation globale de la production agricole. Ils ont donné l'impression qu'ils étaient capables de résoudre tous les problèmes et, tandis que leur emploi se généralisait et que le poste des dépenses de «traitements» augmentait dans l'économie de la production, on avait corrélativement tendance à attacher moins d'importance à l'étude des problèmes phytosanitaires eux-mêmes. Cette attitude a prévalu aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement. Les conséquences de cette attitude n'ont pas tardé à se manifester, on peut dire, schématiquement, que les problèmes phytosanitaires sont plus nombreux et plus compliqués que jamais, que le coût des mesures de protection s'est considérablement accru, que la pollution du milieu a progressé au point d'alerter les toxicologues et que les objectifs de la «révolution verte» n'ont pas été atteints. (Biliotti et Brader, 1975).

Tout ceci était prévisible mais les mises en garde des spécialistes n'ont été prises en considération que lorsque les conséquences sont devenues évidentes et nous devons maintenant mettre en place d'urgence un système plus équilibré de protection des plantes. Ses caractéristiques principales résulteront du souci d'éviter la répétition des erreurs commises et de remédier aux conséquences avaient entraînées, que nous passerons rapidement en revue (Biliotti et Brader, 1975).

2.3 Les inconvénients "Phytoprotecteurs" de l'emploi exclusif des pesticides chimiques

Au niveau strictement phytoprotecteur, les inconvénients de l'utilisation exclusive et systématique des pesticides chimiques de synthèse sont progressivement apparus et peuvent être classés sous deux rubriques :

2.3.1 Les races résistantes

Dans la lutte contre les insectes nuisibles, il a été constaté, dans de nombreux cas, que pour obtenir le même résultat, la dose de produit utilisé devait être augmentée chaque année, jusqu'au jour où le ravageur est devenu totalement insensible. Il a été montré qu'il présentait un phénomène d'acquisition de résistance transmise à la progéniture et que le phénomène pouvait être compliqué par l'affichage de résistances croisées. La manifestation de cette capacité inattendue (au moins dans un premier temps) chez les ravageurs a conduit à une augmentation des ressources utilisées puis au changement des principes actifs utilisés, à un rythme de plus en plus rapide. Le résultat de ces pratiques étant une augmentation significative du prix de revient de la protection des végétaux. F.A.O (*Food and Agricultural Organisation*), a été amené à créer un groupe d'experts qui traite des méthodes de démonstration de la résistance. Et les moyens d'y remédier rapidement ; la liste des espèces recensées dans le monde est déjà longue. Les cas de résistance les plus spectaculaires et les plus gênants concernent les acariens dans les vergers et surtout dans les cultures en serre. Mais d'autres ravageurs deviennent aussi résistants, plus vite que la fréquence des applications, les pesticides sont excellents (Biliotti et Brader, 1975).

2.3.2 Les ravageurs nouveaux

Dans tous les systèmes de culture où l'utilisation de pesticides a été généralisée, des dommages ont été observés en raison de ravageurs dont l'action n'a pas encore été démontrée. Le cas le plus connu en Europe Occidentale est celui des acariens qui sont devenus des ravageurs majeurs des vergers, alors qu'ils ne causaient auparavant que des dégâts négligeables et occasionnels. Dans le monde, le cas le plus connu est celui de la culture du coton : dans chaque zone de production, le nombre d'animaux à contrôler est passé de quelques espèces à une quinzaine, ce qui a conduit à l'apparition de résistances aux

médicaments. Le cout de la lutte ou l'agriculture n'est plus rentable a augmenté et diminué dans plusieurs secteurs (en particuliers en Amérique centrale). (Biliotti et Brader, 1975).

3 Les maladies phytopathogènes

3.1 Les grands groupes des champignons pathogènes

Les anomalies phénotypiques par rapport aux normes attendues sont appelées symptômes. La pathogenèse représente une série de processus d'induction de la maladie qui conduisent à la manifestation de symptômes. Celles-ci définissent essentiellement les changements de couleurs, les organismes, les structures anatomiques et les changements métaboliques. Distinguer deux principales maladies phytopathogènes : les maladies parasitaires et les maladies non parasitaires (Semal et Lepoivre, 2003).

- ❖ Les maladies non parasitaires : elles sont causées par des conditions écologiques. Il s'agit de problèmes liés aux conditions climatiques, aux phénomènes de pollution ou aux problèmes nutritionnels et à la toxicité des pesticides (Paul et Impens, 2003)
- ❖ Les maladies parasitaires : ce sont des maladies causées par l'action d'agents pathogènes (virus, phytoplasmes, bactéries, champignons, protozoaires, les phanérogames parasites, etc...). Ces parasites sont généralement infectieux car ils envahissent l'hôte en se propageant des plantes infectées aux plantes saines et s'y reproduisent et sont infectieux. A ce jour, Les champignons ont causé près de la moitié des maladies connues des plantes cultivées (Lepoivre, 2003).

3.2 Les grands groupes des champignons phytopathogènes

3.2.1 Les champignons à plasmode (Plasmodiophoromycota)

Sont des organismes semblables à un champignon qui n'a pas de parois pendant une partie de son cycle de croissance. Leur thalle est constitué d'un plasmode. Ce sont des parasites des organes souterrains et des tiges des plantes terrestres, et provoquent souvent une hypertrophie une hyperplasie des tissus infectés. Trois genres ont des effets pathogènes sur les plantes : *Plasmodiophora*, *Polymyxa* et *Spongospora*. (Aouar, 2012).

3.2.2 Les champignons à thalle unicellulaire ou filamenteux cœnocytiques

Ces espèces se répartissent en 3 phylums :

3.2.2.1 Oomycota : sont caractérisés par un thalle constitué d'une masse de filaments ramifiés non cloisonnés. Ils produisent des zoospores biflagellées et sont responsables de :

- Fonte des semis : causée par *Pythium spp* (Aouar, 2012).
- Pourritures radiculaire : par exemple dans la pomme de terre, ces pourritures sont causées par *Phytophthora infestans* (Aouar, 2012).
- Mildious : Peronosporaceae, parasite obligatoire, son mycélium se développe entre les cellules du tissu infecté et forme des suçoirs, responsable de divers mildious (Aouar, 2012).
- Rouilles blanches : causés par Albuginaceae, (parasites obligatoires) (Aouar, 2012).

3.2.2.2 Chytridiomycota : il constitue un phylum avec une classe unique, appelé les Chytridiomycètes. Leur thalle est un mycélium ramifié et produisent des zoospores uniflagellées. Deux genres (*Olpidium* et *Synchytrium*) regroupent les parasites des plantes supérieures et peuvent également être des vecteurs de maladies virales (Aouar, 2012).

3.2.2.3 Zygomycota : sont caractérisés par l'absence des zoospores, trois ordres présentent un intérêt agronomique : Mucorales, Entomophthorales et Glomales (Aouar, 2012).

3.2.3 Ascomycota

3.2.3.1 Les Ascomycètes : ce sont des champignons à mycélium cloisonné, dont les spores sexuées se forment sur des asques. Les principaux taxons appartenant à ce phylum sont : Archiascomycètes, Pyrénomycètes, Loluloascomycètes et Discomycète (Aouar, 2012).

Les principaux agents pathogènes qui entre dans cette catégorie sont :

- Les agents responsables de déformations d'organes : ils appartiennent à l'ordre des Taphrinales, et consistent en un seul genre *Taphrina*. Ce sont des parasites de l'appareil aérien et des fruits de plantes supérieures qui peuvent provoquer des déformations dues à l'hypertrophie et l'hyperplasie des cellules (cloques de feuilles, balais de sorcière des rameaux et les pochettes des fruits) (Aouar, 2012).
- Les agents des blancs ou oïdium : l'oïdium ou les blancs affectent presque toutes les espèces végétales. Les champignons impliqués sont regroupés dans l'ordre des Erysiphales, qui sont

des parasites obligatoires qui se développent principalement sur les feuilles, les boutons et les fruits (Aouar, 2012).

- Les agents de chancres : espèces pathogènes de *Cytospora*, *Dothichiza*, *Hypoxyton* et *Nectria*, qui pénètrent généralement par les plaies (Aouar, 2012).

- agents responsables de l'attaque des fruits : les plus destructeurs sont :

- L'ergot des graminées : causé par *Claviceps purpurea*, le champignon se développe surtout sur les épis de seigle.

- La tavelure : c'est l'une des maladies les plus dévastatrices en climats tempéré humide. Par exemple, les tavelures du poirier et du pommier sont causées respectivement par *Venturia pirina* et *Venturia inaequalis*. Ces champignons poussent sur les feuilles et les fruits en induisant la formation d'une matrice sous-cutanée au site d'infection et en se transformant en point noirs à la surface (Aouar, 2012).

- Les pourritures de fruits : généralement, parmi les champignons pathogènes à l'origine de tels symptômes, certaines espèces, comme *Botrytis cinerea*, n'attaquent le fruit qu'à partir d'une base nutritive constituée d'un organe sénescant qu'ils colonisent. (Aouar, 2012).

- Les maladies vasculaires : elles provoquent généralement une atrophie des organes. Les sections transversales des branches montrent souvent un brunissement du contenant. Des symptômes de feuilles asymétriques sont souvent observés. Les principaux champignons responsables de ces maladies sont *Verticillium dahliae* et *Fusarium*. Ensuite, nous parlons de verticilliose (exp : causant la verticilliose de la tomate et du piment) et de fusariose vasculaire, tel que *Fusarium oxysporum f. sp. Albedinis*. Ce dernier induit la maladie du bayoud chez le palmier dattier (Aouar, 2012).

3.2.4 Les Basidiomycota

Ce sont des champignons caractérisés par la production de spores haploïdes mononucléaires, appelées basidiospores, à l'extérieur de sporocystes appelés basides. Sur le plan de la systématique, on distingue : les Urédinomycètes, les Ustilaginomycètes, les Hyménomycètes (Nasraoui et Lepoivre, 2003).

- Les Urédinomyètes : ce sont des champignons parasites responsables d'oxydation. Ces rouilles ont souvent un cycle de vie complexe, apparaissant alternativement chez deux hôtes différents. (Nasraoui et Lepoivre, 2003).
- Les Ustilaginomyètes : c'est un groupe de champignons qui causent des maladies connues sous le nom de charbons ou caries, produisant des grappes caractéristiques de téliospores noires dans les organes floraux ou les feuilles (Nasraoui et Lepoivre, 2003).
- Les Hyménoomyètes : ce sont des Basidiomycota typiques caractérisés par des basides non cloisonnées disposées en hyménium dans un appareil fructifère appelé basidiocarpe. Certaines formes anamorphes d'Hyménoomyètes sont caractérisées par l'absence de sporulation comme *Rhizoctonia solani*. Les principaux groupes de maladies causées par les Basidiomycètes sont les caries dentaires et le charbon nu et couverts, caractérisés par la formation des téliospores (Nasraoui et Lepoivre, 2003).

4 L'agriculture biologique

4.1 Principes généraux

En agriculture biologique, la performance technique des systèmes de culture repose avant tout sur la prévention des maladies, le désherbage et le bilan azoté du système, en utilisant des plantes permanentes et / ou des engrais verts. L'absence de mesures de protection par des moyens chimiques et / ou des produits génétiquement modifiés favorise le développement de différentes solutions. La compétition des mauvaises herbes et la carence en azote présentent deux facteurs limitant majeurs de la production céréalière, entraînant des limitations de rendement de 15 à 60%. De même, la croissance significative des cultures biologiques présente un intérêt pour les mesures de lutte naturelle contre les ravageurs et les maladies. (Aubertot *et al.*, 2017).

4.2 Les méthodes de lutte

Ces méthodes permettent un désherbage tout au long de l'année, en particulier après l'amélioration des outils de désherbage et la détermination du moment et des conditions de migration. De nombreuses recherches se sont concentrées sur le développement de désherbants mettant en évidence le rôle essentiel que joue l'application dans le succès de la technique. Le contrôle des vivaces et / ou de certaines mauvaises herbes est un enjeu majeur

en agriculture biologique, en particulier dans les rotations semencières à court terme. Les graminées alternées et à germination profonde sont moins affectées par le travail du sol. Leur contrôle ne peut être garanti qu'avec du blé semé à de larges intervalles. De leur côté, les vivaces sont contrôlées d'une certaine manière. Lutte antiparasitaire et fongique avec des produits naturels Concernant la lutte antiparasitaire, la réglementation européenne autorise l'utilisation de substances d'origine végétale et les principales sont la roténone et les pyréthrinés pour agir sur certains insectes nuisibles. Leur manque de sélectivité rend leur utilisation dangereuse pour les sous-populations. De plus, leur efficacité contre les punaises de lit est largement remise en question et une évaluation des risques liés à la pulvérisation de ce produit est en cours. L'utilisation de répulsifs et / ou de fongicides d'origine naturelle est encore rare dans la production céréalière ; La pulvérisation doit être fréquente en raison de son efficacité limitée. (Aubertot *et al.*, 2017).

5 Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte

La question de la durabilité des méthodes de lutte contre les ravageurs implique tous les outils contre les ravageurs. Ces instruments incluent certaines résistances végétales aux bio-agresseurs et la plupart des pesticides. L'histoire de l'agriculture mondiale regorge d'exemples où l'utilisation initiale de ces outils s'est traduite par des résultats prometteurs, des succès significatifs mais temporaires et des échecs à des degrés divers. Lutter contre les bio-agresseurs est une question à la fois générique et importante. Adaptation de la population à des méthodes de contrôle documentées pour la lutte chimique contre les mauvaises herbes, les champignons, les bactéries et les insectes. En particulier, en France, la résistance aux fongicides variait dans de nombreuses populations de phytopathogènes : *Tapesia yallundae* / triazoles, *prochloraz* ; *Blumeria graminis* et *B.hordei* / triazoles, *morpholines-pipéridines-spirocétalamines*, *strobilurines*, *cyprodinil*, *quinoxifène* ; *Septoria tritici* /*strobilurines*, *triazoles* ; *Helminthosporium teres* /*triazoles* ; *Rhynchosporium orthosporum* /*triazoles* ; *Sclerotinia sclerotiorum* / *benzimidazoles*. De même, le contrôle des cultures OGM avec différentes espèces d'insectes peut conduire à l'émergence de résistances dans les populations cibles. Enfin, la résistance acquise par l'amélioration génétique peut également être efficace, parfois pendant quelques années, contre les champignons, les bactéries ou les virus. Par conséquent, il semble nécessaire de développer des stratégies pour les accidents qui contournent les méthodes de contrôle des populations de ravageurs et préservent l'efficacité des méthodes contre les phytopathogènes (Aubertot *et al.*, 2017).

Concernant l'émergence de résistance à la famille moléculaire utilisée pour la protection phytosanitaire des cultures, les recommandations consistent généralement à limiter la pression sélective exercée par alternance et/ou le mélange de molécule. De même, pour la résistance variétale, en plus de la stratégie de construction de matériel génétique, trois grands types de stratégies ont également été proposés pour maintenir la résistance de la variété aux organismes phytopathogènes. Ces stratégies comprennent généralement :

1) l'ajustement de la proportion de variété résistante dans une zone donnée, sans tenir compte de la distribution des variétés.

2) L'Utilisation d'associations variétale, ou 3) l'alternance de la résistance dans le temps et dans l'espace. Comme le montrent ces exemples, toute méthode de contrôle qui exerce une forte pression sélective sur la population cible (comme le contrôle chimique ou l'utilisation de l'impédance électrique totale) perd généralement son efficacité à l'usage. Cependant, la combinaison de méthodes de lutte génétiques, culturales, biologiques, physiques, et chimiques, permettrait de maintenir l'efficacité des éléments de contrôles. Certes efficaces mais vulnérables aux attaques du fait de la pression sélective qu'ils exercent. Dans le cas de la gestion de la résistance de l'herbe noire (*Alopecurus myosuroides*) à l'aryloxyphénoxypropionate (fops) en ajustant l'ensemble du système de culture, cela a été spécifiquement démontré par l'expérimentation (Aubertot *et al.*, 2017).

Chapitre 03

La lutte biologique

1 Historique de la lutte biologique dans le monde

La première utilisation référencée de lutte biologique a été effectuée par les Chinois, dans les environs de l'an 304 avant Jésus-Christ. Dans les vergers d'agrumes, les fermiers utilisaient des fourmis tisserandes (*Oecophylla smaragdina Fabricius*) indigènes qui consommaient une variété de ravageurs pour protéger les fruits. Comme les fermiers favorisaient également la dispersion de ces fourmis en installant des tiges de bambou entre les arbres, il s'agissait de lutte biologique à la fois d'augmentation et de protection (Jourdeuil *et al.*, 1991).

Des recherches sur les prédateurs, parasitoïdes et maladies s'attaquant aux ravageurs jalonnent l'histoire mais c'est surtout vers la fin du XIX^{ème} et au XX^{ème} siècle que les principales découvertes et expériences se font. En 1868, la cochenille australienne (*Icerya purchasi Maskell*), un insecte parasite qui suce la sève des arbres d'agrumes, a été accidentellement introduite en Floride. Suite aux dommages considérables à l'industrie et en l'absence d'autres moyens de lutte, un entomologiste introduisit une coccinelle naturellement prédatrice (*Rodolia cardinalis Mulsant*) de la cochenille en Australie, ce qui mena au premier grand succès de la lutte biologique classique. Les scientifiques croient alors que la lutte biologique est la solution à tous les problèmes et de nombreux insectes sont introduits en Amérique de façon maladroites, sans études préliminaires sérieuses ni période de quarantaine. Heureusement, aucun de ces organismes n'a causé de tort sérieux à l'environnement. (Jourdeuil *et al.*, 1991).

La lutte biologique est dans l'air au Canada depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Les premiers parasitoïdes exotiques destinés à la lutte antiparasitaire arrivent en 1882 pour lutter contre un ravageur des groseilles et du cassis. Des œufs de mouche à scie du groseillier (*Nematus ribesii Scopoli*) infestés de trichogrammes (minuscules guêpes parasitoïdes) sont importés de l'Europe par l'état de New-York pour stopper ses dommages (Jourdeuil *et al.*, 1991).

Au Québec et en Ontario, depuis 1984, le Bt (*Bacillus thuringiensis*) est le seul produit qui est recommandé pour l'usage en forêt contre la tordeuse et d'autres insectes, soit certains lépidoptères, diptères et coléoptères, selon la variété de Bt. (Jourdeuil *et al.*, 1991).

Ainsi, en 1986, l'Ontario décide de bannir l'utilisation de pesticides sur les forêts.

Une telle initiative aurait pu avoir de graves impacts sur la forêt mais elle a plutôt incité la recherche sur le Bt et la production à grande échelle de trichogrammes contre la tordeuse de l'épinette (*Choristoneura sp.*) en créant un marché important (Jourdeuil *et al.*, 1991).

2 Définitions

2.1 La lutte biologique

La lutte biologique « *biological control* ou *biocontrol* », c'est le contrôle d'un ravageur par un ennemi naturel, il existe dans la plupart des écosystèmes. Peut être utilisée volontairement, en agriculture, entre autres, remplacer les pesticides traditionnels (Rouag, 2017).

La lutte biologique consiste à utiliser des organismes pour limiter la pullulation et /ou la nocivité de divers ennemis naturels des cultures (rongeurs, insectes et acariens, nématodes, phytopathogènes, mauvaises herbes). Elle est utilisée contre les agents pathogènes humains ou leurs vecteurs (champignons contre *trypanosoma cruzi*, bactéries et champignons contre les moustiques). Elle repose sur la relation naturelle entre individus ou entre espèces. Les organismes utilisés comme agents de contrôle sont des « auxiliaires » humains (Lefort, 2010). En dépit de nombreux succès, le bien-fondé de la méthode de lutte biologique est pourtant aujourd'hui discuté, tant en raison d'un taux de réussite jugé insuffisant par certains, que des risques biologiques encourus par la manipulation des complexes parasitaires (Rouag, 2017).

2.2 La lutte conventionnelle

C'est-à-dire la lutte avec les pesticides. Ces derniers sont définis comme étant des produits chimiques visant à détruire les ravageurs et autres organismes indésirables. Les pesticides, tel que mentionné précédemment, ont pour principal but d'éradiquer complètement le ravageur visé.

Les pesticides sont nommés selon l'organisme visé : insecticides contre les insectes, fongicides contre les champignons, herbicides contre les mauvaises herbes, etc (Lambert, 2008).

2.3 La lutte intégrée

La lutte intégrée est une stratégie multidisciplinaire de lutte des ravageurs, qui comprend diverses approches, telles que la lutte biologique, les méthodes de culture et utiliser les pesticides chimiques à bon escient et de manière limitée. Cette méthode considère l'écosystème dans son ensemble, dont les interactions entre les organismes. Le but ultime est de réduire les dommages aux cultures économiquement, avec le moins de menaces à l'environnement et à la santé humaine possible. (Lambert, 2008).

3 Objectif et importance

3.1 Objectifs

Remplacement total ou partiel des pesticides chimiques utilisés en agriculture et en foresterie. Par conséquent la lutte biologique n'est pas l'agriculture biologique, l'agriculture biologique nécessite une production sans intrants chimiques. Le contrôle biologique peut être une partie importante d'un système de production intégré ou biologique (Lefort, 2010).

3.2 Importance

En 2003, les agents de lutte biologique et des pesticides biologiques représentent 1,7 % du marché mondial des pesticides. En 2005, il était de 2,6 %. Et atteint 4,4 % en 2010. 10 % de croissance annuelle la vraie partie qui peut être rapportée par les médias connu pour représenter 10 à 15% du marché mondial. Rechercher tester et en permanence de nouveaux agents inscrit (Lefort, 2010).

4 Type de lutte biologique :

La lutte biologique peut être divisée en trois catégories bien distinctes : classique, par augmentation et par protection.

- a) La lutte biologique classique, ou lutte par introduction-acclimatation, y compris l'introduction de nouvelles espèces dans l'environnement pour contrôler les populations de ravageurs des cultures.

- b) La lutte biologique augmentative : Cela comprend l'augmentation de la taille des populations d'ennemis naturels, par le biais de grands lâchers (lutte inondative) ou de petits lâchers, et l'aide à l'établissement, la reproduction et la colonisation de zones spécifiques en petite quantité, l'auxiliaire devant s'établir, se multiplier et coloniser une zone donnée (lutte inoculative).
- c) La manipulation de l'environnement favorise les effets bénéfiques des espèces indigènes d'ennemis naturels. Selon la définition qui a déjà retenue, la lutte autocide basée sur le principe de l'introduction d'un grand nombre de mâles stériles dans les populations naturelles fait également partie intégrante de la lutte biologique. En revanche, l'utilisation de produits chimiques extraits de plantes (tels des insecticides d'origine végétale) ou de micro-organismes (tels les formulations de *Bacillus thuringiensis* ne contenant que l'exotoxine du Bt et non plus des bactéries vivantes) ne peut être utilisée comme méthode de lutte biologique au sens strict : il s'agit de bio-pesticide (Lambert, 2008).

Quatre étapes sont nécessaires pour développer des méthodes de lutte biologique contre les ravageurs :

- 1) étudier la biologie du ravageur.
- 2) étudier la biologie des ennemis naturels des ravageurs et développer des produits qui répondent aux besoins des laboratoires ;
- 3) mettre au point une production répondant au besoin des expérimentations tant au laboratoire qu'en conditions naturelles ;
- 4) utiliser des tests sur le terrain pour vérifier l'expérience du laboratoire (Aubertot *et al.*, 2017).

5 Mécanisme d'action

La protection conférée par les microorganismes de lutte biologique repose sur un ou plusieurs mécanismes d'action tels que la compétition (pour éléments nutritifs, l'oxygène, l'espace), l'antibiose, le parasitisme, la diminution de l'agressivité du pathogène et l'induction de la résistance chez la plante. L'étude de ces mécanismes d'action est une étape importante dans le développement de la lutte biologique.

5.1 Antibiose

Il s'agit de la sécrétion d'antibiotiques par les microorganismes. Certains métabolites peuvent interférer avec la germination et la croissance, formation de mycélium et/ou de spore d'agents phytopathogènes. D'autres entraînent la libération de composés cellulaires suite à la perturbation de la perméabilité cellulaire. L'antibiose est le mode d'action le plus étudié chez les agents de lutte biologique. Ces antibiotiques vont ralentir ou arrêter la croissance de l'agent pathogène. Amortissement du coton causé par *Pythium ultimum* il est contrôlé en recouvrant les graines de la souche Pf 5 de *Pseudomonas fluorescens*. La souche produit un antibiotique, la polyulutérine. Par conséquent, l'amortissement est réduit de manière significative également en utilisant ce *Pseudomonas* comme agent de revêtement grâce à l'utilisation d'antibiotiques purifiés (Aouar, 2012).

5.2 Compétition

La concurrence qui est exprimée non seulement pour les nutriments mais aussi pour la colonisation de la racine. La compétence nutritionnelle est particulièrement violente dans le sol, ce qui est un environnement inquiétant où les microorganismes sont intrinsèquement préservés c'est la contribution de la matière organique et la libération de dépôts racinaires libérée par le système racinaire permettant l'activation des microorganismes dans la répartition des plantes constitue la contribution de la matière organique. Seuls les microorganismes riches plus compétitifs peuvent bénéficier de cet apport nutritif et essayer de coloniser les racines des plantes. La compétence nutritionnelle est l'un des modes de travail des souches non pathogènes de *Fusarium oxysporum* mais aussi *Trichoderma* spp, et des *Pseudomonas* spp. (Alabouvette, 2013).

5.3 Parasitisme

Ce mécanisme de lutte consiste en une interaction directe entre deux microorganismes, dans laquelle le tissu vivant d'un micro-organisme est la base nutritionnelle de l'autre (Helluy et Holmes, 2005). Elle implique l'invasion de cellules pathogènes par des microorganismes antagonistes (Corbaz, 1990). L'agent antagoniste utilisera des enzymes lytiques telles que la glucanase, la chitinase et le lysozyme pour dégrader la paroi du pathogène. Valueva et Mosolor (2004) ont montré que les enzymes utilisées par les antagonistes sont généralement mélangées ou en synergie avec des antibiotiques. Par exemple, il a été démontré que les hyphes de l'agent pathogène *Rhizoctonia solani* et les spores de l'agent pathogène

Cochliobolus sp., peuvent être perforées dans le sol par des myxobactéries du genre *Polyangium* et des amibes *vampyrellides*. Cette dégradation entraîne une diminution de la population des agents pathogènes. Certains actinomycètes produisent également la chitinase et la glucanase pour dégrader les parois de *Fusarium oxysporum* (El- Tarabily et al., 2000 ; Sabaou et al., 1998 ; Errakhi, 2008).

5.4 Induction des systèmes de résistance de la plante hôte

La lutte biologique des micro-organismes peut induire une résistance induction systémique (ISR) dans la plante hôte, qui peut provoquer la future invasion d'agents pathogènes (Jijakli, 2003). L'induction des systèmes de résistance chez la plante a été démontrée pour la première fois par Kempe et Sequira (1983). Ils ont remarqué que le pré-traitement avec des bactéries peut protéger tubercules de pomme de terre infectés par *Pseudomonas solanacearum*.

Les microorganismes antagonistes peuvent être occupés par la même niche écologique que le pathogène. L'induction du système de résistance est manifestée comme un changement dans la composition de la paroi cellulaire ou libération de l'extrait. Ce sont des substances qui activent le mécanisme de défense des plantes. Cela produira des phytoalexines et des protéines PR qui lui confèrent une résistance systémique (Agrios, 1988 ; Toussaint, 1996). Par exemple, *Trichoderma harzianum T-203* induit des changements structurels et chimiques dans la paroi cellulaire des plantes, qui augmentent leur résistance à l'infection par les phytopathogènes (Brimner et Boland, 2003).

5.5 Diminution de l'agressivité du pathogène

Les agents de biocontrôle peuvent également agir en influençant les facteurs de pathogénicité de l'agent pathogène. L'intensité de symptômes de *Botrytis cinerea* sur les feuilles du haricot est réduite en présence de la souche *Trichoderma T39*. La réduction du développement du parasite ne s'observant qu'au cours du second jour d'incubation. Ce retard peut s'expliquer en réduisant la production d'enzymes que les agents pathogènes dégradent la pectine (Jijakli, 2003).

6 Les microorganismes de lutte biologique les plus utilisés

Tableau 3: les principaux microorganismes utilisés dans la lutte biologique. (Peyronnet, 2017).

Organisme de contrôle	Lutte contre
Biologique	
Bactéries	Agents phytopathogènes ciblés
<i>Agrobacterium agrobacter</i> (Rhizobiaceae).	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> (Galle du collet ou crown gall) sur divers arbres fruitiers à noyau, les poiriers ou les vignes.
<i>Bacillus subtilis</i> (Bacillaceae).	<i>Fusarium spp.</i> , <i>Phytophthora spp.</i> , <i>Rhizoctonia spp.</i> , <i>Aspergillus spp.</i> , <i>Botrytis spp.</i> sur les cultures légumières, les arbres fruitiers, la vigne, le soja ou les plantes ornementales d'intérieur.
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (Pseudomonadaceae).	<i>Erwinia amylovora</i> (Feu bactérien).
Champignons entomopathogènes	Arthropodes nuisibles ciblés
<i>Beauveria bassiana</i> (Cordycipitaceae, Ascomycète).	Doryphore de la pomme de terre, hannetons, charançon des bananeraies, charançon rouge du palmier, pyrale du maïs, piéride du chou, diverses tordeuses de la vigne et des arbres fruitiers, cicadelle de la vigne, pucerons, thrips, termites, criquets, larves de moustique.
<i>Metarhizium spp.:</i> <i>M. anisopliae</i> , <i>M. acridum</i> (Cordycipitaceae, Ascomycète).	Criquets, termites, blattes, mouches des fruits, charançons dont divers otiorhynques des cultures ornementales et des petits fruits, larves de moustiques.
Biofongicides	Champignons ciblés
<i>Candida oleophila</i> et <i>C. albidus</i> (levures, Saccharomycotina, Ascomycètes).	Pourritures causées par <i>Botrytis cinerea</i> et <i>Penicillium expansum</i> sur les fruits récoltés (pommes, poires, agrumes).
<i>Fusarium oxysporum</i> , souche non virulente (Nectriaceae, Ascomycète).	<i>Fusarium spp.</i> (Fusarioses).
<i>Trichoderma atroviride</i> , <i>T. harzianum</i> , <i>T.</i>	Divers pathogènes du sol (<i>Phytium spp.</i> , <i>Fusarium</i>

<i>polysporum</i> et <i>T. gamsii</i> (Hypocreaceae, Ascomycètes.	<i>spp. Rhizoctonia spp. Phytophthora spp.)</i> ou foliaires (<i>Botrytis spp</i>) en viticulture et cultures sous serres (usage préventif).
Champignons phytopathogènes	Plantes indésirables ciblées
<i>Sclerotinia minor</i> (Sclerotiniaceae, Ascomycète) [espacepouurlavie.ca].	Pissenlits (<i>Taraxacum officinale</i>), plantain majeur (<i>Plantago major</i>) et autres plantes à feuilles larges dans les pelouses.
<i>Puccinia chondrillina</i> (Pucciniaceae, Basidiomycète).	<i>Chondrilla juncea</i> (Astéracée), adventice d'origine méditerranéenne envahissante aux Etats-Unis.
Virus	Agents phytopathogènes ciblés
la Granulose.	le carpocapse des pommes et des poires (<i>Cydia pomonella</i>), les tordeuses de la pelure (<i>Adoxophyes orana</i> , <i>Pan demis heparana</i> , <i>Archips podanus</i>).

7 Le rôle des moisissures dans la lutte biologique en agriculture

Les moisissures jouent un rôle remarquable dans le biocontrôle contre les ravageurs, qui causent des maladies dans les agricultures. Ces dernières sont protégées par l'intermédiaire des divers champignons.

7.1 Les champignons entomophages

7.1.1 Définition :

Les entomopathogènes sont des micro-organismes (bactéries, champignons, protozoaires, etc.) Provoquant des maladies mortelles d'insectes (Lambert, 2008).

Parmi les micro-organismes utilisés pour la lutte biologique, il existe plus de 700 espèces de microchampignons qui ont une pathogénicité pour les insectes et jouent un rôle important dans la régulation naturelle des populations des insectes. Ils appartiennent aux

groupes sous-taxinomiques Mastigiomycotina, Zygomycotina, Ascomycotina et Deuteuromycotina. Le nombre d'agents pathogènes trouvés dans la classe des Zygomycètes est le plus important, mais les agents pathogènes les plus couramment utilisés pour la lutte biologique proviennent de la classe des Deuteromycètes. Ces derniers sont des champignons à hyphes septés, se multipliant de manière non sexuée. Les espèces des genres *Beauveria*, *Metharizium*, sont les plus utilisées en lutte biologique et ont un intérêt agronomique considérable dans la lutte biologique contre les ravageurs de cultures et sont donc l'objet d'études de plus en plus poussées (Benserradj, 2014).

A. Espèce *Beauveria bassiana* contre charançon de prune

a. Taxonomie :

Beauveria bassiana est une espèce de champignon qui vit naturellement au sol. Cet organisme vivant agit comme un parasite. Il infecte différents groupes d'invertébrés (insectes, acariens, etc.). Plusieurs souches de *Beauveria bassiana* existent. L'avantage des souches disponibles dans le commerce est qu'elles ciblent mieux les pucerons, les thrips et les aleurodes (Bernard, 2019).

Règne : Fungi

Phylum : Ascomycota

Sous-Phylum : Pezizomycotina

Classe : Sordariomycetes

Sous-Classe : Hypocreomycetidae

Ordre : Hypocreales

Famille : Cordycipitaceae

Genre : *Beauveria*

Espèce : *Beauveria bassiana* (INPN, 2020).

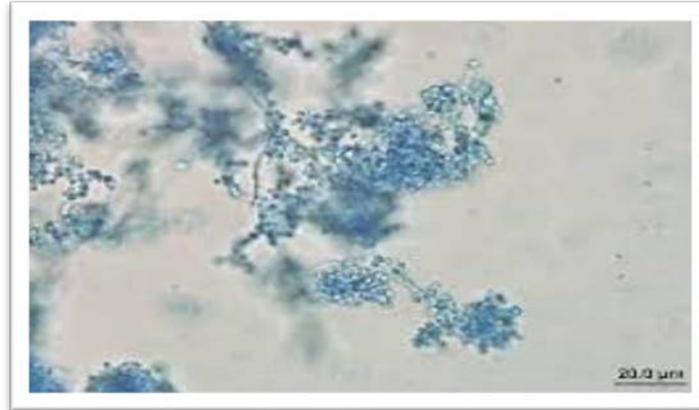


Figure 4: photographie au microscopique de *Beauveria bassiana*. (Frechette *et al.*, 2009).

b. Mode d'action :

Actuellement, les populations de charançon de la prune sont principalement contrôlées avec des pesticides chimiques. Cependant l'utilisation de pesticides chimiques a suscité une attention croissante pour l'environnement et la santé publique. Par conséquent, il est important de développer des méthodes alternatives pour lutter contre le charançon de la prune. Les insecticides biologiques, tels que les champignons pathogènes des insectes *Beauveria bassiana* (balsamo) Vuillemin (deuteromycotina : hyphomycetes) sont des alternatives (Figure 6) (Frechette *et al.*, 2009).

Les insectes s'infectent par contact avec des conidies fongiques (spores) puis produisent des hyphes (cellules sous forme de filaments ramifiés) et utilisent des enzymes de dégradation pour pénétrer la cuticule de l'insecte. Lorsque les mécanismes immunitaires de l'insecte ne peuvent pas combattre le champignon, ce dernier envahit l'hémolymphe (sang) de l'insecte et l'infection se produit (Frechette *et al.*, 2009).

Ils tuent les parasites en 3 à 5 jours pour les petits insectes, tels que les thrips, et en 5 à 7 jours pour les gros insectes. Ce champignon peut être très virulent lorsqu'il est utilisé dans des conditions optimales, avec une technique et une application correctes. (Bernard, 2019).



Figure 5: adulte de charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar*. les caractéristiques représentatives sont: A) une série de bosses portés par chaque élytre, B) une bande claire transversale sur les élytres et C) un rostre large et court portons des antennes. (Frechette *et al.*, 2009).

c. Le charançon de la prune

Le charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar* (Herbst) (*Coleoptera* : *Curculionidae*), est un important ravageur des fruits à noyaux et à pépins. Il cause de dommages particulièrement grave aux vergers de pommiers, et sans contrôle phytosanitaire, 85% des fruits peuvent être endommagés. Actuellement, Les populations de charançon sont principalement contrôlées par des pesticides chimiques (Frechette *et al.*, 2009).

La plupart des dégâts sont causés par la ponte des femelles. Chaque femelle peut pondre jusqu'à 200 fois en quelques semaines. Les adultes étant peu mobiles et les dégâts sont souvent concentrés dans certaines parties des vergers et même sur certains arbres (figure7) (Frechette, *et al.*, 2009).



Figure 6: cicatrice en forme de demi- lune associées à la ponte des charançons (Frechette, *et al.*, 2009).

7.2 Action de certains champignons contre champignons phytopathogènes

7.2.1 Définition

Les champignons phytopathogènes sont des parasites des plantes vasculaires, considérés comme les micros organismes qui ont le plus d'impact sur l'économie des cultures. On les trouve partout dans le monde, dans tous types de culture, et les dommages qu'ils causent peuvent entraîner une perte totale de la production (Suty, 2010).

La diversité génétique des champignons leur confère une adaptabilité extraordinaire, ce qui rend leurs luttes spécifiques extrêmement difficiles. Par conséquent, il est nécessaire de prendre des mesures de culture préventive efficaces pour lutter contre la croissance et la reproduction des champignons phytopathogènes. Cela signifie accroître la recherche sur les processus biologiques des cycles biologique d'infection de ces ravageurs, ainsi que la recherche sur les coutumes culturelles qui ne sont pas propices à leur établissement et à leur Développement (Suty, 2010).

Les champignons phytopathogènes attaquent principalement les parties aériennes des plantes, mais certains champignons qui existent dans le sol peuvent infecter les racines ou pénétrer dans le système vasculaire des parties souterraines des plantes, colonisant ainsi toute la plante le long des vaisseaux sanguins du xylème, provoquant des maladies tels l'amortissement et les vaisseaux sanguins. La pourriture vasculaire ou des racines (Suty, 2010).

Les dégâts occasionnés se manifestent le plus souvent sous forme de nécrose locale, indépendamment du développement du mycélium, de la production massive de spores, et des caractéristiques du défaut observable chez toutes les plantes (Suty, 2010).

Pour protéger l'agriculture de ces champignons, d'autres champignons sont utilisés afin de biocontrôler contre ces derniers, par exemple *Trichoderma harzianum* (Suty, 2010).

A. *Trichoderma harzianum* contre *Botrytis cinerea* :

Trichoderma est un groupe de champignons imparfaits saprophytes que l'on trouve couramment dans le sol, le bois mort, les restes de plantes et les organes aériens. Comme ses spores sont généralement vertes, et l'habitude typique de ses phialides (sous forme de pilules), il est facilement reconnaissable en culture. (Caron, 2002).

Les propriétés antagonistes de *Trichoderma* ont été mentionnées pour la première fois en 1887. Cependant, des recherches intensives sur le phénomène d'antagonisme et de son application comme moyen de lutte contre les ravageurs des plantes cultivées. Ces recherches sont réalisées entre les deux guerres mondiales. Le modèle étudié s'intéressait principalement aux parasites du sol mais en 1952, Wood avait signalé l'efficacité de *Trichoderma viride* dans le contrôle de la moisissure grise sur la laitue (Caron, 2002) ; Les champignons du genre *Trichoderma* présentent un effet antagoniste bien connu sur un grand nombre d'agents pathogènes. Son mode d'action repose sur 4 mécanismes :

- 1) L'antibiose, causée par les substances produites par *Trichoderma* qui inhibent la croissance des agents pathogènes (Sivasithamparam et Ghisalberti, 1998).
- 2) la compétition pour les ressources nutritionnelles, car *Trichoderma* consomme les mêmes nutriments que les pathogènes (Anke *et al.*, 1991).
- 3) la compétition spatiale, par rapport à d'autres microorganismes, la croissance rapide de *Trichoderma* (Anke *et al.*, 1991).
- 4) l'hyperparasitisme, c'est à dire la destruction des agents pathogènes en produisant des enzymes lytiques qui sont létales. Tous ces modes d'action sont spécifiques à chaque souche de *Trichoderma*. Par conséquent, ils peuvent mobiliser simultanément plusieurs de ces mécanismes pour contrôler les agents pathogènes. (Chet *et al.*, 1997).

Ces modes d'action dépendent de l'environnement nécessitant des conditions physiques (température, humidité, etc.), chimiques et biologiques du milieu dans lesquels *Trichoderma* a évolué. (Suty, 2010).

Tableau 4: bio fongicides commercialisées à base de *Trichoderma spp* (Mahmoudi, 2018).

Antagoniste	Espèces ciblées	Nom commerciaux
<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Sclerotinia phytophthora</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Pythium</i> <i>spp</i> , <i>Fusarium spp</i> , <i>Verticillium spp</i> , les agents de pourriture du bois et des produits du bois, <i>Botrytis cinerea</i> et autres maladies foliaires.	bio-Fugus, Binab T, Root pro, RootShield (ou bio- Trek, T-22G, T-22Planter Box), Supresivit Trichopel (ou Trichojet, Trichodowels, Trichoseal), <i>Trichoderma</i> 2000, Trichodex, Trichoseal.
<i>Trichoderma viride</i>	<i>Rhizoctonia spp</i> , <i>Pythium</i> <i>spp</i> , <i>Fusarium spp</i> .	Trieco
<i>Trichoderma virens</i>	<i>Rhizochtonia solani</i> .	G-6, G-6-5, G-11
<i>Trichoderma atroviride</i>	<i>Botrytis cinerea</i> et <i>Xanthomonas</i> , <i>Campestris</i> <i>pv</i> , <i>Phaseli</i> .	P1
<i>Trichoderma asperellum</i>	<i>Pseudomonas syringae pv</i> , <i>Lachrymans</i> .	T-203

a. *Botrytis cinerea*

Botrytis cinerea est un champignon phytopathogène haploïde de la famille des Sclerotiniaceae, de la division des Ascomycota. Il est responsable de la pourriture grise, une maladie cryptogamique qui sévit sur plusieurs cultures d'intérêt agronomique majeur comme la vigne, le tournesol, la tomate, la fraise. *Botrytis cinerea* attaque un nombre très important (au moins 270 espèces) de plantes sauvages, notamment des Rosacées, mais aussi nombre de plantes cultivées (Vitaceae, Solanaceae, Cucurbitaceae, Rosaceae et Fabaceae) (Kadri, *et al.*, 2014).

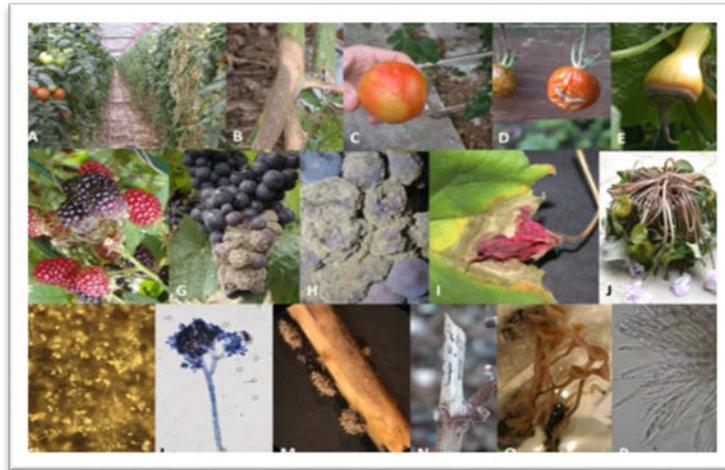


Figure 7 : Symptomatologie et morphologie de *Botrytis cinerea*. (Walker, 2013).

b. Taxonomie Trichoderma

les travaux de Rifai (1969) et les méthodes d'ADN ont pu mettre en évidence une classification phylogénique pour le genre de *Trichoderma*. De ce fait, *Trichoderma harzianum* est classé comme suit (Bouregghda, 2009 ; et Benkada, 2006).

Régne : Fungi

Embranchement : Amastigomycota et/ou Eumycètes

Division : Ascomycota

Sous division : Pezizomycotina

Classe : Sordariomycètes

Sous classe : Hypocreomycetidae

Ordre : Hypocréales

Famille : Hypocraceae

Genre : *Trichoderma*

Espèce : *Trichoderma harzianum*.

8 Avantages et inconvénients de la lutte biologique

La lutte biologique présente de nombreux avantages, notamment par rapport à la lutte chimique et ses effets néfastes sur la planète. Certains sont des bénéfices majeurs, alors que d'autres sont plus accessoires, mais tous sont importants. Cependant, la lutte biologique n'est pas totalement inoffensive si elle est mal utilisée, et elle présente des inconvénients, mais ceux-ci sont des écueils (piège) dont la plupart peuvent être évités.

8.1 Les avantages de la lutte biologique

1 - Limitation des apports de produits polluants

Dans de nombreux cas, les agents de lutte biologique peuvent remplacer avantageusement les pesticides, fongicides et autres produits chimiques. Comme ces produits rencontrent de plus en plus d'interdictions et de classements pénalisants du fait de leurs effets néfastes sur la santé et sur l'environnement (Suty, 2010).

- Moins de problèmes de santé pour l'homme

Les auxiliaires ne sont pas de toxiques pour la santé humaine. De nombreux cancers, d'autres maladies graves comme la maladie de Parkinson, et divers problèmes de santé (certaines substances sont reconnues pour être mutagènes ou reprotoxiques) sont dues à la toxicité des pesticides (glyphosate, malathion, aldrine ont été identifiés comme potentiellement cancérigènes par le CIRC...). Les agriculteurs "traditionnels" sont particulièrement touchés, mais ils sont aussi résidents de champs traités ou de cours d'eau contaminés et consommateurs des produits agricoles (Suty, 2010).

- Moins de problèmes pour l'environnement

Les auxiliaires ne polluent pas. Les substances actives et non dégradables contenues dans les produits chimiques ont tendance à s'accumuler puis à être lessivées lors des précipitations, polluant les nappes phréatiques, les cours d'eau, les sols. En raison du transfert du vent ou de l'eau, non seulement autour (et à l'intérieur) des zones traitées et atteintes mais aussi dans des secteurs plus éloignés, la biodiversité peut diminuer (Suty, 2010).

2- Pas de risque de surdosage

S'il y a trop d'auxiliaires liés à la quantité de nourriture (les bio-agresseurs), ils seront dispersés.

Le surdosage peut être dû à une mauvaise utilisation du produit, ou à l'apparition de "génotypes résistants" : les doses sont augmentées et appliquées de manière plus fréquente pour venir à bout des agresseurs (Suty, 2010).

3 - Elle vise à diminuer la densité des populations de ravageurs, pas à les faire disparaître

Dans un biotope (biome), chaque organisme est nécessaire. Le nombre de ravageurs des cultures est certes nuisible, mais une fois l'équilibre naturel rétabli leur nuisance est relative (seuil économique/écologique acceptable) (Suty, 2010).

4 - Certains agents de lutte ont de très bonnes capacités

Les parasitoïdes semblent être les agents les plus efficaces par rapport aux autres types d'auxiliaires utilisés. Ils présentent une très bonne dispersion dans le milieu où ils sont introduits et trouvent inmanquablement leur hôte. La plupart d'entre eux peuvent être facilement installés dans ce milieu (Suty, 2010).

5- Les auxiliaires peuvent se reproduire et se propager seuls

Bien introduits dans l'environnement, ou ils s'installent et se reproduisent en limitant ainsi de manière très persistante la densité de ravageurs dans ce biotope sans aucune autre intervention humaine (Suty, 2010).

6 - Moins coûteux à long terme

Un autre avantage de la lutte biologique est financier ! Une fois la dépense effectuée, lorsque l'introduction est réussie, il n'y aura plus de frais. Le coût des pesticides et autres est assez élevé, et l'émergence d'une résistance aux parasites augmente le coût. De plus ce coût se renouvelle chaque année. Certes il peut y avoir de nombreux échecs dans l'acclimatation des auxiliaires : résidus de pesticides, pas assez de ravageurs ou trop, mauvaises conditions de température, environnement inadapté... C'est pourquoi il est fort judicieux de se faire assister, pour des résultats tangibles et à long terme. La lutte biologique par conservation est particulièrement peu onéreuse puisqu'il ne s'agit que de fournir un environnement adapté à l'agent de lutte (Suty, 2010).

8.2 Les inconvénients de la lutte biologique :

- Certaines intégrations d'auxiliaires tournent mal. L'un des meilleurs exemples est la coccinelle asiatique, qui a été introduite pour ses meilleures performances dans la consommation de pucerons et autres ravageurs. En fait, cette aide s'est avérée très agressive et met certaines espèces de coccinelles locales en danger d'extinction.
- Le coût direct peut être élevé : renouvellement des auxiliaires, transport et alimentation lorsque le nombre de proies est insuffisant.
- Ces méthodes de traitements sont généralement très compliquées à appliquer : elles doivent se faire à une période précise, dans une échelle de température et d'hygrométrie, dans un certain environnement, ...
- Parfois, il y a un délai important entre l'introduction et le résultat : cela peut prendre des semaines, développement et diminution du nombre de ravageurs.
- Il n'existe pas d'ennemi naturel pour chaque ravageur, du moins à ce jour.
- Dans certains cas, des recherches approfondies peuvent être nécessaire pour connaître le ravageur (parfois difficile à distinguer des espèces), leurs "facteurs naturels de régulation", leurs mécanismes de reproduction...
- Une contamination génétique peut se produire en raison de la reproduction. Contrairement aux individus vivants dans la nature, la population introduite possède un capital génétique assez homogène. Si une caractéristique n'est pas adaptée au milieu, elle peut "contaminer" la population sauvage pendant le processus d'accouplements et rendre la population inadaptée, il y a un risque de disparition (localement bien sûr).
- Les effets et la dispersion des agents ne peuvent pas être contrôlés (Rouag, 2017).

Synthèse
méthodologique

1 Utilisation de *Beauveria bassiana* contre le charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar*, en verger de pommiers

- ✓ Etude de Bruno Fréchette, Jamal Ziani, Daniel Cormier, Claude Guertin réalisée en mai (2009).

L'objectif général de ce projet est d'évaluer l'utilisation du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* comme outil de lutte contre le charançon de la prune. *Beauveria bassiana* est un agent de contrôle biologique qui existe naturellement dans divers écosystèmes.

1.1 Méthodologie

L'étude a été réalisée sur une durée de trois ans (de 2006 à 2008). Des recherches en laboratoire ont été menées sur deux isolats de *B. bassiana* (INRS-CFL et INRS-IP). D'abord pour déterminer leurs effets insecticides contre les adultes du charançon de la prune. Ensuite l'évaluation de l'impact de ces deux isolats sur les adultes d'un insecte entomophage utile, soit la coccinelle maculée, *Coleomegilla maculata lengi Timberlake* (Coleoptera: Coccinellidae).

1.2 Pathogénicité des isolats (INRS-CFL et INRS-IP) chez les charançons de la prune :

Le but de cette expérience est de mesurer le potentiel insecticide des isolats de INRS-CFL et de INRS-IP contre le charançon de la prune. Pour chaque cohorte (printanière et estivale), les charançons récoltés sur les différents sites ont été regroupés afin de réduire l'effet possible de l'origine des insectes sur la réponse mesurée. Pour chaque isolat de *B. bassiana*, des adultes charançon sont soumis à des concentrations de 0.1×10^4 , 1×10^6 , 1×10^7 et 1×10^8 conidies/ml pour déterminer les concentrations létales (CL_{10} , CL_{50} et CL_{90}). Pour chaque concentration, 30 individus ont été soumis à la préparation de *B. bassiana*. Le taux de mortalité a été enregistré toute les 48 heures pendant 14 jours. Chaque expérience a été répétée cinq fois et pour un total de 1500 charançons testés.

Synthèse méthodologique

L'inoculation est réalisée par contact direct en immergeant les insectes dans 10ml d'une suspension de conidies pendant cinq secondes. Les insectes du groupe témoin ont été immergés dans une solution d'eau distillée stérile. Les charançons sont transférés dans des boîtes de pétri contenant du papier filtre humidifié avec 0.5ml d'eau distillée. Placer ensuite les boîtes de pétri à 25°C.

Le taux moyen de survie (TMS) a été déterminé pour chaque isolat et chaque cohorte de charançons à partir de la valeur de la CL_{50} (concentration létale qui provoque 50% de mortalité dans la population d'organisme étudiée, pendant un temps donné, par administration unique). La méthode d'immersion a été utilisée. La mortalité a été enregistrée quotidiennement pendant 14 jours.

L'objectif de la deuxième étape est d'évaluer l'efficacité de *B. bassiana* contre les adultes du charançon de la prune en conditions semi-contrôlées en verger de pommiers. Pour cela, un traitement est appliqué par des suspensions de conidies d'isolat INRS-CFL sur les feuilles (de 2007 à 2008) et le sol (en 2008) en présence de charançons adultes. Ceux-ci sont rapportés au laboratoire le 7^{ème} et 14^{ème} jours post-traitement. Les vergers expérimentaux étaient situés à Oka (Laurentides) et à Saint-Bruno-de-Montarville (Montérégie).

L'isolat INRS-CFL qui a donné les meilleurs résultats dans la première étape a été sélectionné. Pour éviter la pseudo-réplication, toutes les solutions ont été préparées à partir de la même solution mère. Des solutions de deux concentrations différentes de *B. bassiana* ont été préparées, soit 10^7 conidies/ml (T7) et 10^9 conidies/ml (T9). Ces concentrations correspondent respectivement à des applications de 10^{11} conidies/ha et de 10^{13} conidies/ha. Chaque solution composée à 95% de suspension de conidies et à 5% d'un produit naturel aux propriétés nutritionnelles. Ce produit naturel a également un effet d'adhérence sur les conidies. Le traitement témoin (T) était constitué de 95% d'eau stérile et de 5% de produits naturels.

Dans une autre étape, l'isolat INRS-CFL de *B. bassiana* a été de nouveau utilisé afin d'améliorer la protection des conidies contre des conditions environnementales défavorables, selon la formulation développée par Sabbahi et al (2008) basé sur *B. bassiana*. La préparation contient 1% de lait en poudre, 2% de glycérol, 4% d'huile de canola et 5% d'argil. Le rôle de l'huile de canola est d'augmenter la stabilité des substances actives dans les feuilles et de favoriser leur contact avec la cuticule des insectes (Burgues 1998), tandis que l'argil favorise la protection des conidies contre les rayons UV. Comme le lait en poudre, le glycérol n'est pas

Synthèse méthodologique

seulement un adhésif, mais aussi un humectant et un nutriment (Moor et Caudwell, 1977 ; Burgues 1998).

1.3 Résultats

Les premiers résultats ont montré que les isolats INRS-CFL et INRS-IP ont la même virulence (i.e. infecte et tue les charançons aux mêmes taux), mais l'INRS-CFL est plus pathogène INRS-IP (c'est-à-dire qu'il faut moins de conidies pour infecter les individus) (Tableau 4). Les résultats indiquent aussi que les isolats INRS-CFL et INRS-IP n'augmentaient pas significativement la mortalité des adultes de coccinelle maculée.

Tableau 5: Estimation des concentrations létales chez les adultes des deux générations du charançon de la prune soumis aux isolats INRS-CFL et INRS-IP de *Beauveria bassiana* en laboratoire.

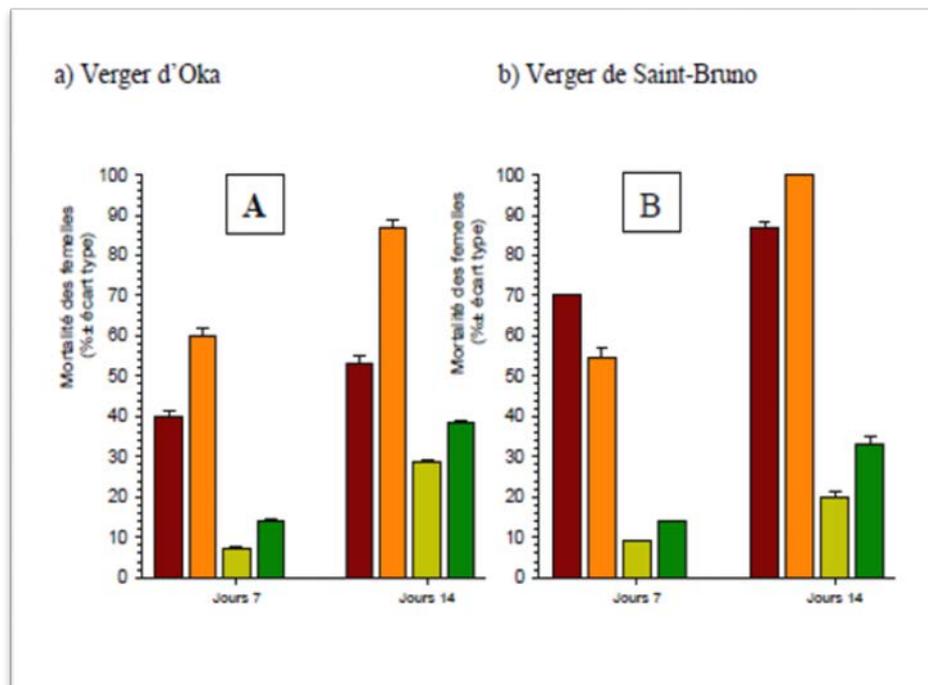
Génération	isolat	concentration	valeur	intervalles de confiance (95%)	
				lumière inférieure	lumière supérieure
Hibernante	INRS-CFL	CL_{50}	$2,00 \times 10^7$	$6,20 \times 10^6$	$5,62 \times 10^7$
		CL_{90}	$1,32 \times 10^{11}$	$2,26 \times 10^{10}$	$1,99 \times 10^{12}$
	INRS-IP	CL_{50}	$7,22 \times 10^7$	$2,21 \times 10^7$	$2,28 \times 10^8$
		CL_{90}	$1,25 \times 10^{12}$	$1,39 \times 10^{11}$	$4,36 \times 10^{13}$
Estivale	INRS-CFL	CL_{50}	$7,24 \times 10^4$	$6,99 \times 10^3$	$3,09 \times 10^5$
		CL_{90}	$1,63 \times 10^8$	$4,76 \times 10^8$	$1,00 \times 10^9$
	INRS-IP	CL_{50}	$1,03 \times 10^5$	$1,25 \times 10^4$	$3,91 \times 10^5$
		CL_{90}	$1,63 \times 10^8$	$4,93 \times 10^7$	$9,65 \times 10^8$

Les résultats de 2007 présentent quelques difficultés associées à l'utilisation de *B. bassiana* dans les applications foliaires. En effet, au cours de cette année, l'impact de *B. bassiana* sur le charançon de la prune n'a pas pu être montré. Plusieurs facteurs potentiels peuvent expliquer ce résultat. Notamment, du fait que *B. bassiana* est un champignon du sol, sensible aux rayonnements UV et à la sécheresse, une application foliaire exigerait l'apport d'adjuvants pour protéger les conidies et faciliter la survie et la germination de ces derniers. De plus, depuis que le charançon de la prune est passé dans le cadre de son cycle de vie dans le

Synthèse méthodologique

sol, l'application de *B. bassiana* directement sur le sol peut permettre d'augmenter l'efficacité du champignon.

Ainsi, en 2008, des adjuvants ont donc été ajoutés aux formulations de *B. bassiana*. De plus, des traitements au sol ont été testés en plus des traitements foliaires. Les résultats montrent que l'application de *B. bassiana* peut augmenter considérablement la mortalité des adultes du charançon de la prune, tant en application foliaire qu'en application au sol. Ces résultats sont particulièrement adaptés aux applications terrestres (Figure 09). Aussi, une diminution des dommages liés à l'alimentation des adultes a été observée dans les traitements de *B. bassiana* au sol. Enfin, le suivi en laboratoire d'insectes expérimentaux a montré que l'ajout d'adjuvants augmentait la proportion de charançons infectés par des champignons. Ces taux d'infection sont particulièrement élevés lors du traitement du sol (Tableau 05).



Synthèse méthodologique

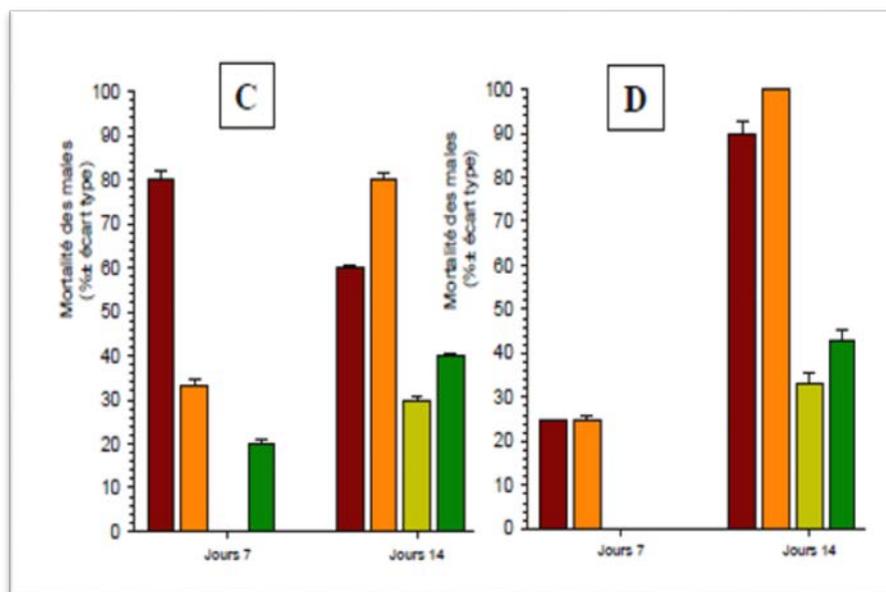


Figure 8 : Activité insecticide de l'isolat INRS-CFL contre les femelles (A, B) et les mâles (C, D) du charançon de la prune lors d'applications de *Beauveria bassiana* au sol aux jours 7 et 14 suivant le traitement. Rouge (●) = *B. bassiana* sans adjuvant ; Orange (●) = *B. bassiana* avec adjuvants ; Vert pomme (●) = témoin sec, sans adjuvant ; Vert foncé (●) = témoin, avec adjuvants.

Tableau 6: pourcentages de cadavres de charançon de la prune femelle (TF) et mâle (TM) développant de la muscardine suite aux traitements au sol suivants : T1= *B. bassiana* sans adjuvant, T2= *B. bassiana* avec adjuvants, T3= témoin, avec adjuvants, T4= témoin sec, sans adjuvant (non traité).

	Site d'Oka				Site de St-Bruno			
	Jour 7		Jour 14		Jour 7		Jour 14	
	T_F (%)	T_M (%)	T_F (%)	T_M (%)	T_F (%)	T_M (%)	T_F (%)	T_M (%)
T1	66,7	75	62,5	66,7	100	100	92,3	66,7
T2	66,7	100	61,5	87,5	100	100	100	100
T3	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	0

1.4 Discussion :

Par conséquent, Ces résultats indiquent que la formulation de *B. bassiana* et de l'adjuvant peut être la stratégie de protection phytosanitaire contre les adultes du charançon de la prune en verger de pommiers. Les applications de *B. bassiana* au sol montre un plus grand potentiel que les applications foliaires. De plus et afin d'obtenir un contrôle satisfaisant des populations de charançons de la prune en verger de pommiers, plusieurs applications de *B. bassiana* doivent être réaliser pendant toute la période d'activité des adultes au sol (dure plusieurs semaines).

2 Contribution à l'étude de *Botrytis cinerea* par agent de la pourriture grise

✓ Selon MAHMOUDI Mohamed El Hadi (2018).

2.1 Collection d'isolats de *Botrytis sp* :

La plupart des isolats de *Botrytis sp* étudiés ont été isolés à partir d'échantillons de vigne ; de fève et d'autres cultures. Ces échantillons se trouvent à différents endroit des vergers, des vignobles et des serres (Alger, Brouira, Tipaza, Boumerdess, Staouli, Cherega, Tizi ousou et Lakhdaria) collectés au cours de l'année (2007-2008), ou provenant de la collection du laboratoire de mycologie de l'INA (tableau 06).

Les fragments analysés ont été prélevés sur des feuilles, des fruits, des tiges et des graines qui présentaient des symptômes de « pourriture grise » sur vigne.

Tableau 7: liste des échantillons utilisés pour la recherche de *Botrytis cinerea*.

Synthèse méthodologique

Code	culture	Lieu d'isolement	Wilaya	Année d'isolement
BFA04	Fève	Ain Taya	Alger	2007
BFA05	Fève	Chérega	Alger	2007
BFA08	Fève	Staoueli	Alger	2007
BFA09	Fève	Staoueli	Alger	2007
BFA10	Fève	Staoueli	Alger	2007
BFA14	Fève	Bouchaoui	Alger	2007
BFA16	Fève	Saoula	Alger	2007
BFT02	Fève	Berrar	Tipaza	2007
BFT04	Fève	C.E.T	Tipaza	2007
BFT05	Fève	Tipaza	Tipaza	2007
BFB02	Fève	Al afroun	Blida	2007
BFB03	Fève	Hamr Al Ain	Blida	2007
BFZ02	Fève	Tizo ouzou	Tizo ouzou	2007
BPA02	Pois	INA-El Herrach	Alger	2007
BIA01	Poivron	Chérega	Alger	2007
BIA02	Poivron	Ain Benian(EAC)	Alger	2007
BCA01	Courgette	Staoueli (El hadj)	Alger	2007
BOA01	Oignon	Ain Benian(EAC)	Alger	2007
BKA01	Concombre	Staoueli(ITCMI)	Alger	2007
BRA01	Rose	Inconnu	Alger	2007
BNA01	Nefles	El -Harrach	Alger	2007
BGA01	Geranium	El -Harrach	Alger	2007
BUI01	Saint fouin	Collection ENSA	Inconnu	2007
BEI01	Citronier	Collection ENSA	Inconnu	2007
BVM01	Vigne	Boudouaou	boumerdesse	2007
BVR01	Vigne	Lakhderia	Bouira	2007
Code	Culture	Lieu d'isolement	Wilaya	Année
BVA01	Vigne	Reghaia	Alger	2007
BVA02	Vigne	Bouira	Alger	2007
BVA03	Vigne	Boumerdesse	Alger	2007
BVA04	Vigne	Tipaza	Alger	2007

Synthèse méthodologique

2.2 Agent antagoniste

Deux souches de *Trichoderma sp* appartenant à deux espèces différentes ont été utilisées, (tableau 07).

Tableau 8: origine des souches de *Trichoderma sp*.

Souches	Espèces	Origine	Années d'isolement
T9	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Rhizosphère de pois chiche (ITGC Oued Smar).	2006
T13	<i>Trichoderma atroviride</i>	Semence de blé dur (Sahel 17).	2006

Les souches antagonistes ont été cultivées sur milieu PDA à 22°C pour la détermination in vitro l'antagoniste. Les souches conservées dans des tubes inclinés contenant du PDA à 4°C ont été repiquées tous les 6 mois.

2.3 Etudes de l'activité antagoniste in vitro de *Trichoderma longibrachiatum* et de *Trichoderma harzianum* vis-à-vis *Botrytis cinerea*

Pour étudier l'activité antagoniste in vitro des deux souches de *Trichoderma sp* contre *Botrytis cinerea*, plusieurs méthodes ont été utilisées.

2.3.1 Effet de *Trichoderma sp* sur la croissance mycélienne de *Botrytis sp*

L'étude des effets de deux souches de *Trichoderma sp* sur la croissance mycélienne d'isolats de *Botrytis sp* a été réalisée par confrontation directe et confrontation indirecte (à distance).

A. Confrontation directe

La technique consiste à placer en deux explants de 5 mm² de diamètre de l'antagoniste et l'agent pathogène *Botrytis sp* dans la même PDA à des fins de comparaison. Ces explants sont prélevés à l'aide d'un emporte-pièce stérile à partir de culture âgée de 7 jours. Les deux

Synthèse méthodologique

explants de l'agent antagoniste et de l'agent pathogène sont placés au même temps suivant un axe diamétral à 3 cm et à équidistance du centre de la boîte.

Le nombre de répétitions est de quatre pour chaque combinaison souche de *Trichoderma sp* / Isolats de *Botrytis sp*. Un témoin contenant uniquement des isolats de *Botrytis sp* dans un rapport de quatre boîtes a été utilisé.

L'incubation a été réalisée à 25 °C à l'obscurité pendant 7 jours. Des observations microscopiques liées à l'effet direct de l'agent antagoniste sur le mycélium de *Botrytis Sp* ont été faites à partir de la zone de contact.

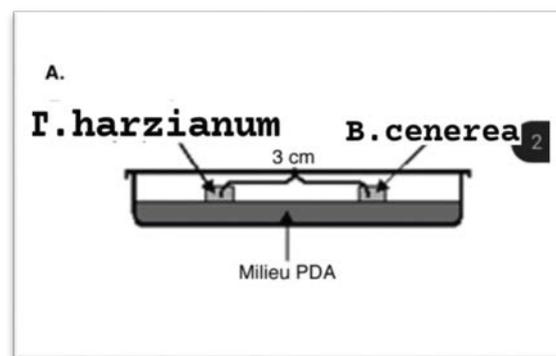


Figure 9 : A. confrontation équidistance de *B.cinerea* et *T.harzianum* par contacte directe.

B. Confrontation à distance

La méthode consiste à repiquer l'antagoniste et l'agent pathogènes dans deux boîtes séparées contenant du milieu PDA (les explants de 5 mm de diamètre âgés de 7 jours sont déposés au centre de la boîte).

Le témoin est formé par la superposition de deux boîtes, la partie supérieure contient des explants de milieu PDA, répétés trois fois.

L'incubation est réalisée à 25 °C à l'obscurité, la notation du diamètre moyen des colonies des isolats de *Botrytis sp* est réalisée après 6 jours.

Synthèse méthodologique

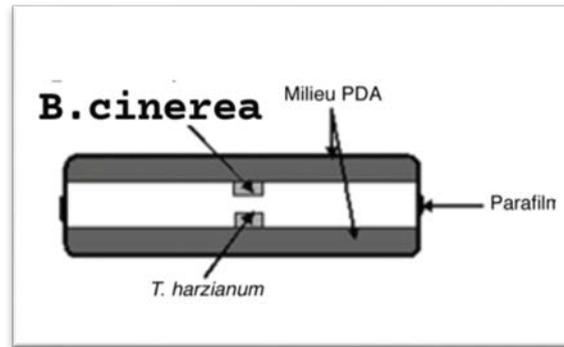


Figure 10 : confrontation à distance entre *B. cinerea* et *T. harzianum*.

2.3.2 Effet de *Trichoderma sp* sur la sporulation du *Botrytis sp*

Elle consiste à prélever des fragments de 5 mm à partir des boîtes de pétri en confrontations directes. Les prélèvements sont effectués à une distance de 5 mm du front au front de confrontations pour les colonies de *botrytis sp* et de périphérie pour les témoins au 7ème jour. Les fragments ont été placés dans des tubes contenant 5ml d'eau distillé stérile, et après agitations, les concentrations en spores ont été mesurées par la cellule malassez.

2.4 Résultats :

2.4.1 Effet de *Trichoderma sp* sur la croissance mycélienne de *Botrytis sp*

A. Confrontation directe

Les notations réalisées montrent une différence dans le degré d'envahissement des colonies de *Botrytis* par *Trichoderma*. Cette dernière occupe presque la totalité des boîtes de pétri de toutes les souches, tandis que les souches de *Botrytis* n'occupe qu'une petite surface. Par conséquent, au 7ème jour la souche T13 a envahi totalement les colonies de *Botrytis* avec une sporulation intense, alors que pour la souche T9 a été partiellement envahi ; il est à noter que le pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne des différentes souches de *Botrytis sp* varie selon les souches antagonistes de *Trichoderma sp*. (Tableau 08).

Tableau 9: Effet des souches de *Trichoderma sp* sur la croissance mycélienne du *Botrytis cinerea* après 7 jours de confrontation directe.

Synthèse méthodologique

Isolats	Diamètre moyen des colonies		Témoin	Taux de réduction de la croissance mycélienne par la T13	Taux de réduction de la croissance mycélienne par la T9
	Traitement par T9	Traitement par T13			
BFA04	30	20	71	71,83	57,74
BFA05	29	19	68	72,05	57,35
BFA08	29	20	69	71,01	57,97
BFA09	29	20	68	70,58	57,35
BFA10	31	21	74	71,62	58,10
BFA14	31	21	73	71,23	57,53
BFA16	30	20	71	71,83	57,53
BFB02	31	21	71	70,83	57,74
BFB03	29	19	68	72,05	56,94
BFT02	30	21	72	70,83	57,35
BFT04	28	19	68	72,05	58,82
BFT05	29	20	69	71,01	57,97
BFZ02	27	18	63	71,42	57,14
BUI01	29	20	69	71,01	57,97
BEI01	28	19	67	71,64	58,20
BPA02	28	19	67	71,64	58,20
BIA01	31	21	74	71,62	58,10
BIA02	34	23	81	71,60	58,02
BCA01	30	21	72	70,83	58,33
BOA01	30	20	71	71,83	57,74
BKA01	23	15	54	72,22	57,20
BRA01	31	21	73	71,23	57,53
BNA01	32	21	75	72	57,33
BGA01	31	21	74	71,62	58,10
BVM01	36	24	85	71,76	57,64
BVR01	31	21	74	71,62	58,10
BVA01	34	23	81	71,60	58,02
BVA02	29	19	68	72,05	57,35

Synthèse méthodologique

BVA03	31	21	74	71,62	58,10
BVA04	30	21	72	70,83	58,33

B. Confrontation indirecte

Cette technique est utilisée pour détecter les substances antifongiques volatiles dans les souches de *Trichoderma sp.* Après 6 jours de confrontation ; les résultats obtenues ont montré l'existence d'une nette réduction de diamètre moyen des colonies de *Botrytis* par rapport au témoin. Cette réduction est variable selon les souches de *Trichoderma* (tableau 09).

Tableau 10: Effet des souches de *Trichoderma sp* sur la croissance mycélienne du *Botrytis cinerea* après 7 jours de confrontation indirecte.

Isolats	Diamètre moyen des colonies		Témoin	Taux de réduction de la croissance mycélienne par la T13	Taux de réduction de la croissance mycélienne par la T9
	Traitement par T9	Traitement par T13			
BFA04	43	39	71	45,07	39,43
BFA05	42	28	68	58,82394	38,23
BFA08	45	43	69	37,68	43,78
BFA09	44	42	68	38,23	35,29
BFA10	52	47	74	36,48	29,72
BFA14	62	42	73	42,46	15,06
BFA16	49	44	71	38,02	30,98
BFB02	54	35	72	51,38	25
BFB03	50	46	68	32,35	26,47
BFT02	41	33	72	54,16	43,05
BFT04	54	41	68	39,70	20,58
BFT05	43	41	69	40,57	37,68
BFZ02	52	39	63	38,09	17,46
BUI01	49	32	69	36,23	28,98
BEI01	44	40	67	41,79	34,32

Synthèse méthodologique

BPA02	45	32	67	53,23	32,83
BIA01	42	40	74	45,945	43,24
BIA02	56	32	81	60,49	30,86
BCA01	55	43	72	40,27	23,61
BOA01	38	21	71	70,42	46,47
BKA01	51	20	54	62,69	5,55
BRA01	64	33	73	54,79	12,32
BNA01	71	26	75	65,33	5,33
BGA01	62	21	74	71,62	16,21
BVM01	38	20	85	76,47	55,29
BVR01	59	35	74	52,70	20,27
BVA01	57	34	81	58,02	29,62
BVA02	54	34	68	50	20,58
BVA03	59	34	74	54,05	20,27
BVA04	55	31	72	56,94	23,61

2.4.2 Effet de *Trichoderma sp* sur la sporulation de *Botrytis sp*

Après plusieurs jours de confrontation directe, le calcul du nombre de spores de *Botrytis sp* a montré que par rapport au témoin, la formation de spores est significativement réduite lorsque la souche *Trichoderma* était présente. Cette réduction varie d'une souche à l'autre, et la souche T13 a enregistré le pourcentage de réduction le plus élevé du nombre de spores par boîte par rapport BVA02 (77%). La souche T9 opposée à la souche BFT02 (40%), a été la plus faible enregistrée (Tableau 10).

Tableau 11: Effet des souches de *Trichoderma* sur la concentration en spores des isolats de *Botrytis* cultivés sur milieu de culture PDA en spores/ boîtes.

Synthèse méthodologique

Isolats	Moyennes de concentration (spores par boîte).		Témoin	Taux de réduction de la sporulation par traitement T13	Taux de réduction de la sporulation par traitement T9
	Traitement par T9	Traitement par T13			
BFA04	162000	105000	300000	65	46
BFA05	224000	148000	400000	63	44
BFA08	10600	6800	20000	66	47
BFA09	5200	3300	10000	67	48
BFA10	204000	116000	400000	71	49
BFA14	159000	81000	300000	73	47
BFA16	5600	3300	10000	67	44
BFB02	5700	3100	10000	69	43
BFB03	11800	6400	20000	68	41
BFT02	240000	124000	400000	69	40
BFT04	54000	37000	100000	63	46
BFT05	224000	108000	400000	73	44
BFZ02	408000	256000	800000	68	49
BUI01	5000	3600	10000	64	50
BEI01	318000	204000	600000	66	47
BPA02	140000	80000	250000	68	44
BIA01	171000	117000	300000	61	43
BIA02	5800	3300	10000	67	42
BCA01	174000	93000	300000	69	42
BOA01	220000	148000	400000	63	45
BKA01	122500	92500	250000	63	51
BRA01	61600	38500	110000	65	44
BNA01	56100	38500	110000	65	49
BGA01	145000	92500	250000	63	42
BVM01	21600	13200	40000	67	46
BVR01	127500	80000	250000	68	49
BVA01	130000	80000	250000	68	48

Synthèse méthodologique

BVA02	5300	2300	10000	77	47
BVA03	243000	135000	450000	70	46
BVA04	5600	3500	10000	65	44

2.5 Discussion :

Les résultats des tests in vitro obtenus au cours de cette étude ont montré que les deux souches de *Trichoderma sp* utilisées étaient efficaces pour la collecte d'isolat de *Botrytis cinerea*. Cette efficacité est variable, d'une part entre les différentes espèces antagonistes et d'autres parts entre les différentes espèces d'agents pathogènes.

Dans le cas de la confrontation directe, au 4^{ème} jour un envahissement presque total des boîtes de pétri par-là de *Trichoderma* est observé entraînant ainsi une nette réduction de la croissance mycélienne de la plus part des souches de *Botrytis*, le meilleur pourcentage de réduction de la croissance mycélienne est obtenu avec la souche BKA01 (72,22%) ou un envahissement total et une sporulation sur les colonies de l'isolat sont enregistrés. Il est à noter que ce phénomène reflète ainsi le pouvoir hautement mycoparasitaire de ces souches. En effet, plusieurs travaux ont montré la capacité des espèces de *Trichoderma* à inhiber le développement des agents pathogènes dans les tests de confrontation directe.

Des résultats similaires ont été rapportés par Kaci et Ousaid (1999) qui ont obtenu une réduction de la croissance mycélienne qui varient entre 55 .70% et 88.76% selon les souches de *Trichoderma* utilisées.

De même Sidhoumi (2001) a trouvé que des souches appartenant aux espèces *T.longibrachiatum* et *T.atroviride* ont une capacité de réduction de la croissance mycélienne comprise entre 52% et 69% pour *Fusarium culmorum* agent de flétrissement racinaire.

Dans ce même sens, Hassanein et al (1996) ont montré que *T. harzianum*, *T. viride* inhibent la croissance de *Rhizoctonia solani* avec des pourcentages de réduction de 52.20% et 55.83% respectivement, et celle du *Fusarium oxysporum* avec un pourcentage de 57.20% et de *Fusarium lentis* avec 50.60%.

Synthèse méthodologique

Hibar et al (2005) ont rapporté une inhibition supérieure à 65% de la croissance mycélienne du *Fusarium oxysporum* et *Fusarium radicans-lycopersici* (agent du flétrissement vasculaire de la tomate) en présence de *Trichoderma harzianum*.

Des observations microscopiques effectuées au niveau de la zone de contact ont révélé qu'il y avait des modifications au niveau du mycélium des isolats de *Botrytis*, entraînant une lyse, les mycéliums se sont transformés en cordon, et le mycélium de *Trichoderma* s'est enroulé sur celui de *Botrytis sp.* Un résultat similaire est observé par Hibar et al. (2005) avec *Fusarium sp* ou *Trichoderma harzianum* est capable de s'enrouler sur le mycélium du pathogène, de provoquer une lyse importante du mycélium, et une transformation des filaments mycéliens en cordon.

Benhanou et Chet (1993) ont observé une altération du mycélium de *R. solani* causée par *T. harzianum*, se traduisant par des enroulements des hyphes de l'agent antagoniste sur celle de l'agent pathogène suivi d'une perte du contenu du mycélium, et une dégradation de ce dernier. Ces deux auteurs en 1996, ont cité une altération du mycélium de *Sclerotium rolfsii* en présence de *T. harzianum*, cette altération se traduit par une agrégation, une rétraction et une vacuolisation du cytoplasme.

Des résultats similaires sont obtenus par Cherif et al. (1996) avec *Fusarium oxysporum* en présence de *Trichoderma spp*, ou des zones de lyse et de dégradation des conidies et du mycélium du pathogène avec des enroulements hyphaux sont observés. Ils ont également observé que des hyphes perdent leur turgescence et deviennent transparents indiquant une perte du contenu cellulaire.

Les souches de *Trichoderma* (T13 et T9) peuvent inhiber la croissance mycélienne des isolats de *Botrytis sp* même à distance. Le meilleur pourcentage de réduction obtenu est celui de (76.47%) et ce avec la souche T13 *Trichoderma atroviride* BVM01. Il semble malgré l'absence de contact direct entre l'agent pathogène et l'agent antagoniste. Il a un effet inhibiteur sur la croissance mycélienne des agents pathogènes. Dans ce même sens, Hibar et al. (2005) ont obtenu une inhibition de la croissance mycélienne du *Fusarium oxysporum* de l'ordre de 63% en présence de *T. harzianum*.

Des observations microscopiques réalisées en périphérie des colonies du *Botrytis sp* sous l'influence de *Trichoderma sp* ont montré la présence de filaments stériles, ce qui peut

Synthèse méthodologique

être dû à l'effet direct des substances volatiles libérées par *Trichoderma* sur la croissance de *Botrytis*.

Outre de la capacité des souches de *Trichoderma sp* à inhiber la croissance du mycélium de *Botrytis sp*, elles peuvent également réduire la sporulation de ce dernier. Par rapport au témoin, une réduction significative de la formation de spores pathogènes a été observée en présence de *Trichoderma*, où la meilleure réduction a été enregistrée dans la souche T13 par rapport à l'isolat BVA02, avec un taux de réduction de 77%.

Dans ce même sens, Sidhoum (2001) avait obtenu une réduction de la sporulation de *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum* en présence des souches de *T. longibrachiatum* et *Trichoderma atroviride* utilisées. Cette réduction varie entre 81.80% et 86.46% pour *Fusarium culmorum* et entre 60.60% et 90.90% pour *Fusarium graminearum*.

Des résultats similaires ont été obtenus par Biles et Hill (1988) avec *Cochliobolus sativus* agent de la pourriture racinaire des céréales en présence de *Trichoderma harzianum* ou ils ont trouvé une réduction de la sporulation qui varie entre 47% et 83%.

De manière générale, en ce qui concerne l'activité antagoniste des souches de *Trichoderma*, une corrélation a été observée, parmi elles, la souche T13 semble être la plus efficace pour inhiber la croissance mycélienne et réduire la sporulation, mais une variabilité a également été observée au sein de la collection des isolats de *Botrytis sp* à savoir les deux techniques utilisées (confrontation directe et confrontation à distance).

Conclusion

Conclusion

Les développements en lutte biologique se sont fait parallèlement au développement de l'étude de la biologie : plus il y a d'interactions entre les adjuvants de recherche et les espèces connues, plus l'utilisation de la lutte biologique est efficace et sûre. Une vue holistique est actuellement utilisée et elle est la mesure de contrôle biologique nécessaire pour considérer tous les aspects et entre les auxiliaires, les parasites et leur environnement.

La lutte biologique consiste à résoudre le problème du déséquilibre causé par l'utilisation de produits chimiques. Ces déséquilibres conduisent à une reproduction anormale des ravageurs les plus résistants. Mais encore faut-il mener cette lutte consciencieusement, et éviter les accidents et les échecs répétés en adoptant une recherche technique précise. En effet, ces études ont encore besoin de beaucoup d'amélioration. En revanche, Lorsqu'elle est bien maîtrisée, la lutte biologique présente de nombreux avantages et est très bénéfique pour la santé humaine et l'environnement. Les désavantages qui étaient auparavant imprévisibles, craints et fréquents, comme les effets sur les espèces non ciblées, sont de plus en plus connus et évités. D'autre part, afin d'augmenter l'accessibilité et de réduire les couts, la recherche et le développement dans de nombreux domaines connexes doivent encore être achevés.

Malgré tous les inconvénients, les pesticides sont profondément enracinés dans la culture agricole et seront difficiles à éradiquer. La lutte biologique doit se développer, et les intervenants, autant consommateurs, agriculteurs, producteurs d'auxiliaires que gouvernements, en comprennent parfaitement les enjeux. Sinon, la lutte biologique restera ce qu'elle est aujourd'hui, une méthode de lutte noble mais marginalisée, qui a été étouffée par un nuage de pesticides.

En laboratoire, des isolats (ou souches) INRS-CFL et INRS-IP de *B. bassiana*, sont révélés très efficaces contre le charançon de la prune et presque inoffensifs pour coccinelle maculée (un insecte utile). Les isolats INRS-CFL sont avérés plus pathogènes que celle d'INRS-IP, c'est pourquoi les isolats INRS-CFL ont été sélectionnés pour les études sur terrains. Ces résultats indiquent donc que *B. bassiana* est un agent de lutte biologique promoteur contre le charançon de la prune.

Conclusion

Les résultats liés aux études sur l'activité antagoniste provoquée par les souches de *Trichoderma sp* indiquent qu'elles sont efficaces contre les pathogènes *Botrytis sp* en réduisant significativement la croissance mycélienne et la sporulation. Cependant, cette efficacité variable pour les souches des espèces utilisées et le protocole expérimental ou les meilleurs résultats sont obtenues en utilisant des souches appartenant au genre *Trichoderma atrovide* T13 à la souche T9 de l'espèce *Trichoderma longibrachiatum*. A noter également que cette efficacité est plus importante en confrontation directe qu'à distance.

Référence

bibliographique

List de référence

- Agrios, G.N. (1988).** Plant pathology. San Diego, California: Academic Press. 801p.
- Ajouz, S., Nicot, P.C., Bardin, M. (2010).** Adaptation to pyrrolnitrin in *Botrytis cinerea* and cost of resistance. *Plant Pathology*, 59 (3): 556-566.
- Alabouvette, C. (2013).** Jardins de France. [En ligne]. Disponible sur : <
<https://www.jardinsdefrance.org/lutte-biologique-contre-les-parasites-du-sol-peu-de-produits-disponibles/>>. Consulter le (20/05/2021).
- Anke, K., Kinn, J., Bergquist, K., ET Sterner, O. (1991).** Production of siderophores by strains of the genus *Trichoderma*. *Biology of Metals*. [En ligne], 4, 176-180. Disponible sur : <
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01141311>>. Consulter le (20/05/2021).
- Aouar, L. (2012).** Isolement et identification des actinomycètes antagonistes des microorganismes phytopathogènes. [En ligne]. Thèse de Doctorat en Sciences : Biochimie et Microbiologie Appliquées. Constantine : Université Mentouri-Constantine, 218 p. Disponible sur : <
<https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/AOU6292.pdf>>. Consulter le (23/05/2021).
- Aubertot, J-N., Clerjeau, M., David, C., Debaeke, P., Jeuffroy, M-H., Lucas, P., Monfort, F., Nicot, P et Sauphanor, B. (2017).** Stratégies de protection des cultures. Expertise scientifique collective "Pesticides, agriculture et environnement". [En ligne], France, 104p. Disponible sur : <
https://ecophytopic.fr/sites/default/files/INRA_CEMAGREF_pesticides-4texte_cle43e81e_0.pdf>. Consulter le (15/04/2021).
- Basset, T., Laffont, C. (2011).** Les contaminations fongiques : Pest control on museum objects using heat-treatment. la lettre de L'OCIM. Musées, patrimoine et culture scientifiques et techniques [en ligne], 138, 48-54. Disponible sur <
<https://doi.org/10.4000/ocim.994>>. Consulter le (01/05/2021).
- Benkada, M. M. (2006).** Evaluation du risque fongique en zones conchylicoles : substances toxiques de souches marines du genre trichoderma. [en ligne]. These de doctorat : mycologie marine. France : Université de Nantes, 61 p. Disponible sur : <
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00087612/>>. Consulter le (20/05/2021).

Référence bibliographique

Benserradj, O. (2014). Evaluation de *Metarhizium anisopliae* à titre d'agent de lutte biologique contre les larves de moustiques. [En ligne]. Thèse Doctorat 3ème cycle LMD : Biotechnologies, Biologie et Environnement. Constantine : Université Constantine 01, 208 p. Disponible sur :< <https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/BEN6600.pdf>>. Consulter le (18/04/2021).

Bernard, R- S. (2019). Nouvelles sur la lutte biologique : *Beauveria bassiana* comment bien réussir son application. [En ligne]. Disponible sur : < <https://anatisbioprotection.com/blog/beauveria-bassiana-application.html>>. Consulter le (20/05/2021).

Biliotti, E., Brader, L. (1975). Informations internes sur l'agriculture : méthodes de lutte intégrée et de lutte biologique en agriculture conditions et possibilités de développement. Commission des communautés européennes. [En ligne], 149, 81 p. Disponible sur : <http://aei.pitt.edu/36499/1/A2505.pdf>. Consulter le (23 /05/2021).

Botton, B., Breton, A., Fevre, M., Gauthier, S., Guy, P., Larpent, J.P., Reymond, P., Sanglier, J.J., Vayssier, Y et Veau, P. (1999). Moisissures utiles et nuisibles : Importance industrielle. Dunod. 512p. –(Biotechnologies).

Bouregghda, H. (2009). Recherche de l'effet antagoniste de *Trichoderma* spp. A l'égard de *Fusarium oxysporum* f.sp. *Ciceris* (Padwick) Matuo et K. Sato (Foc), agent du flétrissement du pois chiche. [en ligne].Thèse de Doctorat : Sciences Agronomiques. Alger : Institut National Agronomique –El Harrach, 140 p. Disponible sur :< http://dspace.ensa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1327/bouregghda_h.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. consulter le (15/06/2021).

Bousseboua, H. (2005). Eléments de microbiologie : programme de graduation biologie médecine pharmacie chirurgie dentaire sciences vétérinaires sciences alimentaires agronomie. 2ème édition. Algérie : compus. 304p.

Brimner, A., et Boland, G.J. (2003). A review of the non-target effects of fungi used to biologically control of plant diseases. *Arg. Ecosyst. Environ.* [En ligne] ,100 (1), 3-16. Disponible sur :< <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/2772505>>. Consulter le (17/05/2021).

Référence bibliographique

Caillaud, D., Annesi-Maesano, I., Benndejai, N., Bex, V., De Blay, F., Charpin, D., Charles Dalphin, J., Fabre, C., Garans, M., Joyeux, M., Meunier, O., Mouilleseaux, A., Neukirch, F., Nolard, N., Ravault, C., Reboux, G., Robine, E et Roquebert, M-F. (2006). Rapport scientifique Contaminations fongiques en milieux intérieurs : Diagnostic effets sur la sante respiratoire conduite à tenir. [En ligne]. France : Conseil supérieur d'hygiène publique de France, 100 p. Disponible sur : < https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Contaminations_fongiques_en_milieux_interieurs.pdf>. Consulter le (10/05/2021).

Carlotti, A. (2014). Technologie/process identification des moisissures. La vague. [En ligne], 42, 10-12. Disponible sur : https://a3p.org/wp-content/uploads/2014/06/article_scientifique_vague42_0pdf_articles_la_vague_42_bd-12-14.pdf . Consulter le (25/04/2021).

Caron, J. (2002). Le pouvoir antagoniste de Trichoderma. Horti-Protection inc. Conférence présentée lors des journées horticoles régionales à St-Rémi. [En ligne], 4p. Disponible sur :< <https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/trichoderma.pdf>>. Consulter le (12/06/2021).

Chet, I., Inbar, J. et Hadar, Y. (1997). Fungal Antagonists and Mycoparasites. In: Wicklow, D.T. and Söderström, B., Eds., the Mycota, Environmental and Microbial Relationships, Springer-Verlag, Berlin, (4), 165-184.

Corbaz, R. (1990). Principe de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. France: EPFL Press.284 p. - (Biologie).

Davet, P. (1996). Vie microbienne du sol et production végétale. Paris : INRA Editions, 383 p.

Delarras, C. (2007). Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire : Aliments, produit cosmétiques, aux, produits pharmaceutiques. Editions Médicales Internationales, lavoisier. 476p.

Delgatdo- Jarana, J., Rincon, A.M et Benitez, T. (2002). Aspartly protease from *Trichoderma harzianum* CECT 2413: cloning and characterization. Microbiology. [En ligne], 148 (Pt5), 1305-1315. Disponible sur :< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11988504/>>. Consulter le (06/06/2021).

Référence bibliographique

Dendouga, W. (2006). Isolement et identification de moisissures productrices de protéases à partir de milieux extrêmes : Extraction et étude des propriétés de la protéase produite. [En ligne]. Thèse de Magister : Biochimie-Microbiologie appliquées. Constantine : Université les frères Mentouri Constantine 1, 80p. Disponible sur :<
<http://archives.umc.edu.dz/handle/123456789/8325>>. Consulter le (01/05/2021).

Diguta, C- F. (2010). Ecologie des moisissures présentes sur baies de raisin. [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de l'Alimentation. France : Université de bourgogne Institut Universitaire de la Vigne et du Vin (Institut Jules Guyot), 108p. Disponible sur :<
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00597399/document>>. Consulter le (22/04/2021).

Dommergues, Y., Mangenot, F. (1970). Ecologie microbienne du sol. Paris : Edition INRA : MASSON ET Cie, ÉDITEURS. 796 p.

El-Tarabily, K.A., Soliman, M.H., Nassar, A.H., Al-Hassani, H.A., Sivasithamparam, K., Mckenna, F et Hardy, G.E.ST.J. (2000). Biological control of *Sclerotinia minor* using a chitinolytic and actinomycetes. Plant pathol. 49, 573-583.

Errakhi, R. (2008). Contribution d'actinomycètes (Actinobactérie) à la lutte biologique contre *Sclerotium rolfsii* et rôle de l'acide oxalique dans l'induction des mécanismes de défense. Thèse de doctorat. Marrakech Maroc : Université Cadi Ayyad.

Frechette, B., Ziani, J., Cormier, D., Guertin, C. (2009). Développement d'un outil de lutte biologique basé sur l'utilisation de champignon entomopathogènes *Beauveria bassiana* contre le charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar*, et évolution de son impact sur les ravageurs et entomophages présent dans les vergers. [En ligne]. Rapport de recherche CRAM, rapport finale. Québec : centre de recherche agroalimentaire de Mirabel, 38p. Disponible sur :<
<http://www.cram-mirabel.com/wp-content/uploads/2014/05/59-Rapport-final-charan%C3%A7on-2006-2008.pdf>>. Consulter le (01/06/2021).

Grant, C., Hunter, C. A., Flannigan, B ET Bravery, O. F. (1989). The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. International Biodeterioration. [En ligne], 25 (4), 259-84. Disponible sur
<https://users.encs.concordia.ca/~raojw/crd/reference/reference002102.html>>. Consulter le (10/05/2021).

Référence bibliographique

Halwyn, M.A., Lercterc, J.M., King, N., Belonger, M., Legris, M. ET Frenett, Y. (2002). Rapport scientifique les risques à la santé associés à la présence de moisissures en milieu intérieur. [En ligne]. Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels et laboratoire de santé publique du Québec. Québec : Institut national de santé publique du Québec, 165 p. Disponible sur : https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/126_RisquesMoisissuresMilieuInterieur.pdf.

Consulter le (09/05/2021).

Hautier, L. (2003). Impacts sur l'entomofaune indigène d'une coccinelle exotique utilisée en lutte biologique. [En ligne]. Travail de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du grade académique : Gestion de l'Environnement. Bruxelles : Université Libre de Bruxelles, 99p. <https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_02_03/MFE_Hautier_02_03.pdf>.

Consulter le (15/06/2021)

Helluy, S., et Holmes, J.C. (2005). Parasitic manipulation : further considerations. Behav Processes. [En ligne], 68 (3), 205-10. Disponible sur : <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15792690/>>. Consulter le (28/06/2021).

INPN. (2020). Beauveria bassiana (Balsamo-Crivelli) Vuill: (Ascomycota, Sordariomycetes, Hypocreales). [En ligne]. Disponible sur : <https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/862249/tab/taxo>. Consulter le (05/05/2021).

Jijakly, M.H. (2003). La lutte biologique en phytopathologie, In : phytopathology. Lepoivre P. (Eds). Bruxelles : De Boeck supérieur. 427p .

Jourdheuil, P. Grison, P. Fraval, A. (1991). La lutte biologique : un aperçu historique. Courrier de la cellule environnement. [En ligne], (15): 37-60. Disponible sur : <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01207929/file/C15Fraval.pdf>>. Consulter le (20/05/2021).

Kadri, O., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R et Douira, A. (2014). Pouvoir pathogène de Botrytis cinerea sur Catharanthus roseus à différents stades végétatifs. Journal of Applied Biosciences. [en ligne], 76 , 6338– 6351. Disponible sur : <<https://www.ajol.info/index.php/jab/article/view/103704/93869>>. Consulter le (30/05/2021).

Référence bibliographique

Lambert, N. (2008). Lutte biologique aux ravageurs : applicabilité au Québec. [En ligne]. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). Québec : centre universitaire de formation en environnement université de Sherbrooke, 85p. Disponible sur :< <https://core.ac.uk/download/pdf/51340074.pdf>>. Consulter le (05/04/2021).

Lefort, F. (2010). Lutte biologique et lutte microbiologique : des concepts anciens pour des méthodes de lutte modernes ?. Hepia. [En ligne], 75 p. Disponible sur : < http://www.acl-lullier.ch/OLD/pdf_conf_10_1/04_LEFORT.pdf>. Consulter le (10/04/2021).

Lepoivre, P. (2003). Les bactéries phytopathogènes. *In* : phytopathology. Lepoivre P. (Eds). Bruxelles : De Boeck supérieur. 427p.

Mahmoudi, M- E. (2018). Contribution à l'étude de *Botrytis cinerea* pers agent de la pourriture grise : variabilité biologique et essai de lutte chimique et biologique. [En ligne]. Thèse de doctorat : phytopathologie. Alger : école supérieure nationale agronomique el Harrach Alger, 89p. Disponible sur :< http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/302/1/mahmoudi_mh.pdf>. Consulter le (30/05/2021).

Malloch, R. (1982). Mould their isolation cultivation and identification. Department of botany. [En ligne]. Canada: University of Toronto, 97 p. Disponible sur < https://books.google.dz/books/about/Moulds.html?id=ndrOvgEACAAJ&redir_esc=y>. Consulter le (10/05/2021).

Martins, PM., Merfa, MV., Takita, MA., De Souza, AA. (2018). Persistence in phytopathogenic bacteria: Do we know enough?. *Front Microbiol* [en ligne], 9: 1099. Disponible sur :< <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.01099/full>>. Consulter le (05/06/2021).

Nagwa. (2021). Fiche explicative de la leçon : Règne Fungi. [En ligne]. Disponible sur :< <https://www.nagwa.com/fr/explainers/325102871697/>>. Consulter le (10/05/2021).

Référence bibliographique

Nasraoui, B et Lepoivre, R. (2003). Les champignons phytopathogènes. *In* : Phytopathology. Lepoivre P. (Eds). Bruxelles : De Boeck supérieur. 427p.

Nasraoui, B. (2015). Les champignons et pseudo- champignons pathogènes des plantes cultivées. Tunisie : Institut National Agronomique de Tunisie. 180p.

Nasraoui, H., Taghi Sdeghi, S. M., Vazirianzadeh, B., Moosa-Kzemi, S. H. (2014). New record of *Aedes vittatus* and *Culiseta subochrea* (Diptera: Culicidae) and their distribution from Shadegan Wetland, South Western Iran. *Journal of entomology and Zoology studies*. [En ligne], 2(5), 271- 275. Disponible sur :< <https://www.entomoljournal.com/vol2Issue5/2-5-67.1.html>>. Consulter le (20/05/2021).

Nicklin, J. Graeme-Cook, K. Paget, T. Killington, R. (2000). L'essentiel en microbiologie. Paris : Port Royal livres. : BERTI EDITIONS. 362 p.

Otoguro, M., Suzuki, S. (2018). Status and future of disease protection and grape berry quality alteration by micro- organisms in viticulture. *Lett Appl Microbiol* [en ligne], 67 (2), 106-112. Disponible sur : < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29908033/>>. Consulter le (18/06/2021).

Palatya, C., Shum, M. (2009). Effet de l'exposition aux moisissures en milieu intérieur sur la santé. Canada : Université du Québec à Montréal, Centre de collaboration nationale en santé environnementale. 8p.

Paul, R., Impens, P. (2003). Les maladies non parasitaires. *In*: Phytopathology. Lepoivre P. (Eds). Bruxelles : De Boeck. 427p.

Peyronnet, O. (2017). PESTInfo. [En ligne]. Disponible sur :< <http://pestinfos.blogspot.com/p/microorganismes-auxiliaires-lutte.html>>. Consulter le (01/06/2021).

Robbins, C. A., Swenson, L. J., Neally, M., Gots, R. E ET Kelman, R.J. (2000). Health effects of mycotoxins in indoor air: a critical review. *Appl Occup Environ Hyg*. [en ligne], 15 (20), 773-784. Disponible sur :< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11036728/>>. Consulter le (10/05/2021).

Référence bibliographique

Rouag, N. (2017). Méthodes de lutte et risques. [En ligne]. Sétif : université Ferhat Abbas Sétif 1, département des sciences agronomiques, 3^{ème} année, cours, 35 p. Disponibles sur : < https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/SA/L3%20P_vegetaux%2019-20%20m%C3%A9thodes%20de%20lutte%20et%20risques.pdf>. Consulter le (20/04/2021).

Sabaou, N., Boudjella, H, Bennadji, A., Mostefaoui, A., Zitouni, A., Lamari, I., et al. (1998). Les sols du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotique. *Sécheresse*. 9, 147-153.

Sayegh, M. (2009). La résistance du cotonnier *Gossypium hirsutum* à la bactériose causée par *Xanthomonas campestris* pathovar *malvacearum* : Rôle du gène GhLOX1 dans la réaction hypersensible. [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences Agronomiques. France : institut national polytechnique de lorraine, 155p. Disponible sur : < http://docnum.univ-lorraine.fr/public/INPL/2009_SAYEGH_M.pdf>. Consulter le (15/06/2021).

Semal, J et Lepoivre, P. (2003). Les maladies des plantes : concepts généraux. *In* : *phytopathology*. Lepoivre P. (Eds). Bruxelles : De Boeck supérieur. 427p.

Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. (1998). Secondary metabolism in *Trichoderma* and *Gliocladium*. *In*: C. P. Kubicek, & G. E. Harman (Eds.), *Trichoderma and Gliocladium*, 1, 139-191.

Suty, L. (2010). La lutte biologique : Vers de nouveaux équilibres écologiques. Quae. France : Educagri éditions. 328 p. -(science en partage).

Tabuc, C. (2007). Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. [En ligne]. Thèse de doctorat : pathologie, mycologie, génétique et nutrition. Toulouse : l'institut national polytechnique de Toulouse et de l'université de Bucarest, 167 p. Disponible sur : < <https://core.ac.uk/download/pdf/19938135.pdf> >. Consulter le (13/05/2021).

Toussaint, V. (1996). Caractérisation d'un antibiotique produit par la souche d'actinomycète EF-76 antagoniste à *Phytophthora fragaria* var. *rubi* causant le pourridié des racines du framboisier. [En ligne]. Mémoire de maîtrise és science. Québec, canada : Université de Sherbrooke. Disponible sur : < <http://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/4355>>. Consulter le (15/06/2021).

Référence bibliographique

Urbanek, H., YIRDAW, G. (1984). Hydrolytic ability of acid protease of *Fusarium culmorum* and its possible role in phytopathogenesis. Acta Microbiol Pol. [En ligne], 33 (2), 131-6. Disponible sur :< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6209929/>>. Consulter le (31/06/2021).

Walker, A-S. (2013). Diversité et adaptation aux fongicides des populations de *Botrytis cinerea*, agent de la pourriture grise. [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences du végétal. France : UNIVERSITE PARIS-SUD, 160 p. Disponible sur :< <https://www.theses.fr/2013PA112067.pdf>>. Consulter le (01/07/2021).

Youmatter. (2019). Agriculture biologique : définition, normes, produits utilisés, avantages, inconvénients [en ligne]. Disponible sur :< <https://youmatter.world/fr/definition/agriculture-biologique-definition-produits-regles/>>. Consulter le (20 /05/2021).

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie fongique

Le rôle que jouent les moisissures dans la lutte biologique dans le domaine de l'agriculture.

La lutte biologique est l'utilisation d'organismes vivants parmi lesquelles les moisissures pour limiter la pullulation des divers d'ennemis des cultures. Elle est naturellement présente dans la plupart des écosystèmes et peut être utilisée volontairement, en agriculture, en remplaçant des pesticides conventionnels. En comparaison à ces derniers, la lutte biologique est beaucoup plus écologique mais a également des coûts d'application substantiellement plus élevés. De nombreuses applications de la lutte biologique ont eu lieu dans le passé, parfois avec succès. En effet, La première année de terrain a permis d'identifier les principales difficultés associées à l'utilisation de *B.bassiana* en verger de pommiers. Les applications foliaires utilisées ont exposé le champignon à des conditions défavorables, lesquels ont contribué à rendre *B.bassiana* peu efficace contre le charançon de la prune. Au cours de la deuxième année de terrain, des applications au sol ont donc été testées en plus des applications foliaires. Aussi, des adjuvants ont été ajoutés à la suspension de conidies, afin de favoriser la survie et le développement de *B.bassiana*. Ces expériences de terrain indiquent que les applications au sol de *B.bassiana* sont efficaces et augmentent la mortalité du charançon de la prune. L'étude concernant l'évaluation et la comparaison de l'efficacité de l'activité antagoniste in vitro de *Trichoderma atroviride* T13 et *Trichoderma longibrachiatum* T9 a montré l'existence d'une variabilité de l'activité antagoniste à l'égard des isolats de *Botrytis* qui s'est manifesté au niveau de la réduction de la croissance mycélienne et la sporulation.

Les mots clés : Moisissures, Agricultures, Lutte biologique, *B.bassiana*, *Trichoderma atroviride* T13, *Botrytis cinerea*.

Membre du jury :

Présidente : Mme. MEZIANI M. (MCB - UFM, Constantine).
Encadrant : Mme. BENKAHOUL M. (MCA - UFM, Constantine).
Examinatrice : Mme. ABDELAZIZE W. (MCB - UFM, Constantine).

Présenté par : NAHDI INTISSAR. KASSEH LAOUAR CHIRAZ et GUERRAICHE RADHIA.

Année universitaire : 2020-2021.

