



لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

- Université des Frères Mentouri Constantine
- Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

- جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
- كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Microbiologie

قسم: الميكروبيولوجيا

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologique

Spécialité : *Mycologie et biotechnologie fongique*

Intitulé :

L'IMPACT DES METAUX LOURDS SUR LES CHAMPIGNONS ENTOMOPATHOGENES ISOLES A PARTIR DES RAVAGEURS DE PETIT POIS

Présenté et soutenu par :

Le : 11 Septembre 2020

- ZIOUANE manel
- ABDERRAHMANE khadidja

Jury d'évaluation :

- **Président du jury :** M^{me} BENKAHOUL Malika (M.C.B- UFM Constantine).
- **Rapporteur :** M^{me} ABDALAZIZ Ouided (M.C.B- UFM Constantine).
- **Examineurs :** M^{me} MEZIANI Meriem (M.A.A- UFM Constantine)

Année universitaire 2019- 2020

Remerciements

Nous remercions **Dieu** le généreux qui a enseigné à l'homme ce qu'il ne savait pas et de m'avoir donné le courage et la patience pour terminer ce travail.

Nous remercions notre encadreur Madame **Abdalaziz Ouided**, M .C.B a université mentouri

Constantine pour la confiance qu'elle nous a accordée en acceptant de diriger ce mémoire, ainsi que pour son soutien scientifique, nos sincères remerciements,

Très sincères remerciements à madame **Benkahoul** , M C.B qui nous a fait l'honneur de présider le jury ,

Nos remerciements à madame **Meziani** M .A .A qui a accepté d'examiner ce travail, Nous voudrions aussi remercier les professeurs qui nous ont formés au long de notre parcours universitaire.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie
et de bonheur,

celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir,

A toi mon père que dieu te garde toujours en bonne santé .

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma
vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A ma jolie sœur : Doha

Et le benjamin et le gâté de la famille mon petit frère : Louai

A ma très chère grand – mère qui nous a quitté hélas il y a quelques mois que
dieu la garde dans son vaste paradis .

A mon grand – père et ma grand – mère paternelle qui toujours me prient dieu
la réussite dans leur prière

A toute ma famille chacun et chacune a apporté sa touche d'encouragement et
de soutien.

A ma chère binôme : Khadidja

Sans oublier les vies que nous avons perdus à cause de la pandémie de **Corona (covid 19)**

MANEL

Dédicace

Je dédie ce travail en premier lieu aux êtres, les plus chers au monde : **mes parents.**

Mon père Ahmed et ma mère Sakina

Quoi que je fasse je ne pourrais leur rendre ce qu'ils ont fait pour moi, si je suis arrivée là C'est bien grâce à eux que dieu les bénisse, et leur accorde longue vie et les protège.

À mes chères sœurs : **oumaïma** et **nousseïba**

À Mon binôme : **Manel**

A toute ma famille et tous mes amis

Sans oublier les vies que nous avons perdus à cause de la pandémie de **Corona (covid 19)**

KHADIDJA

Liste Des Abréviations

Liste Des Abréviations

Qx : quintaux

pH : Potentiel hydrogène

N : Azote

ETm : Evapotranspiration maximale

Kc : Coefficient cultural

ET0 : Evaporation de référence

P : Phosphore

K : Potassium

ETM : élément trace métallique

Cu : cuivre

Zn : Zinc

Ni : Nickel

Fe : fer

Z : le numéro atomique

Pb : plomb

USA : United States of America

UVB : la lumière noire

FPGN : le fond pédogéochimique naturel

Cd : cadmium

Hg : mercure

Mn : Manganèse

Cr : chrome

CFU : colonie forming units

CEC : capacité d'échange de cations

Eh : potentiel redox

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau	Page
Tableau 1 : la superficie et la production de petit pois	5
Tableau 2 : Principaux pays producteurs du pois frais	6
Tableau 3 : Classification du petit pois	7
Tableau 4 :les périodes de croissance du petit pois	13
Tableau 5 : valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de pois	17
Tableau 06 : la classification du beauveria bassiana	42
Tableau 07 : la classification du fusarium Sp	52
Tableau 08 : contribution de différentes sources des ETM	62

Liste des figures

Liste des figures

N° Figure	Titre	N° Page
1	corps générale de petit pois (<i>Pisum sativum L.</i>)	8
2	feuille et tige du petit pois	9
3	fleur du petit pois	10
4	fruit du petit pois	11
5	système racinaire du petit pois	11
6	Cycle de vie de petit pois	12
7	la sitone du pois	20
8	Thrips du pois	22
9	La tordeuse du pois	23
10	La noctuelle défoliatrice du pois	25
11	Le puceron vert du pois	26
12	La bruche du pois	28
13	La cécidomyie du pois	29
14	La limace du pois	31
15	la période de présence de limace	31
16	les champignons dans le sol	33
17	le cycle biologique du champignons entomopathogènes	36
18	mode de pénétration des champignons entomopathogènes dans la cuticule des insectes	39
19	schéma du mode d'action des chapignons entomopathogènes	40
20	unité infectieuse :spore de beauveria bassiana	41
21	hyphes et mycélium du beauveria bassiana	41
22	aspect morphologique de metarhizium anisopliae	45
23	aspect microscopique du metaehizium anisopliae	45
24	conidies de metarhizium anisopliae var anisolpiae,conidies de metarhizium anisopliae var majus	46
25	aspect macro /microscopique de verticillium lecanii	49
26	aspect microscopique du alternaria sp	51
27	clé d'identification des mucédinés à conidies disposées en têtes	53
28	les compartiments des écosystèmes terrestres tempérés ou B.bassiana et M.anisopliae se produisent naturellement	56
29	tableau périodique des éléments métalliques	60

Table des matières

	N°
Introduction	A-B
Chapitre 01 : le petit pois	
1. Origine et historique du petit pois.	4
2. Production et consommation	5
2.1. En Algérie	5
2.2. Dans le monde	5
3. Classification du petit pois	7
4. Caractéristique du petit pois	7
4.1. Feuille	9
4.2. Tige	9
4.3. Fleur	10
4.4. Fruits	11
5. Cycle de développement de petit pois	12
6. Les exigences écologiques climatique et agronomique de la plante	13
6.1. Température.....	13
6.2. Sol	13
6.3. Besoin d'eau	14
6.4. Apport d'eau et rendement de la culture	14
6.5. Absorption de l'eau	15
6.6. Programmation de irrigations	15
6.7. Rendement et qualité	15
7. Importance de la culture de petit pois	16
7.1. Importance nutritionnelle	16
7.2. Importance agronomique	18
Chapitre 02 : les ravageurs du petit pois	
1. La sitone	20
1.1. Dégâts dus à la sitone	21
1.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte	21
2. Le thrips	21
2.1. dégâts dus au thrips	22
2.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte	22
3. La tordeuse du pois	23
3.1. Dégâts dus au à la tordeuse	24
3.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte	24
4. Noctuelle défoliatrice	24
4.1. Dégâts dus à la noctuelle	25
4.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte	25
5. Le puceron vert	25
5.1. Dégâts dus au puceron vert	27

Table des matières

5.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte	27
Autre ravageurs du pois	27
1. La bruche du pois	27
1.1. Descriptifs du bruche	27
1.2. Symptômes du bruche sur les pois	28
1.3. Méthodes de lutte biologique contre la bruche du pois	28
2. La cécidomyie du pois	28
2.1. Les dégâts	29
2.2. La lutte contre lacécidomyie du pois	30
3. La limace sur pois d'hiver	30
3.1. Période de présence	31
Chapitre 03 : les champignons entomopathogènes	
1. Généralité sur les champignons	33
2. Les champignons entomopathogènes.....	34
2.1. introduction.....	34
2.2. la définition des champignons entomopathogènes.....	34
2.3. le cycle biologique des champignons entomopathogènes.....	35
2.4. la classification des champignons entomopathogènes.....	36
2.5. le mode d'action des champignons entomopathogènes.....	37
2.5.1. l'adhésion.....	38
2.5.2. la germination.....	38
2.5.3. la pénétration,multiplication,et la dissémination.....	38
3. exemples des champignons entomopathogènes.....	40
3.1. le champignon entomopathogène beauveria bassiana.....	40
3.1.1. historique et description.....	40
3.1.2. définition.....	41
3.1.3. morphologie.....	41
3.1.4. position systématique de beauveria bassiana.....	42
3.1.5. le mode d'action.....	42
3.1.5.1. l'adhésion.....	42
3.1.5.2. la germination.....	42
3.1.5.3. la différentaition.....	42
3.1.5.4. la pénétration.....	43
3.1.6. les avantages de beauveria bassiana.....	43
3.1.7. l'importance de beauveria bassiana.....	44
3.2. metarhizium anisopliae.....	44
3.2.1. taxonomie.....	44
3.2.2. morphologie.....	45
3.2.3. mode d'action.....	46
3.2.3.1. la phase d'adhésion.....	46
3.2.3.2. la phase de germination.....	46
3.2.3.3. la phase de pénétration.....	47
3.2.4. avantages de l'utilisation de metarhizium anisopliae.....	47
3.3. verticillium lecanii.....	48
	48

Table des matières

3.3.1. taxonomie.....	48
3.3.2. morphologie.....	49
3.3.3. importance de verticillium lecanii.....	49
3.4. alternaria sp.....	50
3.4.1. taxonomie.....	50
3.4.2. morphologie.....	51
3.4.3. importance d'alternaria sp.....	51
3.5. fusarium sp.....	51
3.5.1. taxonomie.....	52
3.5.2. morphologie.....	53
4. les facteurs affectant l'efficacité des champignons entomopathogènes.....	54
4.1. facteurs dépendant de l'hôte.....	54
4.2. facteurs de l'environnement.....	54
4.2.1. rayonnement solaire.....	54
4.2.2. température.....	55
4.2.3. humidité.....	55
4.2.4. effet du sol.....	
Chapitre 04 : l'impact des métaux lourds sur les champignons	58
1. généralité sur les métaux lourds.....	58
2. définition des métaux lourds.....	60
3. origine des métaux lourds.....	61
4. les différents sources des métaux lourds.....	61
4.1. les sources naturelles.....	61
4.2. les sources anthropiques.....	62
5. les différents types de métaux lourds.....	62
5.1. les métaux essentiels.....	62
5.2. les métaux non essentiels.....	63
6. rôle des métaux lourds.....	63
7. impact des métaux lourds sur l'environnement.....	63
8. impact des métaux lourds sur les mycètes.....	64
9. toxicité des métaux lourds pour les mycètes.....	65
10. la résistance des souches fongiques aux métaux lourds.....	65
10.1. la tolérance.....	66
10.2. la résistance.....	66
10.2.1. les mécanismes de résistance.....	66
10.2.1.1. l'absorption.....	67
10.2.1.2. la bioaccumulations.....	68
10.2.1.3. la précipitation des composés métalliques sur des hyphes.....	

Introduction

Introduction

Le petit pois (*Pisum sativum*) est une plante légumineuse, annuelle cultivée à travers le monde et utilisé en alimentation humaine et animale. La production mondiale en pois a atteint son optimum en 1990 avec une production qui avoisine 16,5 millions de tonnes. A partir de l'année 2000, la production mondiale s'est stabilisée autour de 10 millions de tonnes .

En Algérie les conditions climatiques et du sol sont très favorables à sa culture, laquelle s'étend sur une superficie de 21200 ha avec une production annuelle de 632900 Qx, soit un rendement de 29,9Qx/ha

Malheureusement, la culture du pois peut subir des ravages par une large gamme d'agents pathogènes comprenant des champignons, des bactéries, des virus, des insectes et des nématodes qui sont responsables de nombre dégâts directs aux plantes cultivées par leur régime alimentaire ou leur mode de vie parasite ou indirect lorsqu' ils sont vecteurs de maladies virales par exemple [1]

Les champignons entomopathogènes étant considérés comme des agents de mortalité des insectes naturels et sûrs par rapport à l'environnement, on s'intéresse dans le monde entier à leur utilisation et leur manipulation pour la lutte biologique contre les insectes et d'autres ravageurs arthropodes. En particulier, les phases asexuées de champignons ascomycocètes (*Beauveria* sp., *Lecanicillium* sp., *Metarhizium* sp., *Paecilomyces* sp., etc.) sont très étudiées en raison de leurs caractéristiques favorisant leur utilisation comme insecticides biologiques.[2]

Au cours des dernières années, la pollution par les métaux lourds est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus graves [3].

Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc, et le mercure ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités : en agriculture par l'application de boues d'épuration ou dans l'industrie métallurgique [4].

la présence de métaux lourds diminuait la biomasse microbienne soit directement soit en inhibant certaines propriétés biochimiques du sol indispensables à sa survie. Cependant l'action des métaux est souvent spécifique, certains microorganismes résistants peuvent survivre à un stress environnemental extrême, alors que d'autres plus sensibles disparaissent en présence de ces nouvelles contraintes.

Introduction

Les métaux sont directement absorbés par les champignons entomopathogènes en fonction de leur besoins nutritifs [5].

Notre travail s'articule sur :

1 : identifier l'effet et les dommages des ravageurs sur le petit pois.

2 : le principe de travail des champignons entomopathogènes comme lutte biologique contres ces ravageurs pour maintenir la production du petit pois.

3 : la relation entre les métaux lourds et les champignons entomopathogènes.



Chapitre 01 : le petit pois

1. Origine et historique du petit pois

Le petit pois, aussi appelé pois potager l'un des plus vieux légumes cultivés en Europe et Asie. En Iran. En Palestine, en Grèce ou en encore en suisse, le petit pois était déjà présent il y a 10.000ans. Sa consommation fraîche est relativement récente. Il s'est implanté en France au XVII siècle en passant par l'Italie et les pays – bas. Il se développa rapidement autour de Paris [6].

Des traces évidentes d'utilisation du pois ont été retrouvées dans de nombreux vestiges. Il y a 9 à 10.000 ans en Anatolie en Iran. En Grèce et en Palestine. d' où l'idée que le pois serait originaire de l'Orient. De l'Inde ou de Perse. et qu'il aurait ensuite été importé en Asie mineurs et en Europe par les peuples aryens. importation très ancienne, puisque des pois ont été trouvés à l'âge de bronze en suisse dans les cités lacustres [7].

Des reste de pois datant de deux millénaires avant jésus christ ont également été découverts à Paris autour de l'arc de Carrousel au Louvre. L'antiquité grecque avec le botaniste Théophraste (300 ans avant J.C) connaissait le pois ainsi que l'antiquité latine avec Pline et Columelle. Actuellement il existe plusieurs milliers de variétés de pois dans le monde, qui résultent d'un travail important de sélections entrepris depuis plus d'un siècle.

Au moyen – âge le pois constituait avec les céréales la principale ressource alimentaire pendant les fréquentes famines. Puis il faut cultiver comme légume frais, le pois devient alors un légume printanier très appréciée. Le développement des industries de la conserve et de la surgélation permet de fournir aux consommateurs ce légume cuisiné prêt à l'emploi toute l'année. De 1950 à 1975, la culture du pois fut en pleine expansion. En 25 ans, la conserverie du petit pois atteignait 2700000 tonnes de pois et 510000 tonnes de pois carotte à l'échelle mondiale [8].

Ainsi , depuis très longtemps , le pois a été utilisé en alimentation humaine et animale sous différentes formes : plante entière , gousse , grains frais au sec , avec les différents types de pois sauvage , fourrage , potager de conserve , de casserie et protéagineux [9].

2. Production et consommation

2.1. En Algérie

Les légumineuses alimentaires en Algérie ont toujours occupé, sur le plan de la superficie, elles occupent le troisième rang après les céréales et les fourrages. Leur superficie soit de l'ordre de 90 mille ha représentant 0,21% de la superficie agricole utile en 2014. Les espèces les plus cultivées sont dans l'ordre : **le pois sec**, la fève, le pois chiche, les lentilles et le haricot sec (tableau 01) [10]. Les régions les plus occupées par la culture de pois sont : Skikda, Guelma, Ain t'émouchent et Ain Alda fla.

Tableau 01 : Représentation de la superficie et la production de petit pois par rapport aux autres légumineuses alimentaires en Algérie en 2016 [11] .

Cultures	Superficie(Ha)	Production(T)/an	Rendement(T/Ha)
Fève/féverole	39977	44807,4	1,12
Pois chiche	25497	24903,3	0,98
Petit pois	11213	11050,3	0,98
Lentilles	6330	4945,4	0,78
Haricot sec	1788	1420,7	0,79
Gesse	265	265,0	1
Total	85070	87392,2	

2.2 Dans le monde

Selon les statistiques de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture en 2007, la production mondiale de pois frais s'est élevée à 8264767 Qx. pour une surface ensemencée de 1087674 hectares, soit un rendement moyen de 7,6 Qx par hectare [12].

Les deux principaux producteurs de pois frais, Chine et Inde, représentent près de 70% du total mondial. (Tableau 02) [12] :

Tableau 02 : Principaux pays producteurs du pois frais [12].

Pays	Surface cultivée (milliers d'hectares)	Rendement (quintaux par hectare)	Production (milliers de tonnes)
Chine	251,0	10,0	2508,5
Inde	282 ,0	8,1	2292,7
Etat Unis	87,0	10,1	875,0
France	30,5	11,6	355,0
Royaume Uni	33,3	9,9	330,0
Egypte	27,0	10,4	280,0
Maroc	18,0	6,1	110,0
Turquie	14,5	7,0	101,4
Hongrie	16,5	5,6	92,0
Italie	13,0	6,9	90,0
Algérie	25,0	3,5	87,5
Pérou	25,5	3,4	86,5
Pakistan	11,0	7,6	83,0
Canada	15,9	4,4	69,3

3. Classification de petit pois

La classification du petit pois est dans le tableau suivant : (Tableau 03) :

Tableau 03 : Classification du petit pois [13].

Règne:	Plantae (plantes)
Sous Règne :	Tracheobionta (plantes vasculaires).
Embranchement :	Spermatophyta (plantes à graines).
Sous Embanchement :	Magnoliophyta (Angiospermes, Phanérogames ou plantes à fleurs)
Classe :	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Sous Classe :	Rosidae
Ordre :	Fabales
Famille :	Fabaceae (Fabacées, papilionacées ou légumineuses)
Genre :	<i>Pisum</i>
Espèce :	<i>Pisum sativum</i> L.

4. Caractéristique du petit pois

Le petit pois (*Pisum sativum* L) C'est une plante diploïde : ($2n=14$ chromosome) ; appartient à la famille des légumineuse (Fabacées) [14], autogame [15], annuelle , parfois cultivée comme une bisannuelle . Sa croissance est indéterminée suivant les variétés, C'est – à – dire que le nombre de nœuds de la tige n'est pas fixé génétiquement mais reste sous la dépendance de facteurs externes. (Figure 01) [16] :



Figure 01 : Corpt générale de petit pois (*Pisum sativum L.*) [17].

4.1. Feuille

Les feuilles normales sont composées pennées. Mais de nombreuses variations sont apparues, indépendantes les unes des autres. Elles peuvent être combinées. Certaines d'entre elles, particulièrement la variation *afila*, présentant un grand intérêt agronomique [18].

4.2. Tige

La tige creuse et cylindrique présente une croissance indéterminée. L'apex de la tige principale différencie des nœuds alternes successifs. Les premiers formés sont végétatifs et peuvent donner naissance à des ramifications, puis à partir d'un nœud donné caractéristique de la variété, ils deviennent reproducteurs. Des fleurs, puis des gousses contenant plus ou moins de graines, se développent à partir de chaque nœud reproducteur. Les formes grimpantes de pois, à l'inverse de celle des haricots à rame, ne sont pas volubiles. Elles s'accrochent à des vrilles. (Figure 02) [18] :



Figure 02 : feuille et tige du petit pois [19].

4.3. Fleur

Les fleurs isolées ou groupées par deux ou trois au niveau d'un nœud, apparaissent en fonction de la précocité, dès le septième nœud pour les variétés les plus précoces et au vingtième pour les plus tardives, les nœuds étant comptés à partir des cotylédons. Ce caractère génétique est aussi influencé par le milieu. Il peut même varier d'une plante à l'autre au sein d'une même lignée, ce qui rend parfois délicate l'inscription variétale [18].

La fleur typique des fabacées, ne s'ouvre pas (cléitogamie). Le pois doit donc considéré comme une espèce strictement autogame, bien que quelques insectes Hyménoptères (Hylocopes et Mégachiles) puissent être responsables des rares hybridations naturelles. Toutes les variétés sont hybrides, il faudrait trouver des mutants à fleurs ouvertes, une source de stérilité-male ainsi qu'un transporteur de pollen efficace. La production de semences artificielles pourrait également être envisagée, après micropropagation de graines hybrides. Mais devant la complexité de ces techniques et la rentabilité qui reste à démontrer des lignées pures restent encore présentes pendant longtemps. (Figure 03) [18]:



Figure 03:fleur du petit pois [20].

4.4. Fruits

Les fruits sont des gousses (ou cosses), ordinairement de couleur verte, mais il existe des variétés à gousses jaunes ou violette. Elles sont droites ou légèrement courbées à deux valves et d'une longueur de 4,5 à 8 cm. Les gousses contiennent en moyenne 2 à 5 graines. Les graines de couleur verte, jaune ou brune, sont souvent tachetées de couleur violette. Elles sont globulaires, lisse ou ridées et pourvues d'un petit hile elliptique qui contient des cotylédons jaunes. (Figure 04) [18]:



Figure 04 : fruit du petit pois [20].

4.5. Système racinaire

Le petit pois forme une racine principale pivotante développée et des racines secondaires latérales. Des nodules globulaires fixateurs de l'azote de l'air peuvent se développer sur la racine principale des jeunes plants. (Figure 05) [18] :



Figure 05 : Système racinaire du petit pois [21].

5. Cycle de développement de petit pois

Le cycle de développement du petit pois comprend deux périodes : périodes végétative et périodes reproductrice.

Période végétative : s'étend de la germination jusqu'à la ramification. La germination du petit pois est hypogée (Les cotylédons restent dans le sol) sa durée est entre 15 et 25 jours

Période reproductrice : cette période est marquée par l'apparition est le développement des nœuds pour la première fleur. Les fleurs naissent à l'aisselle des feuilles, les pédoncules de longueur variable, une, deux et parfois trois fleurs au plus. (Figure 06) [22] :

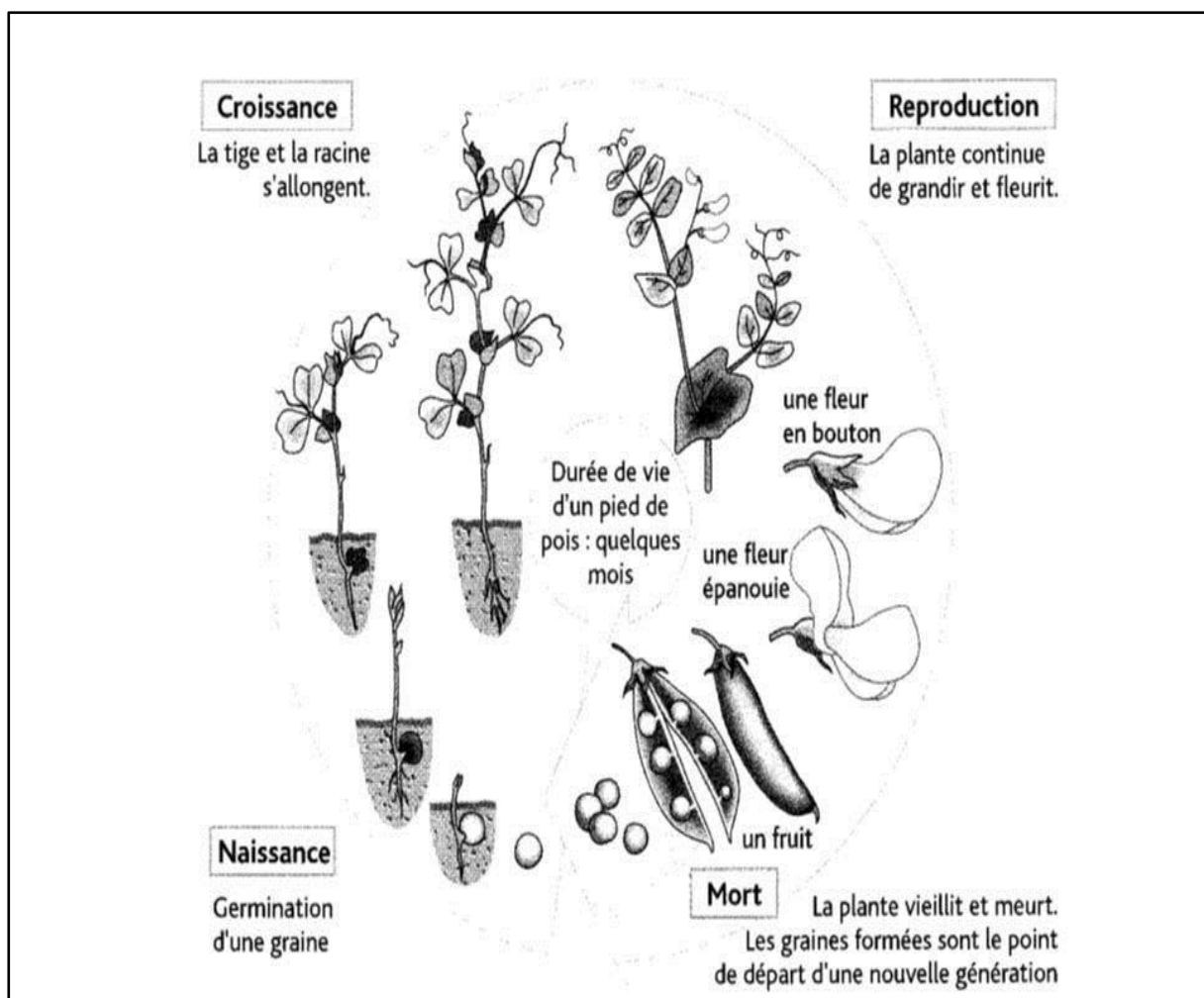


Figure 06 : Cycle de vie de petit pois [23].

6. Les exigences écologiques, climatiques et agronomiques de la plante

Le pois est une culture maraîchère utilisée à la fois pour le produit frais et pour les pois secs. Il a besoin d'un climat relativement frais.

6.1. Température

Le pois est une culture de climat frais avec une température journalière moyenne optimale de 17C°, un minimum de 10C° et un maximum de 23C°. La germination est influencée par la température du sol, à 5C°, la germination prend 30 jours ou plus, à 10C° 14 jours environ et de 20 à 30C° 6 jours environs. Les jeunes plants peuvent tolérer un gel léger qui, par contre, endommage les fleurs et les cosses vertes. Sous les tropiques, près de l'équateur, on cultive le pois à environ 1 500 m d'altitude, ou en culture d'hiver dans les régions éloignées de l'équateur. Le cycle végétatif normal est de 65 à 100 jours pour les pois frais, et de 20 jours de plus pour les pois secs, sous climats frais, il est plus long (Tableau 04) [24].

Tableau 04 : les périodes de croissance du petit pois [24] :

N° de période	période	Temps(en jour)	
		Pois frais	Pois secs
0	Installation	10-25	10-25
1	Végétation	25-30	25-30
2	Floraison	15-20	15-20
3	Formation du produit	15-20	20-25
4	Murissement	0-5	15-20
		65-100	85-120

6.2. Sol

Les pois viennent bien sur la plupart des sols ayant un bon drainage et un ph de 5,5 à 6,5. Les besoins d'engrais sont d'environ 20 à 40 Kg/ha de P et 80 à 160 kg /ha de K. Ils ont la possibilité de fixer l'azote de l'atmosphère, qui satisfait leurs besoins pour des rendements élevés. Néanmoins, une dose de départ de 20 à 40 Kg/ha de N est bénéfique pour un bon début de croissance [24].

6.3. Besoin d'eau

Les besoins d'eau (ET_m) du pois sont analogues à ceux du haricot (350 à 500 mm). Le coefficient cultural (K_c) qui met en rapport l'évapotranspiration maximum (ET_m) et l'évapotranspiration de référence (ET_o) et le suivant : 0,4 pendant la période initiale (10 à 25 jours) ; 0,7 – 0,8 pendant le stade de développement (25 à 30 jours) ; 1,05 – 1,2 pendant le stade intermédiaire (25 à 30 jours) ; 1,0 – 1,15 pendant le dernier stade (5 à 10 jours) pour le pois frais et 0,65 – 0,75 (20 à 30 jours) pour le pois sec, enfin 0,95 – 1,1 à la récolte (pois frais) et 0,25 – 0,3 (pois sec) [24].

6.4. Apport d'eau et rendement de la culture

Les périodes sensibles en ce qui concerne les déficits hydriques sont la floraison et la formation du produit. Un apport d'eau non limité pendant la période végétatif stimule la croissance végétative mais n'influe pas nécessairement sur le rendement en pois ; un déficit d'eau pendant cette période influe relativement peu sur le rendement. De même, un déficit hydrique pendant la période de murissement des pois secs a un effet minime sur le rendement [24].

Quand les précipitations sont insuffisantes, des arrosages effectués pendant la période de floraison augmentent le nombre des gousses commercialisées et le nombre de grains par gousse ; pendant la période de formation du produit, ils augmentent le poids tant des gousses que des grains. La culture a tendance à se flétrir plus facilement en période de pénurie d'eau si elle n'en a eu suffisamment pendant les périodes précédentes [24].

Pour obtenir des rendements élevés, il faut que le tarissement de l'eau du sol ne dépasse pas 60% du total de l'eau disponible pendant la période végétatif, 40% pendant les périodes de floraison et formation du produit. Des arrosages très fréquents et trop légers donnent un murissement inégal. Quand la récolte se fait en une seule cueillette, il est parfois recommandé de suspendre l'apport d'eau pendant la dernière partie de la période de formation du produit pour accélérer le murissement des gousses les plus développées. Cela s'applique en particulier aux variétés qui ont une période de murissement prolongées et non uniforme [24].

Quand les disponibilités en eau sont limitées, on obtient une production totale élevée en satisfaisant complètement les besoins d'eau de la culture sur une superficie limitée plutôt qu'en étendant la superficie et en satisfaisant particulièrement les besoins [24].

6.5. Absorption de l'eau

Le pois a une racine pivotante et de nombreuses racines latérales fines. La profondeur d'enracinement dans les sols profonds peut aller jusqu'à 1 à 1,5 m, mais la profondeur efficace d'absorption d'eau se limite généralement aux 60 à 100 premiers centimètres ($D=0,6 - 1,0$ m). Le schéma d'absorption sur l'épaisseur du sol dépend beaucoup néanmoins des pratiques d'irrigation. L'absorption de l'eau en relation avec ET_m est peut influencée par tarissement de l'eau du sol allant jusqu'à environ 40% du total disponible ($P=0,4$) [24].

6.6. Programmation des irrigations

Le tarissement de l'eau du sol correspondant au rendement optimal ne doit pas dépasser sous la plupart des climats 40% du totale de l'eau disponible, ce qui donne général des fréquences d'irrigation de 7 à 10 jours. Quand l'eau est rare, l'irrigation doit être suffisante pendant les périodes de floraison et de formation du produit, des économies étant possibles pendant les périodes de végétative et de mûrissement. Quand il n'est pas possible d'arroser fréquemment, l'apport d'eau doit être programmé comme suit : une pré-irrigation, arrosage à la floraison et au moment de la formation du produit respectivement, ou une seule irrigation environs 40 à 60 jours au moins après la pré-irrigation [24].

6.7. Rendement et qualité

Quand les arrosages sont irréguliers, les gousses et les graines sont de calibre moins uniforme, leur couleur varie davantage, de même que la date à laquelle elles arrivent à maturité. Un fort déficit hydrique vers la fin de la formation du produit donne des graines coriaces, de médiocre qualité. En générale une augmentation de la dimension des pois s'accompagne d'une diminution de leur teneur en sucre, de leur tendreté et d'un accroissement des teneurs en amidon et protéines. Pour obtenir un produit de bonne qualité, il est essentiel de fixer correctement la date et la récolte. Sous des climats favorables, les bons rendements sous irrigation sont de 2 à 3 tonnes /ha de pois frais décortiqués (70 à 80 % d'humidité) et de 0,6 et 0,8 t/ha pois secs (12% d'humidité). L'efficacité de la consommation d'eau par rapport au rendement récolte (EY) est d'environ 0.5 à 0,7 Kg/ m³ pour les pois frais et d'environ 0.15 à 0.20 Kg / m³ pour les pois sec [24].

7. Importance de la culture de petit pois

7.1. Importance nutritionnelle

Frais ou secs, les ont en commun d'être des aliments riches en énergie et en protéines.

Les pois secs sont comparables à d'autres légumineuses (haricots secs, lentilles, fèves sèche, pois chiches), et aux céréales par leur valeur énergétique (330 Kcal/100 g). La partie glucidique des pois est formée essentiellement d'amidon (50%) et de sucres (6 %) saccharose et oligosaccharides [25] .

Les pois sont aussi riches en protéines. Celles-ci, à teneur élevée en lysine, sont toutefois déficientes en certains acides aminés essentiels comme la méthionine et de tryptophane. En les associant avec des aliments à base de céréales tel que le pain, qui sont au contraire déficients en lysine, on obtient une bonne complémentarité. Les pois sont une bonne source de minéraux : potassium, phosphore, calcium et fer ; ainsi que de vitamines B, notamment de folâtre, vitamine B9 et vitamine C. Ils se distinguent également par leur très faible teneur en matières grasses. Les petits pois sont plus riches en eau (74 %) et en sucres solubles que les pois secs, Ils sont aussi intéressants pour leurs apports en fibres. (Tableau 05) [26] :

Tableau 05 : valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de pois [27].

Glu/lipides/port	Vitamines	Sels Minéraux	Acides aminés essentiels	Divers
Glucides 56g	Vitamine B1 0,7mg	Calcium 60mg	Isoleucine 930mg	Eau 12g
Lipides 1.7g	Vitamine B2 0,2mg	Chlore 50mg	Leucine 1480mg	Fibre 15g
Protides 23g	Vitamine B3 3,1mg	Fer 5,5mg	Lysine 1620 mg	Cellulose 5g
	Vitamine C 3mg	Potassium 930mg	Méthionine 210mg	
	Vitamine K 93mg	Magnésium 130mg	Phénylalanine 1000mg	
		Sodium 40mg	Thréonine 860mg	
		Phosphore 380mg	Tryptophane 210mg	
		Soufre 219mg	Valine 1000mg	
		Zinc 3,5mg		

7.2. Importance agronomique

Souvent, l'agriculteur est intéressé par la culture de pois visant ses atouts agronomiques. En effet, le pois est capable de fournir ses besoins en azote par une simple fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Cette fixation se fait grâce à une interaction entre les plantes de pois et les souches de *rhizobium* qui sont des bactéries Gram négatif, en forme de bâtonnets mobiles. Ces bactéries induisent chez la plante la formation des nodules sur les racines. En grande culture, l'agriculteur peut utiliser le pois en tête de rotation pour profiter de l'enrichissement du sol en azote. Malgré ces caractéristiques nutritionnelles et agronomiques, une régression des superficies des cultures des légumineuses et en particulier le pois a été observée. Cette régression est due à plusieurs contraintes biotique est abiotique, notamment les ravageurs et les maladies [28].

Chapitre 02 : les ravageurs du petit pois

Les ravageurs du pois

1. La sitone

La présence de sitones du pois se reconnaît aux encoches circulaires qu'elles créent en bordure des feuilles [29].

Leurs larves qui s'attaquent aux nodosités et aux jeunes racines affaiblissent les plantes et peuvent provoquer des pertes de rendement [29].

Ce coléoptère au corps allongé de 4-5 mm de long et de couleur gris brun se reconnaît à ses élytres (ailes rigides) rayées et à son rostre (prolongement rigide de la tête) court. Sa larve est apode (sans pattes), de forme arquée, de couleur blanche avec une tête jaunâtre à brun. Sa taille varie de 0,5 à 6 mm suivant les stades. (figure 07) [29] :



Figure 07 : la sitone du pois [29]

L'activité de la sitone adulte reprend en avril. Elle s'attaque aux jeunes cultures en consommant le bord des feuilles [29].

Elle pond ses œufs sur les feuilles ou les tiges entre mai et juillet [29].

Les jeunes larves s'enfoncent dans le sol et se développent pendant 30 ou 40 jours, d'abord aux dépens des nodosités bactériennes puis des radicelles et des racines [29]

1.1. Dégâts dus à la sitone

La sitone provoque des dégâts de deux natures :

- 1- Les adultes attaquent les jeunes feuilles de pois, provoquant sur les feuilles des encoches circulaires caractéristiques qui peuvent limiter la densité des jeunes semis

[29].

- 2- Les larves s'attaquent ensuite aux nodosités et aux jeunes racines. Elles entraînent ainsi une mauvaise alimentation de la culture et des chutes de rendement et de qualité

[29].

1.2. Seuil d'intervention et moyens de lutte

- 1- Surveiller de la levée du pois jusqu'au stade 6 feuilles [29].
- 2- Les attaques se traduisent par des piqûres alimentaires provoquant des arrêts de croissance et un dessèchement des feuilles [29].
- 3- Traiter à partir de 1 thrips par plante, à partir de stade 50 à 80 % de plantes levées [29].

2. Le thrips

Le thrips du pois, du lin et des céréales (*Thrips angusticeps*) - à ne pas confondre avec le thrips du pois (*Frankliniella robusta*) - s'attaque aux cultures de pois protéagineux dès leur levée. Il peut être contrôlé par une intervention insecticide [30].

Petit insecte allongé de 1 à 2 mm de long, marron foncé à noir, le thrips du pois, du lin et des céréales de première génération est pourvu d'ailes très courtes. L'adulte de deuxième génération possède deux paires d'ailes frangées, très étroites [30].

La larve ressemble à l'adulte [30].

L'adulte de première génération entre en activité à partir du mois d'Avril dès que la température atteint 7 à 8 °C. Il s'installe au moment de la levée des pois sur les cotylédons et les jeunes plantules [30].

Il se nourrit par prélèvement de sève, tout comme les larves issues des pontes (Figure 08) [30].



Figure 08 : thrips du pois [30].

2.1. Dégâts dus au thrips

Les dégâts sont dus directement aux piqûres des adultes et des larves sur les jeunes folioles, qui deviennent dure, se déforment et prennent une coloration jaunâtre marbrées. C'est souvent le premier symptôme repéré par les agriculteurs [30].

1. En cas d'attaque grave, des symptômes sont observés à partir du stade deux feuilles
2. Les plantes initient de nombreuses ramifications, restent chétives et souvent naines
3. Les feuilles sont gaufrées avec des taches jaunes ou brunes [30].
4. Les dégâts sont d'autant plus importants que le pois est peu poussant [30].

Remarque : une autre espèce de thrips (*Frankliniella robusta*, le thrips du pois) est aussi présente sur pois. Elle se caractérise par des attaques plus tardives à partir de la floraison et peut provoquer des affaiblissements de pousses, colorations argentées des feuilles ou des gousses, déformations des gousses et nanisme [30].

2.2. Seuil d'intervention et moyens de lutte

1. Les cultures de pois sont à surveiller jusqu'au stade 6 feuilles, la limite de sensibilité du pois aux attaques du thrips [30].
2. Un traitement insecticide doit être réalisé dès que l'on dénombre au moins 1 thrips par plante à partir du stade 50 à 80 % de plantes levées [30].

3. La tordeuse du pois

Les tordeuses du pois colonisent les parcelles se pois protéagineux dès le printemps. Elles sont nuisibles à la culture lorsqu'elles effectuent leurs vols à partir de début floraison. La lutte chimique est possible, mais elle doit être très précise, car elle doit viser les chenilles avant qu'elles ne pénètrent dans les gousses [31].

Ce papillon marron gris de 1.5 cm environ d'envergure, possède de longues antennes et des ailes antérieures brun olive avec des reflets jaune ocre et sur leur bord des taches blanches et jaunes. Ses ailes postérieures sont grises et en forme de ' toit ' au repos [31].

La larve est une chenille blanc jaunâtre de 13 à 18 mm de long en fin de développement avec la tête et la plaque thoracique brunes (Figure 09) : [31].

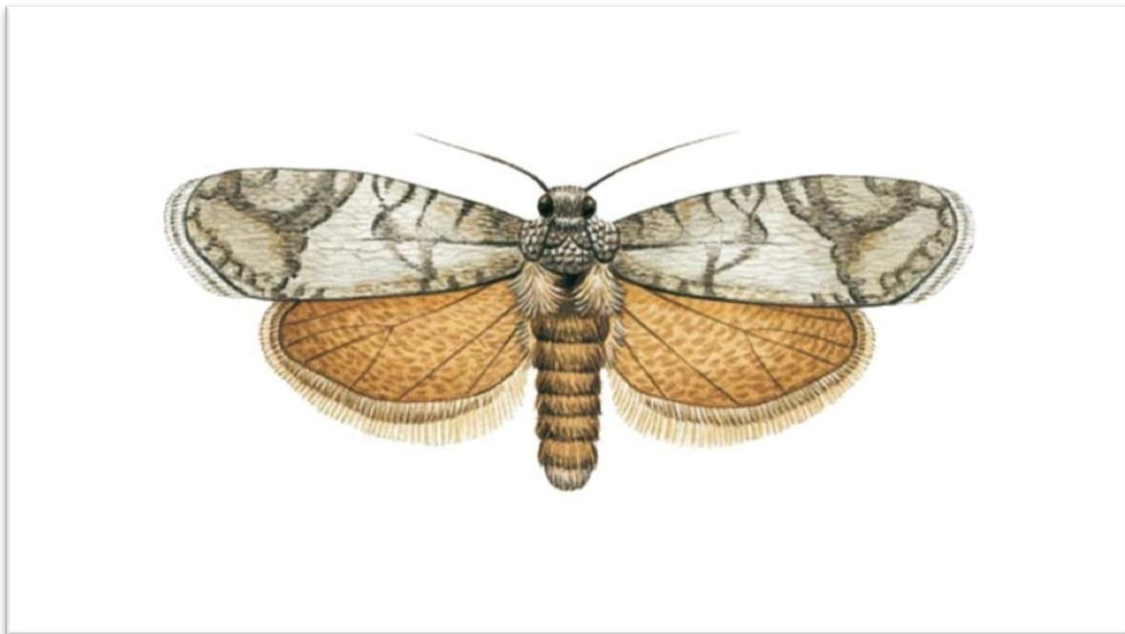


Figure 09 : la tordeuse du pois [31].

Les chenilles font ensuite leur apparition au stade « baladeur » pendant environ 24 heures, avant de pénétrer dans les jeunes gousses dont elles consomment les grains pendant 18 à 30 jours. Elles gagnent ensuite le sol pour hiverner sous forme de cocon [31].

3.1. Dégâts dus à la tordeuse

1. La consommation des grains par les chenilles (jusqu'à 6 grains par chenille) est responsable de pertes de rendement et de qualité importantes [31].
2. De l'extérieur, les plantes ne montrent pas de symptômes visibles. Les points de pénétration des chenilles peuvent cependant favoriser le développement de certains champignons [31].
3. Le niveau de dégâts dépend de l'importance du vol et du stade des pois au moment de l'arrivée des tordeuses dans les parcelles (la période la plus sensible est la floraison [31].

3.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte :

1. Pour être efficace, le traitement doit viser le stade << baladeur >> des chenilles, avant la pénétration dans les gousses [31].
2. La lutte contre la tordeuse est basée sur le suivi des populations d'adultes par piégeage sexuel (phéromone) à partir du stade début de floraison du pois. Les larves issues de papillons qui volent avant ce stade ne se développent pas faute de gousses [31].
3. Les seuils d'intervention sont définis par un cumul de piégeage (400 captures pour les pois protéagineux, 50 à 100 captures pour les pois de conserve ou les productions de semences [31].
4. En cas de persistance des vols, le traitement devra être renouvelé [31].

4. Noctuelle défoliatrice

La noctuelle défoliatrice colonise les parcelles de pois protéagineux a partir de la mi-mai [32].

Ce sont les chenilles de la deuxième génération qui sont les plus préjudiciables à la culture [32].

Ce papillon d'environ 35 mm d'envergure, possède des ailes antérieures brunes acajou marquées au centre d'une petite tache blanche et, vers les extrémités, de petits points noirs disposés longitudinalement. Les ailes postérieures sont gris sale [32].

Les œufs blanchâtres sont répartis en lignes de 10 à 40 œufs [32].

La larve, qui mesure de 30 à 35 mm, se reconnaît à sa tête arrondie, jaune verdâtre, ornée de quelques lignes sombres, et à son corps verdâtre à brun rougeâtre avec trois lignes longitudinales dorsales blanchâtres et une bande longitudinale latérale jaune. (Figure 10) [32] :



Figure 10 : La Noctuelle défoliatrice du pois

On observe en général trois générations par an : le papillon effectue son premier vol vers la mi-mai, le deuxième en juillet-août et le troisième en septembre-octobre. Il pond à chaque fois des œufs qui donnent les chenilles de la génération suivante [32].

Il s'agit d'un ravageur très polyphagie, capable de se nourrir de très nombreuses plantes [32].

4.1. Dégâts dus à la noctuelle

Les chenilles se nourrissent des feuilles et des tiges. Ce sont les larves issues de la deuxième génération qui sont les plus préjudiciables aux cultures [32].

4.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte

Intervenir en début d'attaques sur jeunes larves [32].

5. Le puceron vert

Le puceron vert du pois colonise les parcelles de pois protéagineux dès le printemps [33].

Il peut provoquer jusqu'à 20q/ha de perte de rendement et une diminution du poids de 1000 grains. Les cultures sont surveillées [33].

Il s'agit d'un puceron vert clair, au corps allongé, de 2.2 à 3 mm, et aux yeux rouges [33].

Il dispose de cornicules (tubes situés sur le dos) et d'une queue longue et ses antennes sont aussi longues que son corps [33].

La larve est semblable à l'adulte mais sans queue. (Figure 11) [33] :



Figure 11 : Le puceron vert du pois [33].

Le puceron vert du pois passe l'hiver sous forme d'œufs, souvent dans des parcelles de luzerne [33].

Les individus ailés apparaissent au printemps et colonisent les parcelles de pois, se localisant de préférence à la base des fleurs, sur les organes les plus jeunes des plantes en pleine floraison ou à l'extrémité des tiges [33].

Plusieurs générations s'y succèdent [33].

5.1. Dégâts dus au puceron vert

Les fortes populations du puceron provoquent affaiblissement des jeunes pousses qui jaunissent et se dessèchent. Elles peuvent aussi entraîner l'avortement des fleurs [33].

Les dégâts peuvent toucher tous les organes de la plante, y compris les jeunes gousses [33].

La nuisibilité peut atteindre 20 q/ha en cas d'attaque précoce et une perte du PMG (poids de mille grains) [33].

Les dégâts sont surtout dus aux piqûres effectuées par les adultes et les larves pour se nourrir, mais les pucerons peuvent aussi transmettre certaines maladies virales (mosaïques, jaunisses) et, par la production de miellat, limiter la photosynthèse des plantes [33].

5.2. Seuil d'intervention et moyen de lutte

Une intervention avec un insecticide efficace est nécessaire lorsque le seuil de 20 à 30 pucerons par tige est atteint en début de floraison [33].

Autres ravageurs du pois

1. La bruche du pois

1.1. Descriptif du bruche

Le bruche, *Bruchus pisorum*, est un insecte monophage (une seule plante hôte) très redoutable. Elle s'attaque exclusivement aux pois et les rend inutilisable, aussi bien pour la consommation humaine, que pour un usage agricole comme semence (détériore le pouvoir germinatif des grains). (Figure 12) [34] :



Figure 12 : la bruche du pois [34].

1.2. Symptômes du bruche sur les pois

Dans les grains mures attaquées par *Bruchus pisorum*, on remarque la formation des perforations rondes avec au fond, une cavité cylindrique. à l'intérieur, on constate, très souvent, la présence des coléoptères de couleur brun noir, d'environ 5 mm de longueur et ayant des taches blanches sur les élytres [34].

1.3. Méthodes de lutte biologique contre le bruche du pois

Bio en ligne souligne que la seule et unique mesure écologique à prendre pour prévenir une infestation majeure de *Bruchus pisorum* est l'utilisation de graines et semences saines et indemnes, ne contenant pas le ravageur [34].

2. La cécidomyie du pois

La cécidomyie du pois est une espèce d'insectes diptères nématocères de la famille des Cecidomyiidae [35].

C'est un ravageur du pois, de la fève et du pois de senteur, qui provoque la formation de galles dans les organes floraux de ces plantes [35].

La cécidomyie du pois (*Contarinia pisi*) est un tout petit diptère à l'aspect de moucheron gris avec de longues pattes tel un moustique. Elle ne mesure que 2 à 3 mm et elle est donc difficile à observer. On aperçoit plutôt les vols de très nombreux individus formant de petits « nuages » de vols de mouchérons avec des pics de vols en fin de journée. Ils peuvent se déplacer de quelques centaines de mètres de l'emplacement des cultures de l'année précédente jusqu'aux nouvelles cultures de l'année [36].

Ses œufs blancs sont quasiment invisibles car ils ne mesurent que 0.5 mm de diamètre, Sa larve est un petit asticot blanc, sans pattes bien sûr, mesurant de 1 à 3 mm en fin de croissance [36].

Les nymphes jaune – orangé sont abritées dans des cocons formés de soie et de terre.

(Figure 13) [36] :



Figure 13 : la cécidomyie du pois [37].

2.1. Les dégâts

La cécidomyie apparaît au stade bouton floral encore protégé par les feuilles [36].

1. Les fleurs n'évoluent pas, se transforment en galles [36].
2. Les calices des fleurs sont déformés et hypertrophiés jusqu'à atteindre parfois 1 cm de diamètre [36].
3. La corolle est non épanouie et le bouton floral prend l'aspect d'une noisette [36].

2.2. La lutte contre la cécidomyie du pois

En cas de faibles attaques :

Repérez les plans attaqués à la suite du premier vol puis arrachez – les et brûlez – les. Ce sera dans la plupart des cas suffisant [38].

Vous pouvez compléter cette action par des pulvérisations répétées de décoction d'absinthe (à action répulsive) sur vos plans de pois, notamment en fin d'après – midi [38].

S'il s'agit d'une attaque de grande ampleur, vous ne pouvez envisager une lutte insecticide chimique que sur les moucheron en vol. En effet, larves et pupes en sont protégées [38].

Et comme la bonne fenêtre de traitement (plusieurs jours de vols possibles et horaires pouvant varier selon les conditions climatiques du moment) est difficile à optimiser, le résultat est le plus souvent peu efficace avec des produits non systémiques :

Les produits autorisés à être employés en agriculture pour la protection des protéagineux et de leurs grains sont à base de deltaméthrine à large spectre d'activité et d'action prolongée. Ils sont très toxiques, entre autres pour tous les insectes butineurs, abeilles comprises [38].

Leur emploi pour lutter contre la cécidomyie des pois est donc déconseillé pour le jardinier amateur car leurs inconvénients pour l'environnement sont disproportionnés par rapport aux dégâts potentiels provoqués par ce ravageur [38].

3. La limace sur pois d'hiver

Deux types : noirs ou gris (plus longues) [39].

1. Activité nocturne [39].
2. Actives par temps humide et couvert [39].
3. Attaque par foyer, sur les bords de parcelle notamment [39].
4. Symptômes sur pois d'hiver : Lacérations peu d'incidence en règle générale.

(Figure 14) [39] :



Figure 14 : la limace du pois [39].

Les attaques de limaces sont peu fréquentes sur les pois [39].

3.1. Période de présence

La figure 15 présente la période de présence de limaces

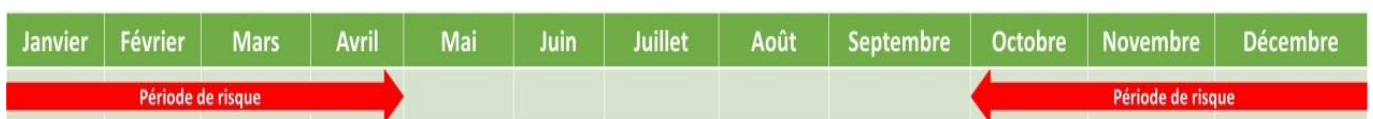


Figure 15 : La période de présence de limaces [39].

Chapitre 03: les champignons entomopathogènes

1. Généralité sur les champignons

Les champignons représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur terre et jouent un rôle clé dans un grand nombre d'écosystème. Ce sont des organismes thallophytes eucaryotes, tous dépourvus de chlorophylle et sont tous hétérotrophes [40].

On distingue trois modes de vie :

1. Certains sont saprophytes et se nourrissent de matières organiques mortes .ils participent à l'élaboration de l'humus et des sols [40].
2. Les parasites s'accroissent aux dépens d'autres cellules vivantes [40].
3. Une dernière catégorie est symbiotique, c'est-à-dire qu'elle établit avec une autre espèce un équilibre à bénéfices réciproques [40].

Concernant leur mode de nutrition, les champignons se nourrissent par absorption [40].

Ils dégradent la matière organique à l'extérieur des leurs cellules grâce à leur enzymes lytiques [40].

Ils peuvent également se nourrir par phagocytose

(Figure 16) [40].



Figure 16 : les champignons dans le sol [40].

Leur mode de reproduction est sexuée ou asexuée .les spores produites peuvent avoir un rôle dans la dispersion des champignons, mais peuvent également jouer un rôle dans la survie de l'organisme lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables [40].

Classiquement, les champignons étaient regroupés dans un règne distinct, celui des eumycètes ou cinquième règne. Les classifications les plus récentes font apparaître les champignons dans le règne unique des eucaryotes et plus précisément dans le groupe des Opisthokonta.

la classification des champignons est d'abord basée sur un mode de reproduction sexuée ou phase téléomorphe [40].

Ce critère définit quatre des cinq groupes principaux : Les chytridiomycètes, Les zygomycètes, Les basidiomycètes et les ascomycètes. Certaines moisissures sont les plus souvent ou exclusivement rencontrées à un stade de multiplication asexuée, dit anamorphe. Ces organismes alors classés d'après le mode de production des spores asexuées ou conidies [40].

2. Les champignons entomopathogènes

2.1. Introduction

Les premières observations scientifiques des champignons entomopathogènes ont eu lieu aux environs des années 1830, avec l'ouvrage de Bassi, 1853 sur la muscardine du ver à soie [41].

Parmi les microorganismes utilisés en lutte biologique, plus de 700 espèces de champignons sont entomopathogènes [41] et jouent un rôle important dans la régulation naturelle des populations d'insectes [42].

Ces champignons entomopathogènes sont des agents de lutte de grand intérêt puisqu'ils ont l'avantage d'affecter tous les stades de développement de l'insecte, y compris les œufs [43]. Des études réalisées sur différents isolats fongiques ont montré que les entomopathogènes comme *Beauveria bassiana* et *Metharizium anisopliae* peuvent être des agents prometteurs pour le contrôle du phytophage [44].

2.2. La définition des champignons entomopathogènes ou entomophage

1. Entomopathogène : tout microorganisme susceptible d'induire des maladies chez les insectes [45].
2. Entomophage : qui se nourrit des insectes [45].
3. 750 espèces parmi les 110000 espèces des champignons décrites [45].

4. Pathogènes uniques en leur genre car ils infectent les insectes en passant au travers de leur cuticule sans qu'il y ait besoin qu'ils soient ingérés [45].
5. Représentent un moyen de lutte biologique propre et durable contre une large gamme d'insectes phytophages [45].
6. Utilisation professionnelle à l'échelle mondiale est encore marginale :
7. Plus chers que les produits phytosanitaires [45].
8. Efficacité variable et soumise aux aléas climatiques [45].

2.3. Le cycle biologique des champignons entomopathogènes

Le cycle biologique des champignons entomopathogènes diffère légèrement selon les groupes taxonomiques, mais il comprend toujours une phase parasitaire (de l'infection de l'hôte jusqu'à la mort de ce dernier) et une phase saprophyte (après la mort de l'insecte-hôte). La survie de ces champignons, et leur reproduction, est dépendante de l'infection d'insectes-hôtes et entraîne invariablement la mort de ceux-ci [46].

Ces champignons se fixent généralement à la surface externe du corps des insectes sous la forme de spores microscopiques (il s'agit généralement de spores mitosporiques asexuées également appelées conidies). Dans des conditions favorables de température et d'humidité (généralement élevées), ces spores germent se développent sous forme d'hyphes et colonisent la cuticule de l'insecte ; finalement ils traversent la cuticule et atteignent la cavité du corps de l'insecte (hémocèle) (voir la figure 17).

Ensuite les cellules fongiques prolifèrent dans la cavité du corps de l'hôte, généralement sous forme d'hyphes dotées de parois cellulaires ou sous la forme de protoplastes sans parois (selon l'espèce de champignons impliquée). Au bout d'un certain temps l'insecte est généralement tué (parfois par des toxines fongiques) et de nouvelles propagules (spores) se forment dans l'insecte si les conditions environnementales sont à nouveau favorables, une forte humidité est généralement nécessaire pour la sporulation (Figure 17) [46].

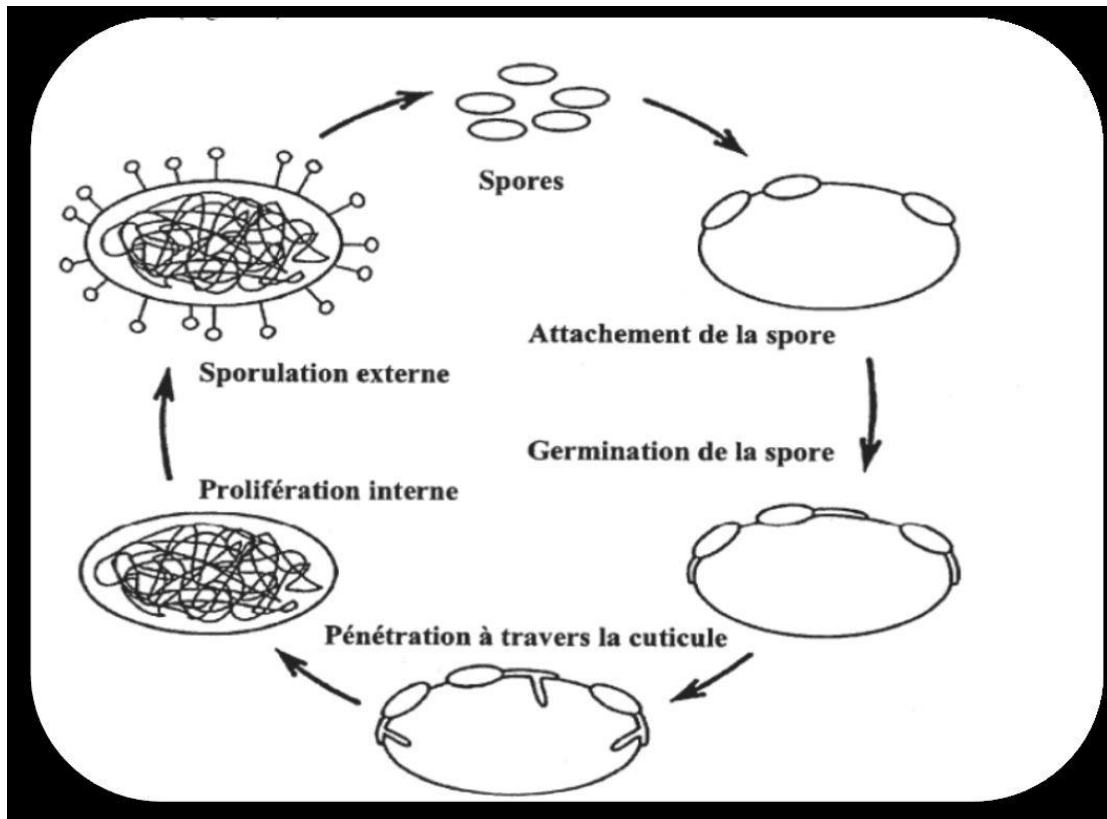


Figure 17 : le cycle biologique des champignons entomopathogènes [47].

2.4. Classification des champignons entomopathogènes

D'après Ferron (1975) et selon la classification d'Ainsworth et Bisby (1971) in Hawksworth, les champignons entomopathogènes appartiennent à 4 groupes :

Les champignons imparfaits, les Entomophthorales, les Coelomomyces et les Ascomycètes.

A présent, la systématique ou l'étude de la diversité biologique en vue de sa classification, se concentre, à la lumière des découvertes récentes, sur une classification phylogénétique

remplaçant la classification classique [47]. La classification classique établit des groupes ou taxons en fonction d'un simple critère de ressemblance globale. Une classification phylogénétique suppose que l'on regroupe les êtres vivants en fonction de leurs liens de parenté [48].

A la suite de l'avènement de la biologie moléculaire, de nombreux concepts taxonomiques ont changé. Cela va conduire à l'abandon des termes de Deutéromycètes, hyphomycètes et Fungi Imperfecti [49], dans lequel de nombreux champignons entomopathogènes ont été habituellement classés, et leur reclassement dans le Phylum Ascomycota [50].

Actuellement, les champignons entomopathogène appartiennent à quatre divisions différentes [51].

Chytridiomycota,

Zygomycota,

Basidiomycota et Ascomycota

2.5. Mode d'action des champignons entomopathogène

Généralement les champignons entomopathogènes tuent ou réduisent la vigueur des hôtes qu'ils infectent. Ces ennemis naturels sont plus efficaces lorsque l'insecte ciblé est préalablement affaibli par un autre facteur comme un stress nutritif. Compte tenu de leur mode de transmission et leurs besoins abiotiques, ils sont généralement très efficaces lorsque la densité des populations d'insectes ciblés est très élevée, quoi qu'il en soit, le système immunitaire des insectes peut fortement influencer la pathogénicité de ces ennemis naturels.

La cuticule de l'insecte est une barrière structurellement et chimiquement complexe pour la pénétration des champignons. Les champignons peuvent infecter les insectes par pénétration directe à travers la cuticule, au contact de la cuticule de l'insecte, la spore, l'unité infectieuse des champignons, germe et pénètre au travers du tégument en combinant des pressions mécanique et enzymatiques [52].

Le champignon croit rapidement dans l'hémocoel. Les insectes susceptibles au champignon meurent généralement dans un délai de 3 à 10 jours. Quand l'insecte meurt, le champignon entre dans un stade hyphale, colonise les organes internes puis sporule à la surface de l'insecte.

Le cycle infectieux est généralement le même pour tous les champignons entomopathogènes le processus de pénétration est l'étape la plus importante de la pathogène.

Le mode d'infection des champignons entomopathogènes se divise en quatre étapes distinctes : l'adhésion, la germination, la pénétration et la dissémination [53].

2.5.1. L'adhésion

L'adhésion est généralement assurée par les spores qui se fixent sur la cuticule au premier contact avec l'insecte. La réussite de l'infection dépend, entre autre, de la quantité de l'inoculum, des conditions climatiques et de la densité de l'hôte. Deux types de spores peuvent assurer l'infection des insectes, les spores sèches et les spores visqueuses. Le premier type utilise une combinaison de forces électrostatique et chimique pour s'adhérer à la cuticule de l'hôte.

Quant au deuxième type, il s'attache à son hôte à l'aide d'une substance visqueuse adhésive [54].

2.5.2. La germination

La germination des spores dépend à la fois de la température et de l'humidité du milieu, ainsi que sur les substances nutritives contenues dans celles – ci . Après la fixation des spores sur l'hôte, ces dernières émettent un tube germinatif qui traverse les assises supérieures de l'insecte pour pénétrer à l'intérieur de celui-ci. Des moyens physiques et enzymatiques facilitent la pénétration. Aussitôt pénétré, le champignon forme l'appressorium qui lui permet le prélèvement des substances nutritives nécessaires à son développement et à sa reproduction .Cependant, il existe des champignons entomopathogènes qui ne pénètrent jamais à l'intérieur de l'hôte, mais ils forment leur appressorium sur la cuticule même et procèdent au prélèvement de la nourriture en employant une combinaison de substances enzymatiques leur permettant la dégradation de la cuticule de l'arthropode [55].

2.5.3. La pénétration, multiplication et la dissémination

A l'intérieur de l'hôte, le champignon commence son développement et sa propagation dans les tissus de l'insecte. La réussite de l'attaque dépend, entre autre, de la capacité de

l'entomopathogènes à dépasser les mécanismes de défense employés par l'hôte (quinines et mélanines) pour faire face à cette attaque. La colonisation de l'hôte dépend alors de la capacité des champignons à surmonter la réponse immunitaire ou de l'insecte à se défendre (mélanisation, réponse cellulaire, etc.). Après une phase de développement des champignons dans l'hémocoel, les tissus (corps gras, tissu intestinal, tube de Malpighi) sont attaqués, provoquant l'arrêt du processus d'alimentation de l'insecte, du stade de l'insecte, de sa taille et de la température ambiante.

Il n'est pas surprenant, vu la complexité de la cuticule, que les champignons entomopathogènes aient besoin d'une série d'enzymes hydrolytiques pour assurer la pénétration cuticulaire et fournir la nourriture nécessaire à la croissance. On connaît surtout la protéase. Cette enzyme a une forte activité sur la cuticule des insectes et est la protéine prédominante produite pendant la formation de l'appressorium. Lorsque l'insecte meurt, le champignon sécrète un antibiotique, l'oosporine, qui lui permet de surmonter la compétition des bactéries intestinales. Il s'ensuit une momification du cadavre transformé en sclérote, phase nommée saprophyte (Figures 18 et 19) [56].

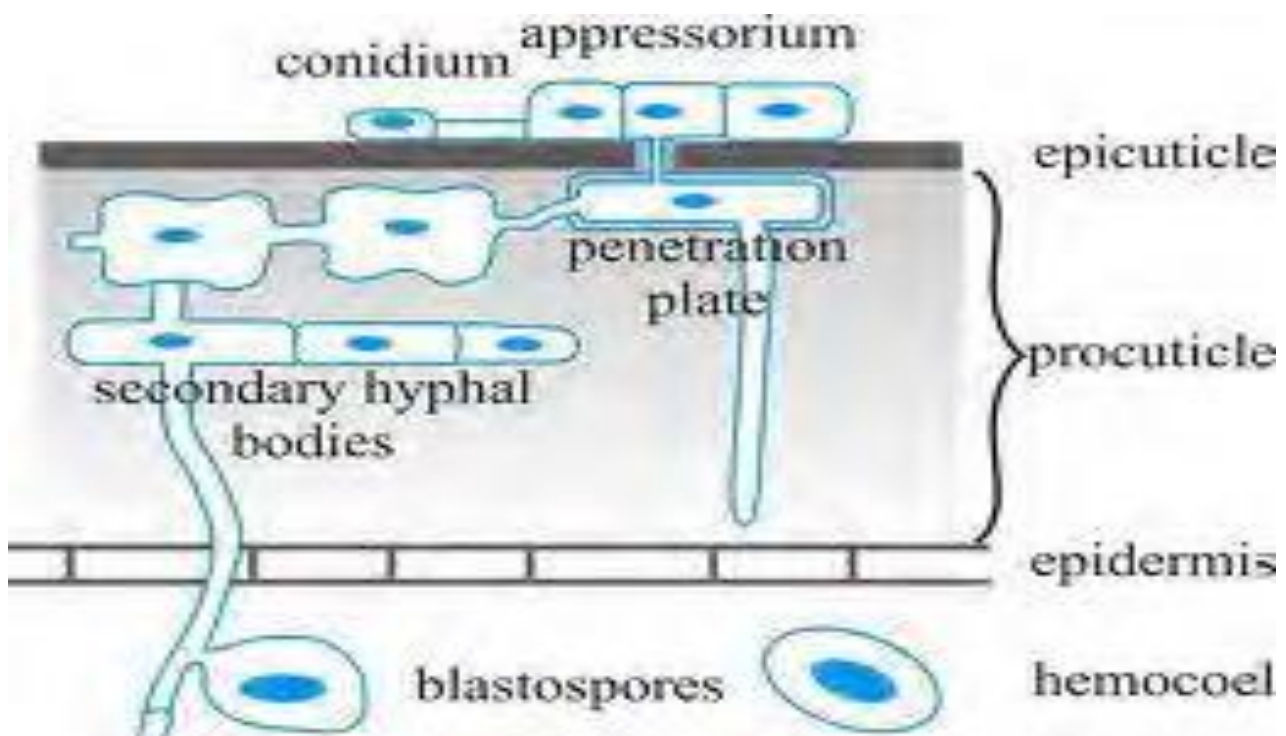


Figure 18: Mode de pénétration des champignons entomopathogènes dans la cuticule des insectes [57].

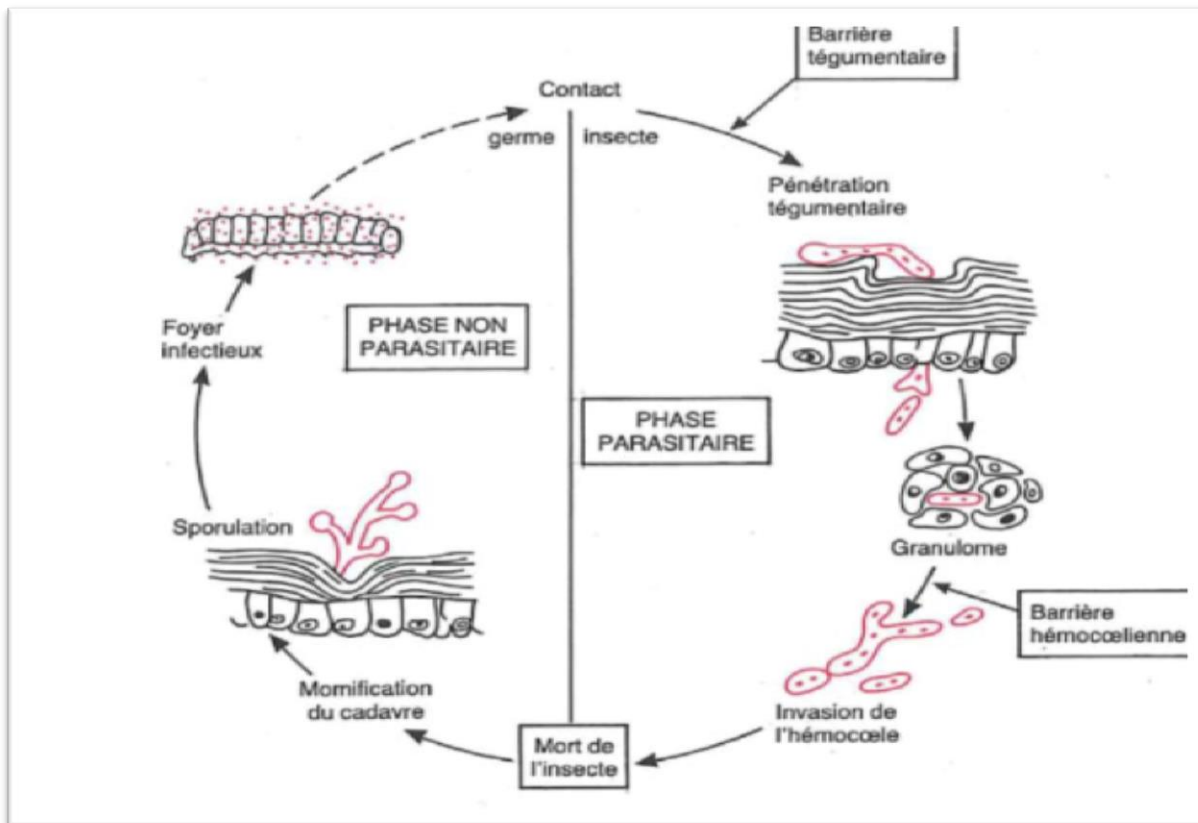


Figure 19: Schéma du mode d'action des champignons entomopathogènes [53].

3. Exemples des champignons entomopathogènes

3.1. Le Champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* Vuillemin, 1912

3.1.1. Historique et description

B. bassiana (Hyphomycète) est un microchampignon pathogène pour de nombreux insectes. Sa pathogénicité a été démontrée pour la première fois par Agostino Bassi de Lodi (1835), le précurseur des études des maladies infectieuses, en démontrant pour la première fois qu'un micro-organisme pouvait être responsable de maladie infectieuse chez l'animal. *Beauveria sp.* a été décrit par la suite par Jean Beauverie en 1911 sous le nom de *Botrytis bassiana*. Le genre a été établi par Vuillemin en 1912 et fut classé dans l'ordre des Hyphomycètes [58].

3.1.2. Définition

Beauveria bassiana est une espèce de champignon qui vit naturellement au sol. Cet organisme vivant se comporte comme un parasite. Il infecte différents groupes d'invertébrés (insectes, acariens, etc.). Plusieurs souches de *Beauveria bassiana* existent. L'avantage des souches commercialisées est qu'elles ciblent mieux les ravageurs tels les pucerons, les thrips et les aleurodes [59].

3.1.3. Morphologie

Les espèces de *beauveria* produisent les colonies cotonneuses blanches à jaunâtre. Les conidies ou spores (figure 20) sont soutenues par de long filament en zigzag qui sont des hyphes transparents et septaux (figure 21) avec un diamètre de 2.5 à 25 μm . Les conidies sont produites sur des épis courts, donnant aux cellules conidiogènes un aspect épineux. En présence d'air le champignon produit des conidiospores de forme sphérique ou ovales mais en milieu anaérobie, il produit des blastospores de forme ovale. Les blastospores sont aussi infectieux que les conidies (Figure 20 et 21) [60].

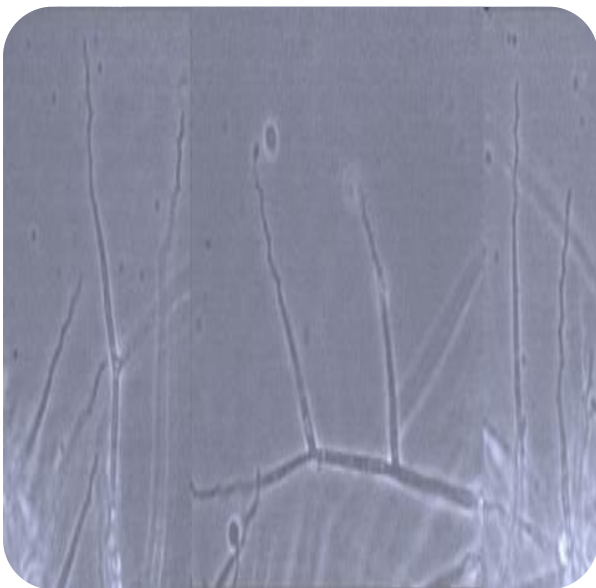


Figure 20: Unité infectieuse: Spore de *Beauveria bassiana* [60].



Figure 21. Hyphes et mycélium de *Beauveria bassiana* [60].

3.1.4. Position systématique de *Beauveria bassiana*

De Kouassi en 2001 rapporte que la classification la plus complète de *Beauveria bassiana* est celle de Mugnai en 1989 et qu'elle serait issue d'études morphologiques et de tests enzymatiques (Tableau 06) [61].

Embranchement	mycètes
classe	deutéromycètes
ordre	hyphomycètes
famille	moniliaceae
genre	<i>Beauveria</i> beauverie 1911
espèce	<i>Beauveria bassiana</i> vuillemin

Tableau 06 : la classification du *Beauveria bassiana* [61].

3.1.5. Le mode d'action

Le mode d'infection de *B. bassiana* se divise en quatre étapes distinctes qui sont **l'adhésion, la germination, la différenciation; la pénétration.**

3.1.5.1. L'adhésion

L'adhésion est caractérisée par un mécanisme de reconnaissance et de compatibilité des conidies avec les cellules tégumentaires de l'insecte.

Cette phase se scinde en deux étapes distinctes, la première passive ou l'attachement à la cuticule est réalisée grâce à des forces hydrophobiques et électrostatiques et la seconde active caractérisée par la production d'un mucilage qui va engendrer une modification épicuticulaire aboutissant à la germination [62].

3.1.5.2. La germination

Après la phase d'adhésion, la germination va être dépendante des conditions environnantes et aussi de la physiologie de l'hôte; (composition biochimique de la cuticule de l'hôte) qui peut favoriser ou inhiber la germination [63].

3.1.5.3. La différenciation

L'avant dernière phase est la différenciation caractérisée par la production d'appressorium, structures terminales qui vont servir de point d'encrage, de ramollissement de la cuticule et

favoriser la pénétration. La production des appressoria est très dépendante de la valeur nutritive de la cuticule de l'hôte. Une cuticule nutritive va stimuler la croissance myceliale plutôt que la pénétration [64].

3.1.5.4. La pénétration

La dernière phase est la pénétration de l'hôte qui se fait par la combinaison de pression mécanique et enzymatique telles que les lipases, les protéases et les chitinases, la plus importante dans la pénétration étant les protéases [65]. Certaines souches produisent des toxines non enzymatiques telles que la beauvericine, les beauverolides, les bassianolides, les isarolides qui accentuent et accélèrent le processus d'infection. La colonisation de l'hôte se fait lorsque le champignon parvient à surmonter les mécanismes immunitaires de défense de l'insecte et envahit l'hémolymphe. À la mort de l'insecte, le champignon produit un antibiotique Oosporin qui va lui permettre de surmonter la compétition des bactéries du tube intestinal de l'insecte. La phase saprophyte va être caractérisée par la mummification du cadavre transformé en sclérote. Les hyphes traversent le tégument préférentiellement au niveau intersegmentaire puis le recouvre d'un feutrage mycellien blanc cotonneux qui va amorcer la formation des conidiospores. On utilise le terme muscardine pour caractériser le feutrage mycellien blanc cotonneux en référence aux bonbons muscardines produit en France [66].

3.1.6. Les avantages de *beauveria bassiana*

Avantage de *B. bassiana* par rapport aux autres agents de lutte microbiologique :

1. Le large spectre d'action et la virulence de *B. bassiana* ont permis de l'utiliser avec succès en milieu agricole en Europe de l'Est
2. Les premiers résultats positifs dans la répression des ravageurs avec *B. bassiana* en Amérique ont été obtenus aux USA
3. La pathogénécité de l'inoculum sporal et la spécificité de l'hôte sont deux paramètres importants dans le choix de l'isolat fongique
4. Le microchampignon entomopathogène *B. bassiana* est un agent de lutte très intéressant du fait qu'il peut infecter l'hôte par ingestion ou par simple contact contrairement aux autres agents de lutte micro-biologiques
5. Ce mode d'action particulier rend tous les stades (oeuf, larve, adulte) sensibles

6. *B. bassiana* peut être produit en masse à moindre coût et peut être appliqué avec les méthodes conventionnelles
7. Il n'est pas dangereux pour les vertébrés et certains isolats comme ceux utilisés dans cette thèse sont très virulents et spécifiques aux ravageurs visés, ce qui est un critère intéressant pour l'entomofaune non cible. De plus, les conidies ont une assez longue persistance dans l'environnement pouvant permettre naturellement des enzooties ou épizooties [67] .

3.1.7. L'importance de *beauveria bassiana*

Importance de *B. bassiana*. Par son mode d'infestation (ingestion ou simple contact avec l'hôte), *B. bassiana* est un agent de lutte très intéressant De kouassi en 2001. Ce champignon a l'avantage de ne pas faire partie des agents pathogènes dangereux pour l'homme et pour les animaux à sang chaud [68] .

3.2. *Metarhizium anisopliae*

Metarhizium anisopliae était le premier pathogène utilisé délibérément pour le contrôle des insectes ravageurs par le Russe Eli Metchinnicoff (le père de la lutte microbiologique) dans les années 80. Il a été isolé et identifié sur la paille de céréale près d'Odessa en Ukraine sous le nom *Anisopliae austria* ou il l'a nommé *Entomophthora anisopliae* . En 1883 Sorokin assigna ce champignon à la muscardine verte au genre *Metarhizium* . Depuis il est connu sous le nom de *Metarhizium anisopliae* [69] .

3.2.1. Taxonomie

La classification de ce genre a été basée sur des caractères morphologiques des cellules et des conidies. et comme ces caractéristiques sont assez limitées elles ont compliqué la taxonomie.[69] .

1. **Règne :** *Fungi*
2. **Embranchement :** Dikarya
3. **Sous-embranchement :** *Ascomycota*
4. **Classe :** *Pezizomycotina*
5. **Ordre :** *Hypocreales*
6. **Famille :** *Clavicipitaceae*
7. **Genre :** *Metarhizium*

8. Espèce : *Metarhizium anisopliae*

3.2.2. Morphologie

Les caractéristiques taxonomiques dominantes sont les traits morphologiques des structures de sporulation. Le genre *Metarhizium* est défini par l'agencement des chaînes porteuses de phialides, des colonies de conidies cylindriques ou légèrement ovotides, sèches et généralement de couleur verte. Les colonies sont formées d'une agrégation de ces chaînes conidiennes [70]. *Metarhizium anisopliae* apparaît blanc lorsqu' il est jeune et il devient vert foncé après la maturation des spores (Figure 22).



Figure 22 : Aspect morphologique de *Metarhizium anisopliae* [71].

Cette espèce est caractérisée par des conidiophores de longueur variable, sont relativement courts, irrégulièrement ramifiés ou non et arrangés en groupes compacts formant une masse de spores (figure 23), les spores étant allongées avec des cotés parallèles [72].

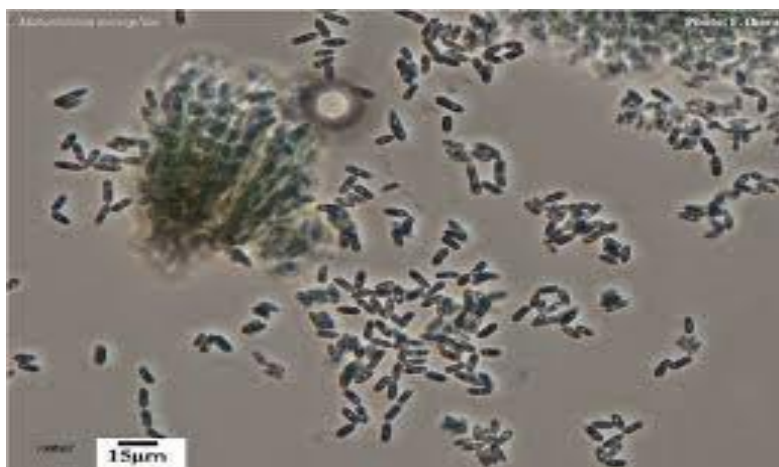


Figure 23 : aspect microscopique du *Metarhizium anisopliae* [72].

Il existe deux formes de *Metarhizium anisopliae* dont la différence se base sur la taille des conidies : la forme *Metarhizium anisopliae* var *anisopliae* à spores courtes, dont les conidies mesurent de 5 à 8 μm de longueur et (A) la forme *Metarhizium anisopliae* var *majus* à spores longues, dont les conidies mesurent de 10 à 14 μm de longueur (B) (Figure 24).

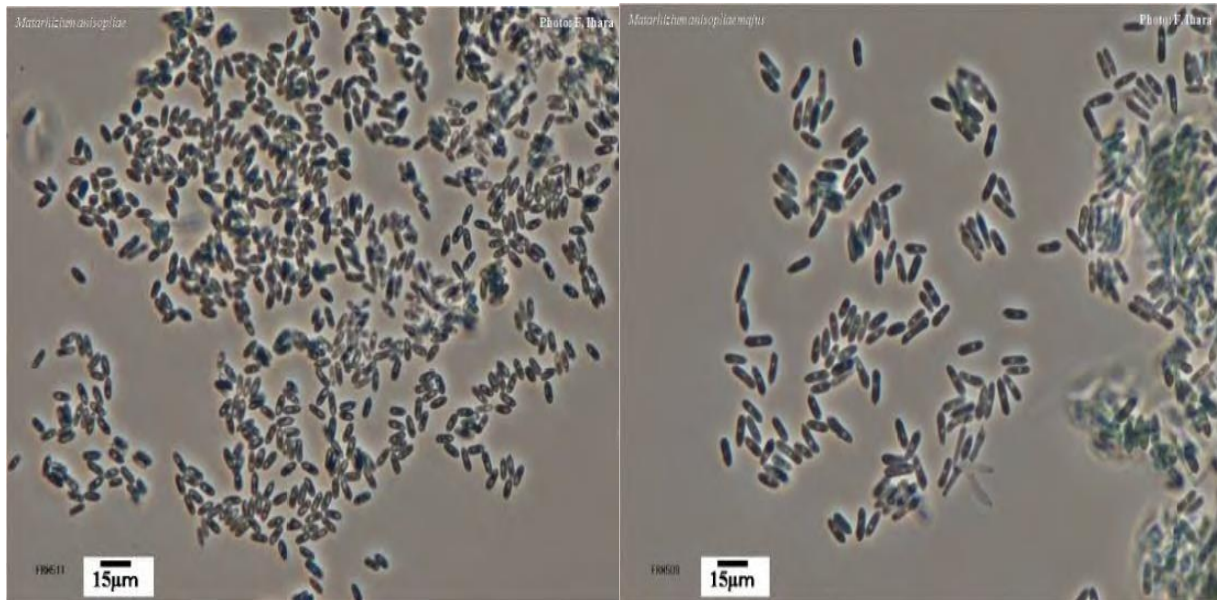


Figure 24 : (A) Conidies de *Metarhizium anisopliae* var *anisopliae* , (B) Conidies de *Metarhizium anisopliae* var *majus* [73].

3.2.3. Mode d'action

3.2.3.1. La phase d'adhésion

Les interactions entre les spores des champignons et la cuticule des insectes, incluent des phénomènes plus actifs. Les spores transportées mécaniquement se fixent sur la cuticule de l'insecte en produisant une couche de mucus adhésif [74] .

3.2.3.2. La phase de germination

Le champignon puise les éléments nutritifs dans le milieu environnant. Au niveau de la cuticule, les conidies donnent naissance à un tube germinatif. Sa longueur varie selon la composition de la cuticule 1989 [75] .

3.2.3.3. La phase de pénétration

La stratégie de pénétration de l'entomopathogènes à travers la cuticule de l'insecte est assurée par la formation d'un apprésorium: c'est un hyphe de pénétration qui dégrade la cuticule de l'insecte après une action enzymatique [75]. Une fois la cuticule hydrolysée des hyphes se développent dans l'hémocèle en blastopores. L'hémolymphe des insectes est complexe avec une composition de nitrogène et de carbone, source de nutriments pour les champignons. Au niveau de l'hémolymphe le champignon secrète des toxines sous le nom de destruxine cyclodeptidase. Elle serait impliquée dans un mécanisme cellulaire bloquant le contrôle de la synthèse du calcium en provoquant une paralysie suivie de la mort [75]

3.2.4. Avantages de l'utilisation de *Metarhizium anisopliae*

Le champignon *Metarhizium anisopliae* est devenu la pierre angulaire de plusieurs programmes de lutte intégrée, notamment dans les secteurs agricoles ou la présence de résidus de pesticides dans les aliments constitue une source de préoccupation majeure. Le champignon *M. anisopliae* est inoffensif pour la santé humaine, en plus d'être sans danger pour l'environnement [76] .

Plusieurs facteurs favorisent une plus grande utilisation de *M. anisopliae* dans le futur, en particulier l'augmentation des couts sociaux résultant de l'utilisation massive des pesticides chimiques et de production des nouveaux insecticides chimiques. Les Occasions d'utiliser cet entomopathogène conjointement à d'autres agents de lutte biologique et à diverses pratiques culturales et pesticides courants se sont accrues considérablement avec la découverte de nouveaux isolats plus efficaces, l'optimisation des formulations et l'amélioration des procédés d'application.

Le champignon *M. anisopliae* comporte d'autres avantages. En effet, son activité insecticide est plus rapide que d'autres agents entomopathogènes et sa durée de conservation est longue. De plus sa production exige des milieux de culture relativement peu dispendieux. Son application s'effectue à l'aide d'équipements standards, et ses effet sur les insectes bénéfiques et les organismes non ciblés sont nuls à négligeables [77]. Le champignon *M. anisopliae* peut infecter l'hôte par ingestion ou par simple contact, contrairement aux autres agents entomopathogènes, qui doivent être ingérés pour infecter [78]. Ce mode d'action particulier rend tous les stades (œuf, larve, adulte) sensibles. De plus, les conidies peuvent persister dans l'environnement par la propagation des enzooties ou des épizooties.

3.3. *Verticillium lecanii*

Verticillium lecanii est un champignon cosmopolite qui possède un spectre d'hôtes très large. Selon les souches, il peut contaminer différentes espèces d'arthropodes. Il peut aussi infecter d'autres ordres d'insectes tels que les coléoptères, les lépidoptères, des diptères ou les orthoptères. Les insectes sont infectés lorsqu'ils entrent en contact avec les spores fongiques collantes qui ensuite se développent et envahissent le corps des insectes qui ' ils dévorent de l'intérieurs. Le genre *Verticillium* comprend des espèces saprophytes mais surtout des espèces parasites dont très répandues dans les sols [79] .

3.3.1. Taxonomie

Le genre *Verticillium* fait partie du groupe des Ascomycètes. Il a été mis en évidence pour la première fois en 1816 par Nées von Esenbeck [80] .

Selon Martin – Lapierre, (2011) : le genre *Verticillium* se classe comme suit :

1. **Règne** : *Fungi*
2. **Embranchement** : Ascomycota
3. **Classe** : Sordariomycètes
4. **Sous – classe** : Hypocreomycetidae
5. **Ordre** : *Incertaedis*
6. **Famille** : Plectosphaerellaceae
7. **Genre** : *Verticillium*
8. **Espèce** : *Verticillium lecanii*

3.3.2. Morphologie

1. Caractères macroscopiques

La colonie type de *Verticillium lecanii* est blanche au jaune pâle et d'aspects cotonneux .

2. Caractères microscopiques

Les conidiophores sont dressés, de teinte claire et comprennent 3 à 4 groupes de verticilles, constitués de 3 à 4 phialides, d' où s'échappent de nombreuses conidies. Les conidies,

unicellulaires, ovoïdes à ellipsoïdes, s'agglomèrent dans un mucus à l'extrémité de chaque conidiophore (Figure 25) [79] .

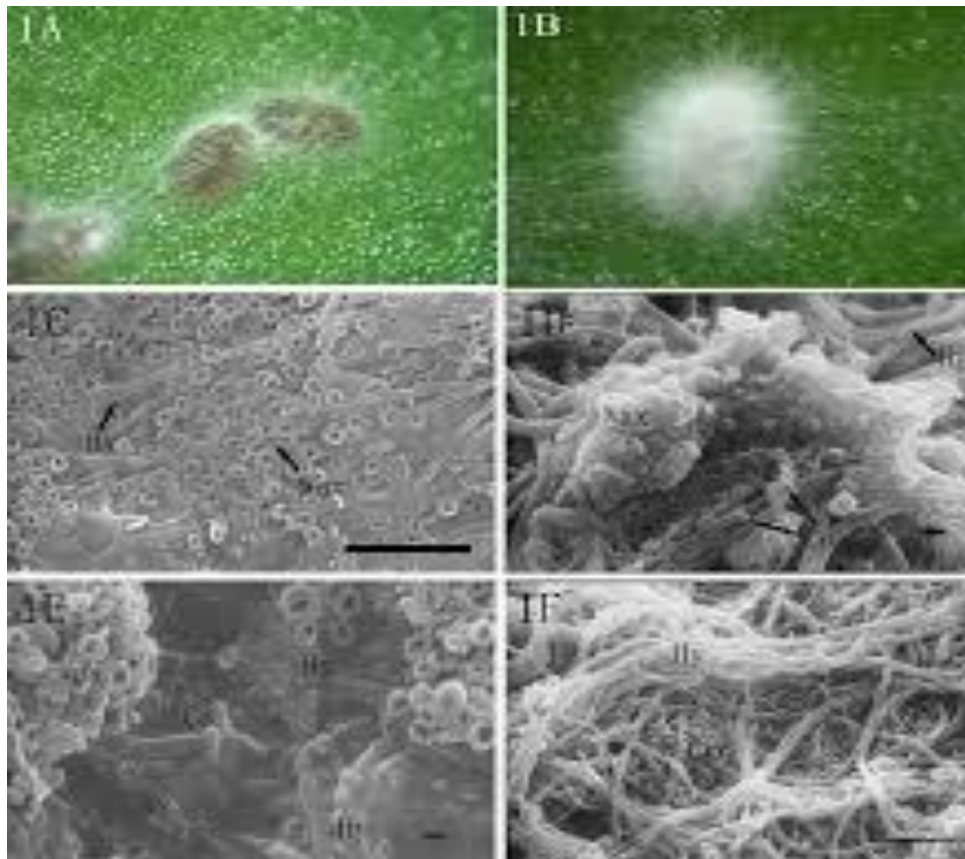


Figure 25 : Aspect macro/microscopique de *Verticillium lecanii* [79] .

3.3.3. Importance de *Verticillium lecanii*

Ce champignon a été observé sur plusieurs sortes d'insectes (pucerons, cochenilles, aleurodes), d'acariens et de nématodes. Ce champignon est souvent utilisé pour lutter contre la mouche blanche grâce à la facilité de son intégration dans un programme de protection biologique [80] .

Lorsque les mouches blanches sont infectées par *Verticillium lecanii* , elles meurent avant que le champignon ne soit visible . Les larves et les pupes deviennent, le plus souvent, de couleur jaune clair à jaune foncé, ridés et ne sont plus brillantes [80] .

3.4. *Alternaria* sp

Alternaria sp est un champignon filamenteux cosmopolite ubiquiste, communément isolé à partir de plantes, de sols, de nourritures corrompues ainsi que de l'air ambiant des habitations.

Alternaria est un pathogène de végétaux et d'insectes, se comporte surtout comme un parasite de faiblesse et se développe sur des plantes sénescents, sur des légumes, sur des débris organiques divers, sur le sol, sur des produits alimentaires, sur le papier etc [81] .

3.4.1. Taxonomie

L'identification des espèces appartenant au genre *Alternaria*, basée uniquement sur des caractéristiques morphologiques [82] .

Selon Verscheurs en 2002 : le genre *Alternaria* se classe comme suit :

1. **Règne** : *champignon*
2. **Division** : Ascomycota
3. **Classe** : Euecomycetes
4. **Ordre** : *Pleosporales*
5. **Famille** : Pleosporaceae
6. **Genre** : *Alternaria*
7. **Espèce** : *Alternaria sp*

3.4.2. Morphologie

Caractères macroscopiques

Les colonies d'*Alternaria* ont une croissance rapide et aspect cotonneux. La surface des colonies est souvent hétérogène, présentant des zones blanches constituées exclusivement d'hyphes aériennes et des zones sombres rasantes renfermant les spores asexuées mélanisées [83] .

Caractères microscopiques

Les hyphes, septés, sont ramifiés et tardivement certains filaments sont pigmentés en brun. Les conidiophores sont cloisonnés, bruns, septés, simples ou ramifiés, plus ou moins droits ou flexueux (généculés). Les conidies sont brunes, pluricellulaires, d'aspect piriforme ou ovoïde avec une partie basale arrondie et une extrémité apicale allongée en bec plus ou moins important. A maturité, elles présentent à la fois des cloisons transversales, obliques ou longitudinales. Ces spores à paroi lisse ou verruqueuse et de taille importante, sont souvent

disposées en chaînes. En l'absence de bec marqué, c'est la disposition en chaînes des spores qui caractérise le genre *Alternaria* (Figure 26) [84] .



Figure 26 : Aspect microscopique du *Alternaria* Sp [84] .

3.4.3. Importance d'*Alternaria* Sp

Certaines espèces vivent à l'état saprophyte pouvant occasionnellement être des agents pathogènes opportunistes, d'autres sont responsables de maladies atteignant les plantes et les insectes.[85] .

3.5. *Fusarium* sp

Les espèces de *Fusarium* sont connues pour leur abondance dans la nature et leurs diverses associations avec des plantes et des animaux vivants et morts. Chez les animaux, le *Fusarium* se trouve principalement en relation avec les insectes, la plupart des espèces sont saprotrophes et des membres relativement abondants du microbiote du sol [86] . Cette revue de la littérature des 50 dernières années comprend les relations non pathogènes et pathogènes entre le *Fusarium* et les insectes. Une attention particulière est accordée à la gamme d'hôte, en particulier entre les plantes et les insectes, et au potentiel microbien possible du champignon pour lutter contre les insectes nuisibles [86] .

3.5.1. Taxonomie

Selon Butler et Hafiz Khan en 1941, la classification récente de *Fusarium* sp. Est comme suit

(Tableau 07) :

Tableau 07 : la classification du *Fusarium* Sp [86].

Règne	Fungi
phylum	Ascomycota
Sous-phylum	Pezizomycotina
classe	Sordariomycete
Sous-classe	Hypocremycetidae
ordre	Hypocreale
famille	Nectriaceae
genre	<i>Fusarium</i>
espèce	<i>Fusarium</i> sp.

3.5.2. Morphologie

Cette espèce forme des colonies duveteuses ou cotonneuses de couleur blanche ou devient rose claire par la suite. Le principal caractère morphologique de *Fusarium* est la présence des macroconidies fusiformes et cloisonnées (la figure 27) [87].

Le thalle végétatif des conidiophores courts et souvent ramifiés. Ils portent des phialides qui peuvent avoir un ou plusieurs sites de bourgeonnement pour la production des conidies.

Les phialides sont courtes, large et formées sur le mycélium aérien ; les microconidies sont absentes ; les macroconidies sont fusiformes courbées et septées ; les chlamydospores sont intercalaires ou terminales formées par le mycélium ou par les conidies [87].

Le diagnostic d'espèce repose sur l'aspect des colonies (pigmentation), mais surtout sur la morphologie microscopique : présence d'un seul type ou deux types de spores, disposition en chaîne ou en amas des micronides, taille des phialides et nombre de sites de logettes, aspect de la cellule podale, abondance des chlamydospores.

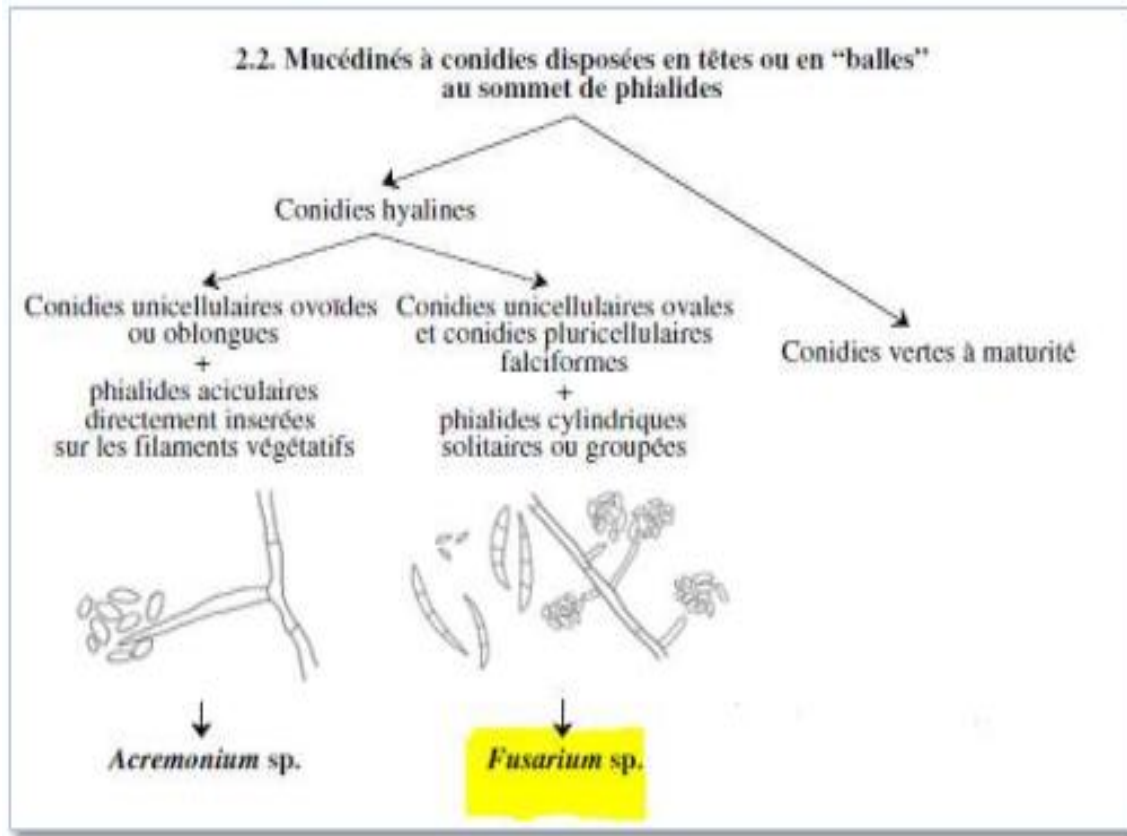


Figure 27: Clé d'identification des Mucédinés à conidies disposées en têtes (*Fusarium* sp.) [87] .

4. Les facteurs affectant l'efficacité des champignons entomopathogènes

Le potentiel infectieux des champignons entomopathogènes comme agent de lutte biologique dépend de leur propriétés physiologiques de la population de l'hôte et des conditions du milieu [88] .

Facteurs liés aux pathogènes :

La virulence et la spécificité de l'hôte sont deux éléments essentiels dans le choix d'un bon candidat à la lutte biologique. Il a été démontré que les insectes d'une même population révèlent une sensibilité qui diffère selon les isolats de *M. anisopliae* [89] .

A une échelle industrielle, les épreuves biologiques standardisées de laboratoire sont essentielles afin de vérifier le potentiel insecticide des préparations produites et de suivre leur stabilité de conservation [90] .

4.1. Facteurs dépendant de l'hôte

Il est maintenant reconnu que tous les stades de développement de l'insecte, de l'œuf jusqu'à l'adulte, peuvent être sensibles à l'infection fongique. Par exemple *P. fumosoroseus* est trouvé à l'état naturel sur une large gamme d'hôte (plus de 40 espèces d'insectes appartenant à 8 ordres) dont les homoptères et parmi eux les aleurodes.

L'épizootie fongique survient généralement à de fortes densités de la population hôte favorisant ainsi la probabilité de contact entre le pathogène et l'hôte, de même qu'entre les insectes infectés et non infectés [90] .

4.2. Facteurs de l'environnement

L'efficacité des champignons entomopathogènes contre les insectes est souvent influencée par des conditions environnementales.

4.2.1. Rayonnement solaire

L'effet des radiations solaires est l'un des paramètres environnementaux les plus importants pour la persistance des spores fongiques entomopathogènes. L'exposition à la lumière du soleil même pour quelques heures en particulier la partie d'UVB du spectre (285-315nm) peut complètement inactiver les conidies de *Metarhizium anisopliae* [91] .

Il y a des différences significatives dans la sensibilité aux radiations, les micro habitats jouent un rôle important en augmentant la persistance des conidies fongiques en fournissant l'ombre des arbres [92] .

Malgré son effet nocif sur la persistance des conidies, la lumière peut stimuler certaines étapes du cycle évolutif des champignons entomopathogènes cultivés *in vitro* ou *in vivo* [93] . De plus, afin d'assurer une protection contre ces rayons, les coelomycètes, tels que le genre *Aschersonia*, produisent des cellules conidiogènes dans des pycnides fortement pigmentés [94] .

4.2.2. Température

La température est un autre facteur important qui peut affecter le taux de germination, la croissance, la sporulation et la survie des champignons entomopathogènes. Hastuti et ses collaborateurs (1999) ont démontré que 100 % des larves de *Paropsis charybdis* sont tuées par *B. bassiana* après une incubation de 21 jours à 35°C, alors que 93 % des larves sont mortes à une température d'incubation de 15°C. La température optimale qui assure la survie d'un champignon diffère selon les taxa. Ainsi, les spores des entomophthorales semblent être

plus sensibles que les spores de la plupart des entomopathogènes. Généralement, les températures au-dessus de 35°C empêchent la croissance et le développement des champignons entomopathogènes.

Les variations de températures (élevées et basses) affectent la vitesse de l'infection des insectes par l'inhibition de la germination des spores, ce qui affecte à son tour la formation du tube germinatif et la pénétration à travers la cuticule de l'insecte.[95](Les conidies de *B. bassiana* et de *M. anisopliae* ne peuvent pas survivre plus que 15 minutes à 40°C [94] .

4.2.3. Humidité

L'humidité environnementale est un paramètre très important pour la germination des Conidies dans la nature. Elle affecte aussi la persistance et la survie des champignons entomopathogènes. La plupart de ces champignons exigent au moins 95 % de L'humidité relative à la surface de l'insecte afin de germer [96] .

Un certain nombre d'études a indiqué que les conditions sèches juste après l'application des champignons entomopathogènes sont moins pathogènes car les souches de *Metarhizium et Beauveria* peuvent germer et infecter efficacement les insectes à une basse humidité à condition qu'il y ait suffisamment d'humidité dans les microhabitats [92] .

L'humidité relativement élevée dans les endroits abrités fournit un micro environnement favorable pour le développement des spores [97] .

Les effets de la température et de l'humidité sont intimement reliés d'où la tolérance de quelques champignons à des températures extrêmes lorsqu'il y a plus d'humidité ou lorsque la condensation se produit aisément et la perte d'eau est réduite au minimum. Le vent peut aussi modifier de manière significative l'humidité microclimatique et considérablement influencer le comportement fongique [94] .

4.2.4. Effet du sol

Le sol constitue un réservoir naturel pour les insectes infectés par des mycètes fongiques sur le feuillage qui plus tard tombent sur le sol [98] .

En effet, les champignons dans le sol sont protégés contre la dessiccation, le rayonnement ultraviolet et les températures extrêmes [94] .

En général, la simple présence des microflores dans le sol peut influencer l'efficacité des entomopathogènes [99] .

Comprendre l'écologie des champignons entomopathogènes dans l'environnement, en particulier le sol est une chose importante, nécessaire pour l'application correcte de ces champignons dans le champ. Meyling et Eilenberg (2007) fournissent un diagramme schématique (Figure 28) qui détermine l'écologie de *Beauveria* et de *Metarhizium* dans le sol et comment ces espèces sont dispersées ainsi que leur cycle dans l'environnement.

(Figure 28) :

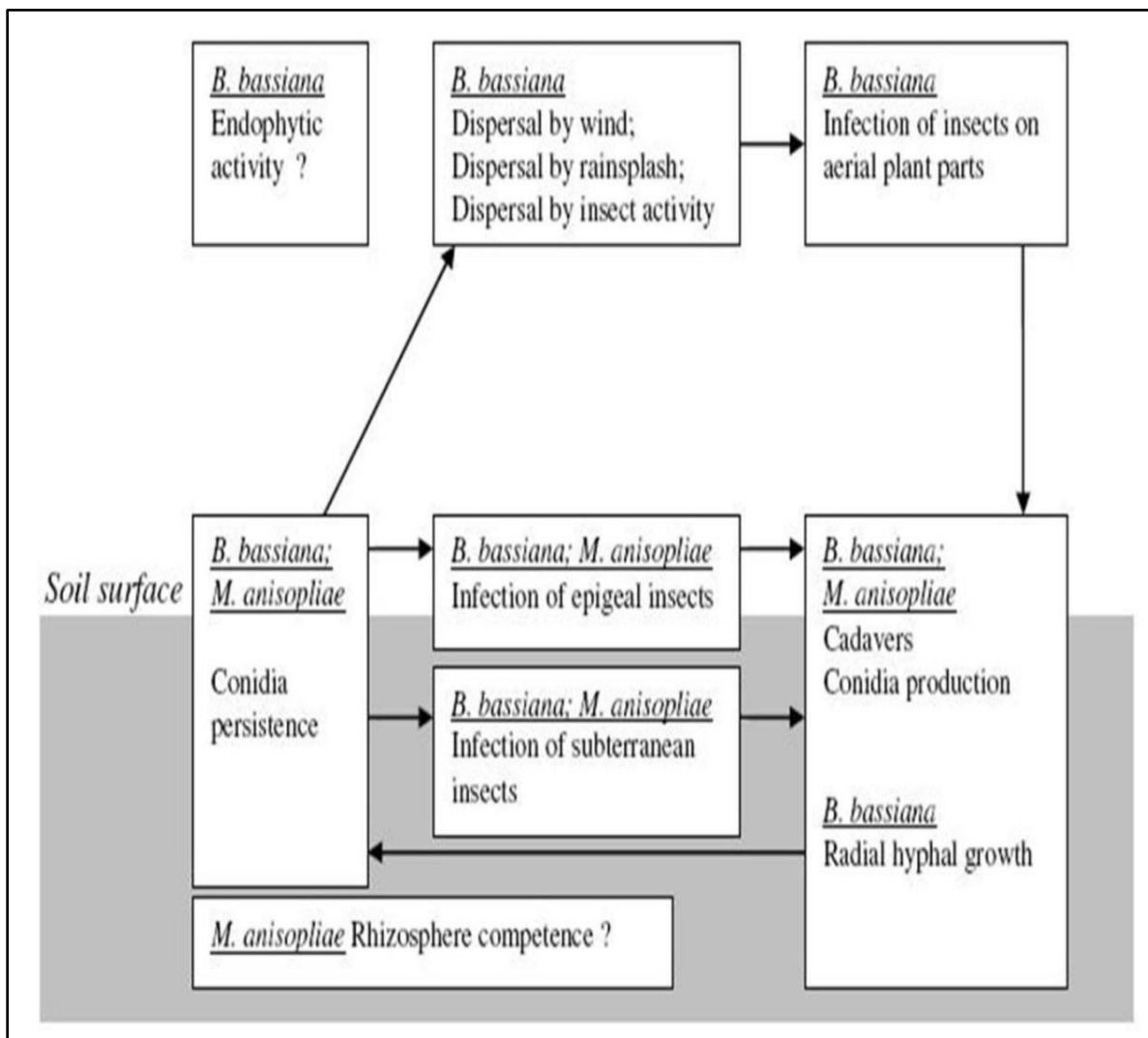


Figure 28: Les compartiments des écosystèmes terrestres tempérés où *B. bassiana* et *M. anisopliae* se produisent naturellement [100] .

Chapitre 04: l'impact des métaux lourds sur les champignons

1. Généralité sur les métaux lourds

La classification périodique des éléments chimiques selon Mendeleïev regroupe des métaux et des non métaux. Ces deux groupes présentent des propriétés physiques et chimiques différentes.

D'un point de vue physique, le terme 'métaux lourds' désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieurs à 5 g / cm^3 [101], et de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et pour l'homme [102].

Ces éléments peuvent être classés en différents groupes sur la base de leurs caractéristiques telles que les fonctions et les propriétés électrochimiques [102].

D'un point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : les métaux essentiels et les métaux toxiques [101].

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe) [101].

Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule [101].

Les métaux lourds sont les polluants les plus fréquemment rencontrés dans les sols pollués. Ils constituent une menace pour l'environnement et peuvent représenter des risques pour la santé difficile à évaluer [103].

Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure. Ils ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante, sur l'homme et les microorganismes [104].

2. Définition des métaux lourds




Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ($Z=11$), tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques [105].

Chapitre 04: l'impact des métaux lourds sur les champignons

Un métal est un élément chimique dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme depuis l'Antiquité. Dans le sol, un métal sera défini comme un élément chimique qui peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : Mercure, Plomb, Cadmium, Cuivre, Arsenic, Nickel, Zinc, Cobalt, Manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le Plomb, le Cadmium et le Mercure [106].

En effet, à côté des formes minérales les plus simples (exemple : Pb²⁺), les métaux lourds peuvent aussi exister sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple : le plomb tétraéthyl des essences) mais aussi sous forme de complexes (exemple : le salicylate de plomb, provenant de la complication du plomb avec une substance humique des sols) ou encore sous forme de chélates. Toutes ces formes, même si elles sont présentes en quantité minime, et quelles que soient les transformations qu'elles subissent lors de leur cheminement dans l'environnement, doivent être prises en compte lorsque l'on étudie les métaux lourds et ceci confère à ce sujet toute sa complexité. L'étude de toutes ces formes de métaux lourds constitue une discipline à part entière, connue actuellement sous le terme d'étude de la spéciation des métaux lourds (Figure 29) [107].

Tableau périodique des éléments

1 H 1,008 Électronégativité (Pauling) Masse atomique																	2 He 4,00
3 Li 6,94	4 Be 9,01											5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
11 Na 22,99	12 Mg 24,31											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,87	23 V 50,94	24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,69	29 Cu 63,55	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,63	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,80
37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,96	43 Tc [98]	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,42	47 Ag 107,87	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,29
55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57-71	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95	74 W 183,84	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89-103	104 Rf [267]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [272]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Nh [286]	114 Fl [289]	115 Mc [288]	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]

© 2016, Clovis Darrigan - Anima-Science / www.darrigan.net - www.anima-science.fr

57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm [145]	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,05	71 Lu 174,97
89 Ac [227]	90 Th 232,04	91 Pa 231,04	92 U 238,03	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]

Figure 29 : tableau périodique des élément métalliques [106].

3. Origine des métaux lourds

Une quantité importante des métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'intermédiaire de source naturelle et humaine. Cette contamination a plusieurs origines telle que : la combustion des énergies fossiles, les gaz d'échappement des véhicules, l'incinération des déchets, l'activité minière, l'agriculture et les déchets liquides et solides. Mais elle peut également être d'origine naturelle via : l'activité des volcans, et des sources thermales, l'érosion, l'infiltration [107].

4. Les différentes sources des métaux lourds

Les ETM présents dans les sols peuvent être classés dans deux groupes : les fonds géochimiques et les apports anthropiques

Les métaux lourds sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques. Les activités industrielles et technologiques diminuent cependant le temps de résidence des métaux dans les roches, ils forment de nouveaux composés métalliques, introduisent les métaux dans l'atmosphère par la combustion de produits fossilifères. Il faut différencier la part qui résulte de la contamination d'origine humaine (anthropogène) et la part naturelle (géogène) [108].

4.1. Les sources naturelles

Le fond pédogéochimique naturel (FPGN) est la concentration d'un élément chimique dans un sol (que ce soit un élément majeur ou un ETM) résultant des évolutions naturelles, géologiques et pédologiques, en dehors de tout apport d'origine humaine [109].

les ETM peuvent être naturels, le sol contient des ETM issus de dégradation et altération la roche mère à partir de laquelle il s'est formé ou par des apports sédimentaires. Les sols formés sur des sables quartzeux contiennent des quantités d'ETM extrêmement faibles, alors que ceux qui sont formés sur des sédiments calcaires ou marneux, ou des schistes, ont des concentrations d'ETM plus importantes [110].

4.2. Les sources anthropiques

La quantité d'ETM issue des apports anthropiques est également très importante. La principale source d'ETM dans les zones urbaines est l'activité industrielle et la circulation de différents moyens de transport. Les principales sources industrielles d'émissions atmosphériques de micropolluants métalliques sont les usines d'incinération, les hauts fourneaux, la combustion du charbon et du pétrole. L'utilisation de matières fertilisantes et de pesticides ont contribué, ou contribuent encore, de manière importante à la contamination des sols agricoles, ainsi que l'épandage des déchets et des boues selon le (Tableau 08) [111].

Chapitre 04: l'impact des métaux lourds sur les champignons

Tableau 08 : Contribution de différentes sources des ETM [111].

	Cuivre	Zinc	Cadmium	Plomb
Total (milliers de tonnes)	216	760	20	382
Déchets agricoles	55%	61%	20%	12%
Déchets urbains	28%	20%	38%	19%
Engrais	1%	1%	2%	1%
Retombées atmosphériques	16%	18%	40%	68%

5. Les différents types de métaux lourds

5.1. Les métaux essentiels

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux Processus cellulaires. Ils se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le Cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe), [112]... Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du millimolaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénase, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides. A forte dose il devient toxique, en empêchant de nombreuses fonctions métaboliques des plantes. Cela se traduit par un retard de croissance et même une sénescence [113].

5.2. Les métaux non essentiels

Les métaux non essentiels ont un caractère polluant. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. Ils exercent des effets toxiques sur les organismes vivants même à faible concentration. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd), ... [114].

6. Rôle des Métaux lourds

Les métaux présents dans l'eau et l'environnement terrestre sont des éléments nécessaires au fonctionnement normal des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans :

- La transformation de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques.
- Aussi du fait de leur toxicité, ils sont également employés, ou l'ont été, pour la protection des cultures (pesticides), dans des peintures de coques de bateaux, etc [115].

7. Impact des métaux lourds Sur l'environnement

Contrairement aux contaminants organiques, les métaux lourds générés par les activités anthropiques ne peuvent pas être dégradés biologiquement et persistent indéfiniment dans l'environnement. De plus, les environnements pollués tels que les sites miniers sont généralement soumis à de fortes contraintes climatiques et hydriques, érodant fortement les déchets et induisant une pollution pour les eaux et les sols environnants. Les sols miniers sont pauvres en matières organiques et en minéraux fertilisants comme l'azote ; empêchant alors le développement d'une couverture végétale pouvant faire office de barrière à la dispersion des métaux lourds. De ce fait, la non-gestion des sites miniers pose un problème environnemental conduisant à de graves dégâts écologiques, car une accumulation excessive de métaux lourds dans un milieu réduit l'activité et la diversité microbienne

[116].

8. Impact des métaux lourds sur les mycètes

Les contaminations métalliques peuvent impacter la structure des communautés fongiques du sol [117]. Lorsque des concentrations toxiques en métaux lourds sont atteintes dans un environnement, la biodiversité de la communauté microbienne est modifiée [118].

Les impacts des métaux lourds sur la communauté microbienne peuvent être abordés de diverses façons : la densité (colonie forming units,CFU), la taille, la structure des communautés (génétique et fonctionnelle) et également l'activité enzymatique .

En règle générale, les pollutions métalliques réduisent la diversité et l'abondance des espèces fongiques, notamment en exerçant une pression de sélection favorisant les populations tolérantes . On observe une diminution de la biodiversité des organismes de sol et une augmentation des populations tolérantes .les champignons des principaux groupes

Chapitre 04: l'impact des métaux lourds sur les champignons

taxonomiques sont retrouvés sur des sites pollués et sont capables d'y croître normalement [119].

De nombreuses études montrent une diminution du potentiel de croissance des champignons sur du milieu contaminé [120].

Par exemple : une inhibition l'assimilation de l'azote chez *penicillium involutus* est causée par la présence des métaux lourds. Des changements dans la mobilité et la forme des mitochondries et vacuoles dus à de fortes concentrations en zinc [120].

9. Toxicité des métaux lourds pour les mycètes

Une substance est dite toxique lorsque mise en contact avec un organisme vivant, elle entraîne chez lui une réaction spécifique ou un stress compromettant la réalisation de ses fonctions physiologiques au point d'avoir des effets néfastes sur lui-même et sur sa descendance

Tout élément est toxique quand il est absorbé en excès par rapport à la capacité d'assimilation de l'organisme

La toxicité d'un métal dépend de sa spéciation (forme chimique) autant que des facteurs environnementaux

Les effets toxiques des métaux sont dus à leur grande capacité à se fixer sur les atomes d'oxygène, d'azote et de soufre et surtout sur les résidus cystéine inhibant ainsi l'activité des nombreuses enzymes. Cette inhibition se fait par le blocage de groupes fonctionnels de molécules biologiques importantes, par le déplacement et/ou le remplacement des ions essentiels dans les biomolécules, par le changement conformationnel, la dénaturation et l'inactivation d'enzymes et la rupture de tous types de membranes cellulaires [120].

Dans le sol, les métaux lourds peuvent exister sous forme d'ions libre ou sous forme liée à des particules de sol. Cependant, un métal n'est toxique pour les organismes vivants que s'il est sous forme libre ; il est alors biodisponible .

La biodisponibilité des métaux est, en premier lieu, liée à leur spéciation et à leur répartition dans les phases solides et liquides des sols. Cette spéciation est dépendante des caractéristiques physico-chimiques des sols [120].

Chapitre 04: l'impact des métaux lourds sur les champignons

La toxicité des métaux lourds pour un même organisme dépend du type de sol, de sa disponibilité de chaque minéral dans ce sol et de l'état physiologique du microorganisme [121].

La toxicité des métaux lourds n'est pas un processus absolu mais dépend de plusieurs paramètres et phénomènes

Parmi lesquels, la capacité d'échange de cations (CEC), le ph, le potentiel redox (Eh), la teneur en phosphate disponible, la teneur en matière organique, les activités biologiques

[121].

10. La résistance des souches fongiques aux métaux lourds

La survie d'organismes en présence de métaux toxiques dépend principalement de leurs propriétés biochimiques et structurales intrinsèques, ainsi que de leur adaptation physiologique et/ou génétique. Cette survie n'est possible, en effet, que par la mise en jeu de de mécanismes de tolérance, nous détaillerons ces différents mécanismes [122].

10.1. La tolérance

La tolérance à un métal peut être définie comme la capacité d'un organisme à survivre à la toxicité des métaux par le moyen de propriétés intrinsèques (possession de parois cellulaires pigmentées imperméables,...) et /ou la modification de la toxicité par des paramètres environnementaux [122].

Des études ont montré des variations génétiques aux niveaux interspécifiques pour des champignons ectomycorhiziens tolérants au Cd [123].

Les champignons des sites métalliques pollués ont révélé une très grande tolérance du métal et une capacité de bioadsorption de chrome et de cadmium [124].

Les champignons tels que *Rhizopus stolonifer*, *Trichoderma veride*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium conglutinans*, *Cunninghamella echinulata*, *Aspergillus* et *Penecillium* ont toléré des concentrations élevées en cadmium (100-250 ug)

Aspergillus niger le plus toléré des concentrations en Pb (600 mg/l) par rapport à *Aspergillus flavus*, *Fusarium solani*, *Penicillium chrysogenum* [125].

10.2. La résistance

Le terme de résistance peut être défini comme la capacité d'un organisme à survivre aux effets toxiques des métaux par la mise en œuvre d'un mécanisme de détoxification en réponse directe à l'élément métallique concerné .

La résistance d'un métal lourd dans un environnement donné dépend des types microbiens, des genres et des espèces testées [125]

Les champignons filamenteux isolés appartenant aux genre *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium* et *Geotrichum* sont résistants à de fortes concentration en Pb, Cr, Cu et Zn [126].

10.2.1. Les mécanismes de résistance

Les micro-organismes doivent développer des mécanismes de résistance contrebalançant l'effet des hautes concentrations des métaux lourds tout en assurant le maintien du rôle biologique des ions essentiels . Pour cela ils peuvent limiter l'accumulation des métaux dans les cellules (exclusion), stocker l'élément toxique dans les vacuoles (chélation et séquestration) et/ou activer les systèmes antioxydants [127].

Des éléments toxiques en métal comprenant radionucléides peuvent être liés, accumulés, et précipités par des mycètes. Les mycètes peuvent agir en tant que récepteurs du métal par absorption, bioaccumulation et précipitation de composés métalliques sur des hyphes [127].

10.2.1.1. L'absorption

L'absorption signifie que les ions toxiques entrent dans la cellule alors que l'efflux décrit l'expulsion de ces ions par la cellule.

Les métaux sont directement absorbés par les micro-organismes en fonction de leur besoins nutritifs. Les champignons absorbent des métaux en deux phases (active et passive) dépendantes ou indépendantes du métabolisme de la cellule.

Les interactions physico-chimiques entre les métaux et la biomasse microbienne porte le nom de biosorption. La paroi des cellules fongiques joue un rôle de protection et agit telle une barrière contrôlant l'absorption des solutés dans la cellule et modifie indirectement la composition ionique intracellulaire en interagissant avec l'état hydrique de la cellule donc la

Chapitre 04: l'impact des métaux lourds sur les champignons

fixation directe des métaux par les champignons se produit dans certains cas au niveau des parois.

La paroi des champignons filamenteux (constituée d'une série de couches de bio-polymères glucidiques comme la chitine le chitosane, les glucanes, les celluloses...) porte de nombreux groupements anioniques, véritables pièges des cations métalliques [128].

Il apparait que la biosorption des métaux sur les parois cellulaires fongiques est un phénomène complexe faisant appel à différents composants et différents mécanismes [128].

L'absorption des métaux lourds par les champignons est conditionnée par de nombreux facteurs physico-chimiques tels que : le ph, la température, la matière organique, la nature des cations et des anions [129].

10.2.1.2. La bioaccumulations

La bioaccumulation désigné la capacité des organismes à absorber et concentrer dans tous ou une partie de leur organisme, certaines substances chimiques, éventuellement rares dans l'environnement [130].

La bioaccumulation des métaux lourds et d'autres composés chimiques est un phénomène, qui a pour conséquence une concentration en polluant dans un organisme vivant supérieurs à la concentration de ce polluant dans le biotope de l'organisme [131].

Les champignons sont des bioaccumulateurs d'élément trace métallique (ETM) et en ce sens peuvent parfois être utilisés pour caractériser la pollution d'un site [132].

La bioaccumulation par des champignons vivants est un système auto-renouvelable par la croissance des micro-organisme. Dans ce système, on à la possibilité d'immobiliser des métaux par la modification chimique, par le transport intracellulaire, à l'aide de la dégradation enzymatique des composés organométalliques ou encore par la synergie de plusieurs micro-organismes [133].

Les champignons sont capables d'accumuler du Cd dans leurs carpophores en quantité variable suivant l'espèce (jusqu'à 5.7 ug/g² de poids sec pour *suillus luteus*). Des études ont montré que le rapport de concentration en Cd dans la biomasse fongique divisée par celle du sol peut varier de 2 à 1000 suivant l'espèce (maximum pour *Aminata muscaria*) [133].

Chapitre 04: l'impact des métaux lourds sur les champignons

Agaricus bisporus possède la capacité de bioaccumuler sept métaux lourds (Pb, Cd, Hg, Fe, Cu, Mn, Zn) [134].

10.2.1.3. La précipitation des composés métalliques sur des hyphes

En ce qui concerne la fixation des ETM, la paroi des hyphes mycéliennes fonctionne un peu comme résine échangeuse d'ions en libérant des protons et en captent des cations [135].

Lorsqu'un ascomycète formant des mycorhizes éricoïdes est traité avec des concentrations en Zn, des changements dans la morphologie des hyphes peuvent se produire. De plus observe également des gonflements apicaux et une augmentation des branchements dans les régions subapicales, ainsi qu'une augmentation significative de la quantité de chitine dans les hyphes traités aux métaux [135].

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour protéger notre produit agricole et alimentaire (petits pois) contre les ravageurs en utilisant les méthodes de la lutte biologique au niveau des plantations.

Notre travail a été orienté vers la présentation et la description du petits pois et les ravageurs qui menacent le développement de notre plante et causent plusieurs dégâts comme la chute de rendement et de la qualité ainsi que la diminution des valeurs nutritionnelle.

Ces ravageurs peuvent se propager facilement dans plusieurs pays et atteindre des proportions épidémiques. Leur apparition et recrudescence peuvent causer des pertes énormes aux cultures et aux pâturages, menaçant les moyens d'existence des agriculteurs vulnérables et la sécurité alimentaire et nutritionnelle de millions de personnes.

Les champignons entomopathogènes étant considérés comme des agents de mortalité des insectes naturels, on s'intéresse dans le monde entier à leur utilisation et leur manipulation pour la lutte biologique contre les insectes et d'autres ravageurs et leur métabolites affectent plusieurs traits de la biologie de l'insecte tels que : la survie, le développement, la fécondité et la prise de nourriture. Ils sont naturellement présentent dans l'environnement (sol , air , eau) et infectent généralement leur hôte soit par ingestion , par la cuticule ou par les orifices .dans des conditions favorables , humidité et température généralement élevées , ces champignons pénètrent la cuticule de l' hôte en s'appuyant sur des moyens physiques et enzymatiques après un simple contact et multiplie dans l'hémocèle de l'insecte qui causant des dommages par destruction des tissus ensuite la mort de l'insecte .

La transformation des métaux lourds à travers l'intervention de l'êtres humains permet de modifier la concentration de ces métaux lourds dans les activités industriels et agricoles , cette transformation rend les métaux lourds plus toxiques et nocifs pour l'environnement , la santé humain et aussi pour les cultures agricoles .

L'absorption en excès des métaux lourds par les champignons entomopathogènes qui provoquent une toxicité de ces derniers.et dans ce cas les champignons effectuent deux action : certains sont sensibles et murent et l'autre résiste à l'aide des mécanismes de résistance pour rester en vie.

Les références

Les références

- [1] : **Dsasi. (2001).** Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, Ministère de l'Agriculture, Série B, p 43.
- [2] : **Wikipédia.** Champignons entomopathogènes [enligne].page consultée le (15/08/2020).https://fr.wikipedia.org/wiki/Champignon_entomopathog%C3%A8ne
- [3]: **Elkhawaga. M.A. (2011).** Morphological and metabolic response of aspergillus nidulans and fusarium oxysporum to heavy metal stress.journal of applied sciences research.2011.7(11) :1737-1745.
- [4] :**Huynh T.D. (2009).** Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ver de terre/microflore tellurique. Thèse de doctorat en écologie microbienne.Université Paris EST.
- [5] :**Doillon D. (2010).** Déterminants moléculaires de la tolérance au zinc des microorganismes eucaryotes. Thèse de doctorat en biologie forestière. Université Henri Poincaré,Nancyl.
- [6] : **Nyabyenda P., 2005.** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : Généralité légumineuses alimentaire plantes à tubercules et racines céréales. Ed. Les Presses Agronomique de Gembloux, Belgique, 223p.
- [7] : **Fondevilla S., Kuter H., Krajinski F., Cubero J.I. et Rubiales D. (2011).** Identification of genes differentially expressed in a resistant reaction to *Mycosphaerella pinodes* in pea using microarray technology. BMC Genomics, 13: 12 -28.
- [8]: **Collard B.C.Y., Jahufer M.Z.Z., Brouwer J.B. et Pang E.C.K. (2005).** An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: the basic concepts. *Euphytica*, 142: 169-196.
- [9]: **Timmerman-Vaughan G.M., McCallum J.A., Frew T.J., Weeden N.F. et Russell A.C. (1996).** Linkage mapping of quantitative trait controlling seed weight in pea (*Pisum sativum L*).Theor Appl Genet, 93: 431-439.
- [10] : **Madr. (2014).** Annuaire statistique du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- [11] : **Itgc. (2016).** Institut Technique des Grandes Culture.
- [12] : **Baillier B.J. et Fils. (1984).** Les pois potagers.19 édition, libraires, Paris, p 2-3.

Les références

- [13]: **USDA. (2008).** Plants profile of *Pisum sativum* L. (garden pea). United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Plants database.
- [14]: **Krajinski F., Cubero J.I., Rubiales D., (2011).** Identification of genes differentially expressed in a resistant reaction to *Mycosphaerella pinodes* in pea using microarray technology. *BMC Genomics*, 13: 12-28.
- [15] : **Deulvot C., Charrel H., Marty A., Jacquin F., Donnadiou C., Lejeune-Hénaut I., Burstin J. et Auber T.G. (2010).** Highly-multiplexed SNP genotyping for genetic mapping and germplasm diversity studies in pea *BMC Genomic*, 11: 468.
- [16]: **Prioul S., Frankewitz A., Deriot G., Morin G. et Baranger A. (2004).** Mapping of quantitative trait loci for resistance to *Mycosphaerella pinodes* in pea (*Pisum sativum*), at the seedling and adult plant stage. *Theor Appl Genet.* 108: 1322-1344.
- [17]: **Park Seed.** Corps générale du petit pois. (Page consultée le 06 / 05/2020). <https://parkseed.com/image/xxl/52739-pk-p1.jpg>
- [18] : **Nyabyenda P. (2005).** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : Généralité légumineuses alimentaire plantes à tubercules et racines céréales. Ed. Les Presses Agronomique de Gembloux, Belgique, p 223.
- [19] : **Brink M. et Belay M.G. (2006).** Céréales et légumes secs-ressources végétales de l'Afrique tropicales, fondation porota, wageningen, pays-bas, p 174.
- [20] : **Coulombel A. et Scoul Y. (2011).** Culture le pois conserve en agriculture biologique, service culture conserve du blaisois, ITAB, fraineaise, p 1.
- [21] : **Gautreau P. et Rousselou C. (2012).** Guide reconnaissance des fruits et des légumes, Hortivar, France. p 200-210.
- [22]: **Krawczak M. (1999).** Informativity assessment for biallelic single nucleotide polymorphisms. *Electrophoresis.* 20: 1676-1681.
- [23]: **Cousin R. (1996).** Le pois variabilité objectifs des selection, station génétique et amelioration des plantes, INRA, Paris, p 1-4.
- [24] : **Doorenbos J. et Kassam A.H. (1987).** Réponse des rendements à l'eau. Bulletin F.A.O d'irrigation et de drainage N°33. Ed. F.A.O, Rome, p 235.
- [25] : **Varela J., Sanchez- Monge R., Lopez- Torrejon G., Pascual C.Y., Martin Esteban M. et Salcedo G. (2004).** Vicilin and convicilin are potential major allergens from pea, *Unidad*

Les références

Bioquímica, Departamento biotecnología, ETS Ingenieros Agrónomos, Madrid, and Clin Exp Allergy. Résumé dans NCBI (National center for Biotechnology Information).

[26] : **Holwach L.P. (1982)**. Dissertation abstracts international (42) cornell uni. Uthaca, NY, USA.

[27] : **Tacques Lanore. (1985)**. Tables de composition des aliments, Institut scientifique d'hygiène alimentaire.

[28] : **Broughton W.J. et Dilworth M.J. (1971)**. Control of leghemoglobin synthesis in snake beans. Biochemistry Journal, 125: 1075-1080.

[29] : **BASF**. La sitone, ravageur du pois [en ligne]. (Page consultée le 31/05/2020). https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/proteagineux/ravageurs_du_pois/sitones_du_pois.html

[30] : **BASF**. Le thrips du pois du lin et des céréales [en ligne]. (Page consultée le 31/05/2020). https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/proteagineux/ravageurs_du_pois/thrips_du_pois_du_lin_et_des_cereales.html

[31] : **BAFS**. La tordeuse du pois, ravageur du pois [en ligne]. (Page consultée le 01/06/2020). https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/proteagineux/ravageurs_du_pois/tordeuse_du_pois.html

[32] : **BAFS**. Noctuelle défoliatrice, ravageur du pois [en ligne]. (Page consultée le 03/06/2020). https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/proteagineux/ravageurs_du_pois/noctuelle_defoliatrice_du_pois.html

[33] : **BAFS**. Le puceron vert, ravageur du pois [en ligne]. (Page consultée le 04/06/2020). https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/proteagineux/ravageurs_du_pois/puceron_vert_du_pois.html

[34] : **bioenligne.com**. Bruche du pois :biologie, symptômes et dégâts [en ligne]. (Page consultée le 05/06/2020). <https://www.bio-enligne.com/coleoptere/562-bruche-pois.html>

[35] : **Wikipédia**. Cécidomyie du pois [en ligne]. (Page consultée le 05/06/2020). https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9cidomyie_du_pois

[36] : **Syngenta**. Cécidomyie du pois [en ligne]. (Page consultée le 06/06/2020). <https://www.syngenta.fr/traitements/cecidomyie-du-pois>

Les références

- [37] :**Nigel,Cattlin**. La cécidomyie du pois Contarinia pisi cécidomyie femelle adultes.(08/11/2005).[carte]In :alamy. Disponible sur : <<https://www.alamyimages.fr/la-cecidomyie-du-pois-contarinia-pisi-cecidomyie-femelle-adultes-image5290057.html>
(consultée le 05/06/2020).
- [38] :**Ooreka maison**. Lutter contre la cécidomyie du pois [en ligne]. (Page consultée le 06/06/2020). <https://potager.ooreka.fr/fiche/voir/710125/lutter-contre-la-cecidomyie-du-pois>
- [39] :**Agrifind,Alertes**. Limace sur pois d'hiver [en ligne]. (Page consultée le 08/06/2020). <https://www.agrifind.fr/alertes/pois-d-hiver/pois-d-hiver-limaces/>
- [40] :**Agronomie info**. Généralité sur les champignons [en ligne].(Page consultée le 18/06/2020).<https://agronomie.info/fr/generalites-sur-les-champignons/>
- [41] :**Starnes R.L., C.L. Liu P.G., Marone. (1993)**. History, use and future of microbial insecticides. Amer. Entomol. 39:83-91.
- [42] :**Wraight R.J. et D.W. Roberts. (1987)**. Insect control effort with fungi. Devel. Industr. Microbiol. 28: 77-87.
- [43]:**Ferron P. (1978)**. Biological control of insects pests by entomogenous fungi. Ann. Rev. Entomol. 23: 409-442.
- [44] :**Goettel M.S. (1992)**. Des champignons comme agents de lutte biologique. In La lutte biologique contre les acridiens, sous la direction de C.J. Lomer et C. Prior p.122-131. Ibadan, Nigeria: CAB International/IITA.
- [45] :**ResearchGate**. Les champignons entomophages, une solution biologique contre les ravageurs [en ligne].(Page consultée le 20/06/2020).https://www.researchgate.net/publication/320548723_Les_champignons_entomophages_une_solution_biologique_contre_les_ravageurs
- [46]:**Anna Augustyniuk-Kram., Karol J. Kram**, « *Entomopathogenic Fungi as an Important Natural Regulator of Insect Outbreaks in Forests* », *Forest Ecosystem*, (lire en ligne [archive]).
- [47] : **Saiah F. (2014)**. Contribution à L'étude sur la lutte biologique à l'égard de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lépidoptera ; Gracillariidae), mineuse des Citrus. Thèse de doctorat ; Université de Mostaganem, Algérie, 119 p.

Les références

- [48]: Vega F.E., Meyling N.V., Luangsa-ard J.J. et Blackwell M. (2012). Fungal entomopathogènes Insect Pathology. Elsevier Inc. p 150.
- [49]: Blackwell M., Hibbett D.S., Taylor J.W. et Spatafora J.W. (2006). Research coordination networks: a phylogeny for the kingdom Fungi (Deep Hypha). *Mycologia*, 98, 829-837.
- [50]: Humber R.A. (2012). Identification of entomopathogenic fungi. *Manual of techniques in invertebrate pathology*. Published by Elsevier Ltd. p151-187.
- [51]: Badaoui M.I. (2017). Contribution à l'étude de la dynamique des populations de *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera ; Gelechiidae) et essais de contrôle biologique sur la culture de tomate. Thèse de doctorat ; université de Mostaganem, Algérie, p 151.
- [52]: St Leger R.J. (1993). Biology and mechanisms of insect-cuticle invasion by deuteromycete fungal pathogens, In: *Parasites and pathogens of insects*. Beckage NE, Thompson SN,(eds),Federici BA (eds.).Academic Press Inc.,New York,USA. 2: 211-225.
- [53]: Ferron P., Fargues J. et Riba G. (1991). Les champignons agents de lutte microbiologique contre les ravageurs. In *Handbook of applied mycology*, 2: 237-270.
- [54]: Samson R.A., Evans H.C. et Latg J.P. (1988). *Atlas of entomopathogenic fungi*. Ed. Springer, Berlin Heidelberg New York. p 208.
- [55]: Hong Wan Bruce E., Ankenman., Barry L. et Nelson. (2003). Controlled Sequential Bifurcation: a New Factor -Screening Method for Discrete- Event Simulation. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, December 7-10, 565R573.
- [56]: Latge J.P. et Monsigny M. (1988). Visualization of exocellular lectins in the entomopathogenic fungus *Conidiobolus obscurus*. *J. Histochem. Cytochem.* 36: 1419-1424.
- [57]: Clarkson J.M. et Charnley A.K. (1996). New insights into the mechanisms of fungal pathogenesis in insects. *Trends Microbiol*, 4, 197-203.
- [58]: Fargues J. (1972). Étude des conditions d'infection des larves de doryphore *Leptinotarsa decemlineata* Say par *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Fungi imperfecti). *Entomophaga*. 17: 319- 337.
- [59]: Hong wan., Bruce E., Ankenman., Barry L. et Nelson. (2003). Controlled Sequential Bifurcation: a New Factor – Screening Method for Discrete – Event Simulation. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation conference*, December 7-10,565R573.
- [60]: Latge J.P. et Monsigny M. (1988). Visualization of exocellular lectins in the entomopathogenic fungus *Conidiobolus obscurus*. *J. Histochem. Cytochem.* 36: 1419-1424.

Les références

- [61]: **Clarkson J.M et Charnley A.K. (1996).** New insights into the mechanisms of fungal pathogenesis in insects. *Trends Microbiol*, 4, 197-203.
- [62]: **Fargues J. (1972).** Étude des conditions d'infection des larves de doryphore *Leptinotarsa decemlineata* Say par *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Fungi imperfecti). *Entomophaga*. 17: 319- 337.
- [63]: **Butt T.M., L. Ibrahim B.V., S.J. Clark., A. et Beckett. (1995).** The germination behavior of *Metarhizium anisopliae* on the surface of aphid and flea beetle cuticles. *Mycol. Res.* 99: 945-950. Canning, E. U. 1982. An evaluation of protozoal characteristics in relation to biological control pests. *Parasitology*, 84, 119-49.
- [64]: **St., Leger R.J., T.M. Butt R., Staples et D.W. Roberts. (1989).** Production of appressoria by the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Exp. Mycol.* 13: 274-288.
- [65] : **Boman H.G. et Steiner M. (1981).** Humoral immunity in *Cecropia* pupae *Curr.Top. Microbiol Immunol* 94/95: 75-91.
- [66]:**Lipa J.J. (1975).** White muscardines (*Beauveria* sp.). In: *An Outline Of Insect Pathology*. Foreign Sci. Publ. Dept NCSTEL, Warsaw, Poland, p 139-142.
- [67]:**Roberts D.W. (1981).** Toxins of entomopathogenic fungi. In: *Microbial Control of Pest and Plant Diseases 1970-1980*. H. D. Burges (ed.). Academic Press, NY, p 441-4.
- [68]:**Tong-kwee L., Muhamad R., Fee Gait C. et Lan Chiew C. (1989).** Studies on *Beauveria bassiana* isolated from the cocoa mirid, *Helopeltis theobromae*. *Crop Protection*, 8: 358-362.
- [69]: **Bidochka M.J et Small C. (2005).** **Phylogeography of *Metarhizium***, an insect pathogenic fungus. In: F.E. Vega & M. Blackwell (Eds.) *Insect-Fungal Associations*. 28-49. Oxford University Press Inc., New York.
- [70]: **Zimmermann G. (2007).** Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontr.Sci.Technol* . 17: 879-920
- [71]: **Ihara F., Yaginuma K., Kobayashi N., Mishiro K. et Sato T. (2001).** Screening of entomopathogenic fungi against the brown-winged green bug, *Plautia stali* Scott (Hemiptera: Pentatomidae). *Appl.Entomol.Zool.* 36 (4): 495-500.
- [72]: **Bischoff J.F., Rehner S.A. et Humber R.A. (2006).** *Metarhizium frigidum* sp. nov.: a cryptic species of *M. anisopliae* and a member of the *M. flavoviride* complex. *Mycologia* .98 :737-745.
- [73]: **Tulloch M. (1976).** The genus *Metarhizium*. *Transactions of the British Mycological Society*. 66: 497-411.

Les références

- [74]: **St Leger R.J. (1986)**. Cuticule- degrading enzymes of entomothogenic fungi : Synthesis in culture on cuticle. *J. Inverbr.Pathol.* **48**: 85-95
- [75]: **Bidochka M.J. et Small C. (2005)**. Phylogeography of *Metarhizium*, an insect pathogenic fungus. In: F.E. Vega & M. Blackwell (Eds.) *Insect-Fungal Associations*. 28-49. Oxford University Press Inc., New York.
- [76]: **Faria M. et Wraight S.P. (2001)**. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Protect.* **20**: 767-778.
- [77]: **Zimmermann G. (2007)**. Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontr.Sci.Technol* .**17**: 879-920.
- [78] : **Cloutier C. (1992)**. Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. Dans: La lutte biologique, Tech & Doc Lavoisier (Vincent, c., Coderre, D.), p 671.
- [79] : **Champion R. (1997)**. identification des champignons transmis par semences . Edition INRA .
- [80] : **Martin – Lapierre A. (2011)**. Application des composts et de fumigants pour lutter contre la verticilliose (*Verticillium dahliae*) du fraisier . Mémoire présenté pour l’obtention du garde de maitre des science (M. Sc .) . Département de phytologie , faculté des sciences de l’Agriculture et de l’Alimentation . Université laval , Québec .
- [81] : **Criquet S. et Calvert V. (2008)**. IMEP UMR CNRS 6116. planche TP mycologie publié sur internet le 03 / 03 / 2008.
- [82] : **Vercheure M., Logany G. et Marlier M. (2002)**. Revue bibliographique : les méthodes chimiques d’identification et des classification des champignons . Unité de Chimie générale et organique . Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux , Belgique , **6 (3)** : 131 – 142 .
- [83] : **Bouneghou S.B. (2011)**. L’effet inhibiteur de pythium sp sur la croissance mycélienne de *Fusarium roseum* et d’*alternaria alternata* . Mémoire présentée en vue de l’obtention du diplôme de master en microbiologie , Option : Biotechnologie des Mycètes , fermentation et production des substance fongique , Université Mentouri Constantine , Alger , p 35.
- [84] : **Cabasse D., Bouchara J.P., Centile L., Brun S., Cimon B. et Penn P. (2002)**. Les moisissures d’intérêt médical . Cahier de formation biologie médicale (N°25) , laboratoire de parasitologie – Mycologie du CHU d’Angers , Cedex , p 159.

Les références

- [85] : **Calme B. (2011)**. Réponse adaptatives d' *alternaria Brassiciocola* au stress oxydatif lors de l'interaction avec les Brassicacees , Rôle du métabolisme du mannitol et des glutathion – s – transférases . Thèse de doctorat , biologie cellulaire et moléculaire végétale , école doctorale VENAM , Angers , France , p 71.
- [86]: **Leslie J.F. et Summerell B.A. (2006)** ..*Fusarium verticilliodes* (Saccardo) Nirenberg. In: Leslie JF, Summerell BA, editors. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing , p 388.
- [87] : **Chabasse D., Bouchara J-P., Gentile L., Brun S., Cimon B. et Penn P. (2002)**. Cahier de formation, Biologie médicale- Les moisissures d'intérêt médical, N° 25, Mars. ed Bioforma. Paris. p 157.
- [88]: **Ferron P. (1978)**. Biological control of insect pests by entomopathogenic fungi. *Ann Rev Entomol*. 23: 409-442.
- [89] : **Todorova S.J., Côté L.C., Martel P. et Coderre D. (1994)**. Heterogeneity of two *Beauveria bassiana* strains revealed by biochemical tests, protein profiles and bioassays on *Leptinotarsa decemlineata* (Col: Coccinelidae) larvae. *Entomophaga*. 39: 159-169.
- [90] : **Ferron P., Fargues J. et Riba G. (1993)**. Les champignons agents de lutte microbiologique contre les ravageurs D5, 65-92. (*Handbook of applied mycology, vol. 2, Humans, Animals and Insects*, 1991)
- [91]: **Braga G., Flint S., Miller C., Anderson A. et Roberts D. (2001)**. Variability in response to UV-B among species and strains of *Metarhizium* isolated from sites at latitudes from 61°N to 54°S. *J Invertebr Pathol* . 78: 98-108
- [92] : **Inglis G.D., Goettel M.S., Butt T.M. et Strasser H. (2001)**. Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In: Butt TM, Jackson CW, Magan N (eds) *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential*. CABI Publishing, Wallingford, UK, 23–55.
- [93] : **Silvy C. et Riba G. (1989)**. Biopesticides contre maladies, insectes, mauvaise herbe. Dossier de l'environnement N° 9, 157-200.
- [94] : **McCray Jr E.M., Womelderoff D.J., Husbands R.C. et Eliason D.A. (1973)**. Laboratory observation and field tests with *Legenidium* against California Mosquitoes. *Proc Cali Mosq Control Assoc*. 41:123–128.
- [95]: **Ekesi S., Maniania N.K. et Ampong-nyarko K. (1999)**. Effect of temperature on germination, radial growth and virulence of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on *Megalurothrips sjostedti*. *Bioconrt Scie and Technol*. 9: 177-18.
- [96]: **Hallsworth J.F. et Magan N. (1996)**. Culture age, temperature and pH affect the polyol

Les références

and trehalose contents of fungal propagules. *Appl Environ. Microbiol.* 62: 2435-2442.

[97] : Liu Z.Y., Milner R.J., McRae C.F. et Lutton G.G. (1993). The use of dodine in selective media for the isolation of *Metarhizium* spp. from soil. *J. Invertebr. Pathol.* 62: 248–251.

[98]: Keller S. et Zimmermann G.J. (1989). Mycopathogens of soil insects. [n Wilding, N., N.Collins, N. M.Hammond, P. M. Webber, and 1. F. Webber (eds.), *Insect-Fungus Interactions*. Academic Press, London, p. 240-269.

[99]: Groden E. et Lockwood J.L. (1991). Effects of soil fungistasis on *Beauveria bassiana* and its relationship to disease incidence in the Colorado potato beetle. *Leptinotarsa decemlineata*, in Michigan and Rhode Island soils. *J. Invertebr. Pathol.* 57: 7-76.

[100]: Meyling N.V. et Eilenberg J. (2007). Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation *boil. contr.* 43: 145-155.

[101] :Huynh T-D. (2009). Impact des métaux lourds sur l'interaction plante/ver de terre/microflore tellurique. Thèse de doctorat en écologie microbienne. Université Paris Est.

[102] :Habi S. (2009). Etude de la métallo-résistance et de l'halo-tolérance des entérobactéries isolées des eaux de surface de la région de Sétif. Thèse de doctorat d'état en sciences de la nature et de la vie. Université Ferhat Abbas-Sétif.

[103] :Crosnier J. et Delolme C. (1994). Influence des micro-organismes sur la mobilité des métaux lourds dans le sol. *Soil Biol. Biochem.* 41: 1-7.

[104] : Varrault G. (2012). Les contaminants dans les milieux récepteurs sous forte pression urbaine. Mémoire de diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Paris Est Cretiel Val de Marne.

[105]: Rotterdamseweg B.V. (1999). *Water Treatment & Purification*, The Netherlands.

[106] : Lacoue-Labarthe T. (2007). Incorporation des métaux dans les œufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires. Thèse de doctorat : Océanologie Biologique & Environnement Marin, p 200.

[107] :Di Benedetto H. (1997). Méthodes spectrométriques d'analyses et de caractérisation des métaux lourds. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. p 8-15.

[108] : Krupka K.M. (1999). Understanding variation in partition coefficient, kd, Values. Environmental protection Agency

Les références

- [109] : **Baize D. (1997)**. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA Editions, Paris, p 410.
- [110]: **Sposito G. (1989)**. The chemistry of soil, New York : Oxford University Press Inc., 277 p. Springer
- [111]: **Matihessen P., Reed J. et Johnson M. (1999)**. Sources and Potential effects of Cooper and Zinc Concentrations in the Estuarine Waters of Essex and Suffolk, United Kingdom. Marine Pollutin Bukketin, Vol, (38): 908-920.
- [112]:**Behanzin G.J., Adjou E.S., Yessoufou A.G., Ahoussi E.D. et Sezan A. (2015)**. Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes. J. Appl. Biosci. 83, 7499–7505.
- [113] : **Kabata-Pendias A. et Pendias H. (2001)**. Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C
- [114]: **Baker A.J.M. et Walker P.L. (1990)**. "Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants." Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects. , A. J. Shaw,ed., CRC press, Boca Raton, Florida, p 155-177.
- [115] : **Stengel P. et Gelin S. (1998)**. Sol interface fragile Ed. INRA- Paris, p 213.
- [116]:**Smejkalova M., Mikanova O. et Boruvka L. (2003)**. Effects of heavy metal concentrations on biological activity of soil micro-organisms. Plan. Soil and Environ. 49, P 321–326.
- [117] : **Moinet G. (2012)**. Fonctionnement d'un écosystème forestier développé sur un technosol multi contaminé. Thèse de doctorat en pharmacie.université de Rouen.
- [118]:**Baudoin E., Benizri E. et Guckert A. (2001)**. Metabolic fingerprint of microbial communities from distinct maize rhizosphere compartments. Eur. J. Soil Biol.37, P 85-93.
- [119] : **Doillon D. (2010)**. Déterminants moléculaires de la tolérance au zinc des micro-organismes eucaryotes. Thèse de doctorat en biologie forestier.2010. Université Henri Poincaré,Nancyl.
- [120] :**Bellion M. (2006)**. Caractérisation fonctionnelle de gènes impliqués dans la tolérance au stress métallique chez les champignons ectomycorhiziens par agrotransformation d'*Hebeloma cylindrosporum*. Thèse de doctorat en biologie végétale et forestière. Université Henri Poincaré,Nancyl.
- [121] : **Baba A.A. (2012)**. Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux lourds dans les céréales, des légumes et des sols agricoles irrigués par des eaux usées de la

Les références

ville de Hammam Bouhrara. Thèse de doctorat en chimie de l'environnement. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

[122] :**Jacob C. (2001)**. Etude des interactions entre métaux lourds et champignons ectomycorhiziens : mise en évidence de gènes impliqués dans la réponse au Cadmium de *Paxillus involutus*. Thèse de doctorat en biologie forestier. Université Henri Poincaré, Nancy.

[123]: **Tobine J.M., Cooper. et Neufeld R.J. (1984)**. Uptake of metals ions by *Rhizopus arrhizus* biomasse. *Environ microb.* 47: 821-827.

[124]:**Ahmed I., Ansari M. et Aqil F.(2006)**. Biosorption of Ni, Cr and Cd by metal tolerant *Aspergillus niger* and *Penicillium sp.* Using single and multi-metal solution. *India J.Exp.Biol.* 44: 73-76.

[125]:**Iram S., Zaman A., Iqbal A. et Zshabir R. (2012)**. Heavy metal tolerance of fungus isolated from soil contaminated with sewage and industrial wastewater. *Pol.J.Environ.stud.* 22: 691-697.

[126]:**Ezzouhri L., Castro E., Moya M., Espinola F. et Lairini K.(2009)**. Heavy metal tolerance of filamentous fungi isolated from polluted sites in Tangier, Morocco. *African Journal of Microbiology Research.* 3 (2): 35-48.

[127] : **Redon P. (2009)**. Role de champignons mycorhiziens à arbuscules dans le transfert du Cadmium (Cd) du sol à la luzerne (*Medicago truncatula*). Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en science du sol. Université Henri Poincaré, Nancy.

[128]: **Gadd G.M. (1993)**. Microbial formation and transformation of organometallic and organometalloid compounds. *FEMS Microbial.* 11: 297-316.

[129]:**Babich H. et Stotzky G. (1976)**. Effect of Cadmium on fungi and on interactions between fungi and bacteria in soil : influence of clay minerals and pH. *Applied and environmental Microbiology.* 33: 1059-1066.

[130] :**Kayalto B. (2009)**. Contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du lac Tchad. Mémoire d'étude approfondies (DEA) en sciences alimentaires/nutrition. Université de Ngaoundere.

[131] : **Benedetto D.** Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation, dossier SAM 1997 :les métaux lourds. . [en ligne]. Disponible sur internet : <https://www.Dionex.com/product.html>.(consulté le 06/07/2020).

Les références

[132] : **Davranche L., Haluwyn C. et Cuny D. (2009)**. Approche du risque sanitaire lie a la consommation de champignons contamines par les éléments traces métalliques. Association pour la prévention de la pollution Atmosphérique.BP 86,59373. Université Lille Nord de France.

[133] : **Lehembre F. (2009)**. Réponses adaptatives des microorganismes eucaryotes du sol aux pollutions métalliques. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard Lyon1.

[134]:**Tuzen M., Ozdemir M. et Demirbas A. (1998)**. Heavy metal bioaccumulation by cultivated *Agaricus bisporus* from artificially enriched substrates. *Lebens unters Flersch*. 206: 417-419.

[135] :**Monchy S. (2007)**. Organisation et expression des gènes de résistance aux métaux lourds chez *Cupriavidus metallidurans* CH34. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en sciences. Université libre de Bruxelles.

Résumé

Les insectes ravageurs menacent la production du petit pois d'une année en année et qui s'attaquent d'une variété à une autre. Ce travail a été réalisé dans le but de déterminer l'utilisation des champignons entomopathogène comme un moyen de lutte biologique contre ces ravageurs du petit pois afin d'obtenir une abondante production agricole avec une haute valeur nutritionnelle. D'autre part ces champignons entomopathogènes influencé par la toxicité des métaux lourds qu'il absorbe du sol. Des études montrent que ces champignons peut plus sensibles disparaissent en présence de ces nouvelles contraintes alors que d'autres sont utilisé des mécanismes de résistance pour être survivre.

Mot clés : Les ravageurs, le petit pois, les champignons entomopathogène, la lutte biologique, les métaux lourds.

Abstract :

Insect pests threaten pea production from year to year and attack from one variety to another. This work was carried out to determine the use of entomopathogenic fungi as a means of biological control of these pea pests in order to obtain abundant crop production with high nutritional value. On the other hand these entomopathogenic fungi influenced by the toxicity of heavy metals that it absorbs from the soil. Studies show that these fungi can more sensitive disappear in the presence of these new stresses while others are used resistance mechanisms to be survive.

Key word: the pests, the pea, entomopathogenic fungi, the biological control, heavy metals.

ملخص

تهدد الآفات الحشرية انتاج البازلاء من سنة الى اخرى و تهاجم من صنف الى اخر . تم تنفيذ هذا العمل بهدف تحديد استخدام الفطريات الممرضة للحشرات كوسيلة للمكافحة البيولوجية ضد افات البازلاء هذه من اجل الحصول على انتاج زراعي وفير ذو قيمة غذائية عالية من ناحية اخرى تتأثر الفطريات الممرضة للحشرات بسمية المعادن الثقيلة التي تمتصها من التربة . تشير الدراسات الى ان هذه الفطريات الاكثر حساسية يمكن ان تختفي في وجود هذه الضغوط الجديدة بينما يستخدم البعض الاخر اليات المقاومة للبقاء على قيد الحياة

الكلمات المفتاحية : الآفات الحشرية , البزلاء, الفطريات الممرضة للحشرات , مكافحة البيولوجية , المعادن الثقيلة

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

Filière : Sciences Biologique

Spécialité : *Mycologie et biotechnologie fongique*

Titre : L'IMPACT DES METAUX LOURDS SUR LES CHAMPIGNONS ENTOMOPATHOGENES ISOLES A PARTIR DES RAVAGEURS DE PETIT POIS

Résumé :

Les insectes ravageurs menacent la production du petit pois d'une année en année et qui s'attaquent d'une variété à une autre.

Ce travail a été réalisé dans le but de déterminer l'utilisation des champignons entomopathogènes comme un moyen de lutte biologique contre ces ravageurs du petit pois afin d'obtenir une abondante production agricole avec une haute valeur nutritionnelle.

D'autre part ces champignons entomopathogènes influencé par la toxicité des métaux lourds qu'il absorbe du sol.

Des études montrent que ces champignons peut plus sensibles disparaissent en présence de ces nouvelles contraintes alors que d'autres sont utilisé des mécanismes de résistance pour être survivre.

Mot clés : Les ravageurs, le petit pois, les champignons entomopathogène, la lutte biologique, les métaux lourds.

Membre du jury :

- M^{me} BENKAHOUL Malika (M.C.B- UFM Constantine).
- M^{me} ABDALAZIZ Ouided (M.C.B- UFM Constantine).
- M^{me} MEZIANI Meriem (M.A.A- UFM Constantine)

Présentée par :

- ZIOUANE MANEL
- ABDERRAHMANE KHADIDJA

Année universitaire : 2019 -2020