

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira De Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie
Spécialité Biotechnologie Microbienne



Réf :

Mémoire de fin de cycle
En vue l'obtention du diplôme
MASTER

Thème

**Etude de la durabilité de l'efficacité des agents
phytoprotecteurs contre les maladies des plantes**

Présenté par :

HAMMA Assia

BOUHRAR Ouassila

Soutenu le : 14 Juillet 2022

Devant le jury composé de :

Mr. ADJEBLI A.

MCA

President

Mr. BELHADI D.

MCA

Examineur

Mlle. BOUAOUD Y.

MCB

Promotrice

Année universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions **Dieu** tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage, la santé, la volonté et les moyennes afin d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promotrice **Dr. BOUAOUD Y** pour nous avoir orienté et aidé à réaliser ce travail avec rigueur et patience. Nous la remercions également pour sa disponibilité, ses conseils, et pour la confiance qu'elle nous a accordé. Qu'elle trouve ici notre reconnaissance et tous nos respects.

Tous nos remerciements et notre gratitude aux membres de jury pour avoir bien voulu examiner notre travail. Nos remerciements s'adressent donc à :

Dr. ADJEBLI A, en nous faisant l'honneur de présider le jury et au **Dr. BELHADI D**, nous le remercions d'avoir consacré du temps pour évaluer ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants qui nous ont accompagnés durant tout notre cursus et à toute la promotion de Biotechnologie Microbienne

Enfin, que toutes les personnes qui nous ont soutenus de près ou de loin trouvent ici nos sincères remerciements et notre reconnaissance.

DEDICACE

Je dédie ce Travail :

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.
Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

A celui qui ma soutenue tout au long de ce projet : mon mari

A mes frères : YUCEF et LOTFI

A mes sœurs: NAWEL et SABRINA

A mon grand père et mes grandes mères

A mes beaux parents et mes belles sœurs

A la mémoire de mon grand père

A toutes les personnes qui sont présentes pour moi et qui comptent pour moi

H. Assia

DEDICACE

*Merci « ALLAH » de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire «
YARAHMAN ».*

Je dédie ce Travail :

A mes chers parents

Sans vous, je ne serai jamais arrivée là où j'en suis.

Qu'Allah vous protège et vous accorde santé,

bonheur et longue vie

A mes sœurs et mon frère

Pour leur soutien permanent et la patience infinie dont ils ont fait preuve pour m'aider à supporter tous les aléas de cette période

A toute ma famille

Et à tous mes amis et collègues

A tous les membres d'A.I.L.S.A

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

B. Ouassifa

Listes des figures :

Figure	Titre	page
Figure 1	Symptômes de la pourriture gris sur différents hôtes	5
Figure 2	Symptômes du mildiou sur la vigne	7
Figure 3	Symptômes de la cladosporiose sur tomate	8
Figure4	Symptômes de la fusariose sur la tomate	9
Figure5	Symptômes de l'Oïdium sur blé	10
Figure6	Symptômes de la pourriture blanche sur l'haricot	11
Figure7	Symptômes de la verticilliose sur tomate	12
Figure8	Symptôme de l'altérioriose sur différents hôtes	13
Figure9	Symptômes de la brûlure bactérienne sur haricot	15
Figure10	Symptômes de la gale commune de pomme de terre	16
Figure11	Symptômes de la pourriture molle sur pomme de terre	18
Figure12	Symptômes de la gale sur le collet	19
Figure13	Symptômes du chancre bactérien	20
Figure14	Les principales maladies causées par différentes bactéries phytopathogènes	20
Figure15	Symptômes du PVY sur pomme de terre	21
Figure16	Symptôme de la mosaïque commune du haricot	22
Figure17	Symptôme de virus de la mosaïque du tabac	23
Figure18	Mode d'actions des agents de lutte biologiques	33
Figure19	Les avantages et inconvénients de la lutte biologique et chimique	37
Figure20	Box plot représentant la diversité de la protection déclenchée par le bioprotecteur microbien <i>Pseudomonas helmanticensis</i> à haute dose (10^7 CFU/ml) et à faible dose (10^6 CFU/ml) contre 62 souches de <i>Botrytis cinerea</i> sur des plants de tomates.	49

Figure 21	Diversité de sensibilité des souches de <i>P. helmanticensis</i> CT22 à l'égard de 62 souches de <i>B. cinerea</i> testée sur tiges de tomate	50
-----------	---	----

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Présentation générale des causes de maladies chez les plantes	4
Tableau 2	Exemples d'autres champignons phytopathogène	14
Tableau 3	Exemple des ravageurs avec leurs symptômes	24
Tableau 4	Exemples d'agents de biocontrôle disponibles dans le commerce pour le contrôle des maladies fongiques	35

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre I : Les maladies des plantes	
1. Généralités sur les maladies des plantes	4
1-1. Les maladies non infectieuses (abiotiques)	4
1-2. Les maladies infectieuses (biotiques).....	4
2. Les principaux champignons phytopathogènes	5
2-1. <i>Botrytis cinerea</i>	5
2-2. <i>Plasmopara viticola</i>	6
2-3. <i>Cladosporium fulvum</i>	7
2-4. <i>Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici</i>	8
2-5. <i>Blumeria graminis f. sp. tritici</i>	9
2-6. <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	10
2-7. <i>Verticillium dahliae</i>	11
2-8. <i>Alternaria solani</i>	12
3. Les principales bactéries phytopathogènes	15
3-1. <i>Xanthomonas</i>	15
3-2. <i>Streptomyces scabies</i>	16
3-3. <i>Pectobacterium carotovorum</i>	17
3-4. <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	18
3-5. <i>Pseudomonas syringae</i>	19
4. Les principales maladies virales.....	21
4-1. Virus Y de la pomme de terre (PVY).....	21
4-2. Mosaïque commune du haricot (BCMV).....	21
4-3. Virus de la mosaïque du tabac (TMV)	22
5. Les ravageurs	23

Chapitre II : Stratégies de lutte contre les maladies des plantes

1. La lutte génétique	25
2. Les pratiques culturales	25
3. La lutte chimique.....	27
3-1. Composés agissant directement sur les parasites Composés	27
3-2. Composés à action indirecte sur les parasites	30
4. La lutte biologique	30
4-1. Mode d'action	31
4-1.1. La compétition	31
4-1.2. L'antibiose	32
4-1.3. Le parasitisme	32
4-1.4. La diminution de pouvoir pathogène	32
4-1.5. L'induction de la résistance chez la plante	33
4-1.6. Combinaisons des différents modes d'actions	34
5. La lutte intégrée.....	37

Chapitre III : Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte

1. Introduction	39
2. Les différentes méthodes de contrôle et leurs durabilités	39
3. Modes d'action des agents de lutte biologiques et leurs potentielles durabilités.....	44
4. Diversité de sensibilité des souches pathogènes à l'égard des agents de lutte biologique	47
5. Risques d'émergence de résistance <i>vis-à-vis</i> des agents de lutte biologique.....	49
6. Recommandations pour une utilisation durable des agents de lutte biologique	50
Conclusion	53

Références bibliographiques

Introduction

Introduction

La production agricole mondiale a connu une augmentation significative sur les plans quantitatifs, qualitatifs et diversification des produits pour répondre aux besoins alimentaires d'une population humaine sans cesse croissante (FAO, 2010). Aujourd'hui, les plantes sont la cible de nombreuses maladies qui sont considérées comme l'un des plus grands obstacles à la sécurité alimentaire mondiale face à la croissance démographique humaine au 21^{ème} siècle (Velásquez *et al.*, 2018). Ces maladies peuvent avoir des conséquences économiques, sociales et écologiques à l'échelle mondiale.

Selon l'OMS les animaux ravageurs, les microorganismes pathogènes (bactéries, champignons, virus), les insectes et les nématodes sont responsables annuellement d'une perte allant de 20 à 40% de rendement des cultures avant récolte, et de 1 à 20% après récolte (Wojciech *et Korsten*, 2002). Des statistiques récentes indiquent que les maladies fongiques causent des dégâts importants avec une perte de récolte estimée de 40 à 60%, suivie de maladies virales (10 à 15%), et le reste des pertes sont causées par des bactéries, phytoplasmes et nématodes (Patil, 2020).

Par ailleurs, pour lutter contre ces maladies, il s'avère indispensable de recourir à différentes méthodes de lutte. En effet, l'utilisation des cultivars résistants aux agents pathogènes peut être un moyen pour résoudre ou empêcher l'aggravation des problèmes phytosanitaires (Damicone *et Lynn*, 2015).

La lutte chimique constitue la technique de lutte la plus utilisée actuellement contre les agents phytopathogènes en raison de son efficacité et de son application simple et pratique (Magan *et Olsen*, 2004 ; Kouassi, 2001 ; Thakore, 2006). Cependant, la prescription massive de ces produits phytosanitaires a conduit à la sélection de souches résistantes (Leroux, 2007). Il est également à noter que l'utilisation incontrôlée des fongicides a des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé humaine (Glare *et al.*, 2012).

Les pratiques culturales font partie quant à elles des méthodes de lutte les plus anciennement utilisées pour lutter contre les maladies des plantes (Aubertot *et al.*, 2005). Elles peuvent être préconisées pour prévenir ou empêcher l'installation et la croissance des phytopathogènes (Bernard *et Bugaret*, 2002).

Introduction

La lutte biologique qui suscite de plus en plus d'intérêts, est considéré comme une solution alternative ou complémentaire à l'utilisation des produits chimiques. Cette méthode bien qu'elle soit intéressante et prometteuse, elle présente la contrainte d'avoir une efficacité variable sur le terrain, ce qui peut impacter sont efficacité à long terme.

Ceci nous amène donc à s'interroger sur la durabilité de l'efficacité des agents de lutte biologique utilisés pour lutter contre les phytopathogènes ?

La perte de l'efficacité a été largement étudiée dans le passé pour plusieurs méthodes de protection des plantes. Ainsi, la pérennité de la lutte chimique par exemple a été remise en question avec l'émergence fréquente et récurrente de résistances aux fongicides dans les populations de divers phytopathogènes (**Bardin *et al.*, 2021**). Les effets secondaires de la lutte chimique ne sont donc pas compatibles avec l'utilisation durable des agro-écosystèmes (**Deguine *et Ferron*, 2004**).

A notre connaissance, très peu d'études se sont intéressées jusqu'à présent à l'étude de la durabilité de la lutte biologique. Ce manque de documentation est en grande partie lié aux faits que l'utilisation de cette méthode est d'une importance moindre comparés à la lutte chimique qui est plus largement utilisée (**Bardin *et al.*, 2021**).

Une des limites à l'utilisation des agents phytoprotecteurs sur le terrain et qui peut par conséquent compromettre leurs durabilités est que leurs activités est dépendante des conditions climatiques et environnementales, ce qui rend parfois leurs efficacités variables (**Nicot *et al.*, 2011a**). D'autres facteurs peuvent influencer l'efficacité des agents de lutte biologique, tels que le manque des compétences écologiques des microorganismes antagonistes (**Elad *et Stewart*, 2007**). Aussi, la présence plus précoce d'isolats moins sensibles aux agents phytoprotecteurs peut contribuer à la variabilité de l'efficacité de la protection biologique (**Bardin *et al.*, 2015**).

C'est dans ce contexte que s'insère notre travail dont l'objectif globale est de faire le point sur les principales maladies des plantes, les moyens de lutte déployés pour protéger les cultures, et de mettre en lumière les connaissances actuelles sur la durabilité des agents phytoprotecteurs, à travers une recherche bibliographique approfondie. Pour cela nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

Chapitre I : Les principales maladies des plantes

Ce chapitre a pour objectif de donner un aperçu général des différentes maladies qui touchent les plantes notamment les maladies cryptogamiques, bactériennes et virales.

Chapitre II : Stratégies de lutte contre les maladies des plantes

Cette partie présente les différentes stratégies de lutte utilisées par les agriculteurs dans le but de combattre les phytopathogènes et de protéger les cultures.

Chapitre III : Durabilité de l'efficacité des agents phytoprotecteurs

Ce chapitre traite des connaissances actuelles de la durabilité de l'efficacité des agents de lutte biologique.

Chapitre I
Les maladies des plantes

Chapitre I : Les maladies des plantes

1. Généralités sur les maladies des plantes

Les plantes sont sujettes à des maladies causées par différents agents lors de croissance, provoquant des nécroses, des pourritures, modification des organes (Mallamaire, 1965). Ces maladies sont divisées en deux catégories : les maladies non infectieuses et les maladies infectieuses (Scheffer, 1997). (Tableau 1)

1-1. Les maladies non infectieuses (abiotiques)

Provoquées par des conditions écologiques inadéquates telles que Température, l'eau, l'oxygène, et le pH du sol, ainsi que le manque ou excès de nutriment nutritif et la pollution de l'air (Scheffer, 1997).

1-2. Les maladies infectieuses (biotiques)

Elles sont causées par des micro-organismes (les champignons, les procaryotes, les virus et les nématodes (Scheffer, 1997; Lepoivre, 2003) qui occasionnent des pertes plus dommageables, en conditions environnementales favorables pour l'hôte (Zahri et al., 2014).

Tableau 1 : Présentation générale des causes de maladies chez les plantes (Lepoivre,2003).

Agents non infectieux (physique-chimique) (maladies abiotiques)	
Climat	Froid, chaud, sécheresse, excès de précipitation, Grêle, foudre, vent, neige
Nutrition	Déséquilibres, carence, excès, pH, salinité Toxique naturels.
Pollution	Atmosphère (SO ₂ , F, etc.), sols, eaux (nitrate, pesticides), poussières industrielles
Agents infectieux (maladies biotique)	
Molécules	Virus, viroïdes.
Cellules ou organismes pluricellulaires	Bactéries, phytoplasmes, champignon

2. Les principaux champignons phytopathogènes

2-1. *Botrytis cinerea*, agent de la pourriture grise

2-1-1. Description

Botrytis cinerea est l'agent pathogène provoque la maladie de la pourriture grise chez de nombreuses espèces végétales (Schumacher, 2016), responsable de lourdes pertes économiques et de dégâts considérables. Ce champignon est ubiquiste et polyphage, capable d'attaquer plus de 200 espèces de cultures dans le monde, dont divers légumes, plantes ornementales, et les arbres fruitiers en avant et après la récolte (Fernandez Acero *et al.*, 2011; Adjebli *et al.*, 2015). Il affecte aussi bien la culture sous serre qu'en plein champ (Williamson *et al.*, 2007; Mouria *et al.*, 2013). Il est classé parmi les dix champignons phytopathogènes les plus importants au monde (Dean *et al.*, 2012).

2-1-2. Symptômes

Ce champignon pathogène, haploïde et nécrotrophe (Elad *et al.*, 2007; Staats, 2005) provoque plusieurs symptômes, ils attaque à tous les organes aériens de la tomate et à tous les stades (Blancard *et al.*, 2009). Ce champignon est capable de provoquer des tâches marrons/brunes sur feuilles et tiges, ainsi que des tâches en anneaux blanchâtres, appelés tâches fantômes sur les fruits (Grierson *et Kader*, 1986 ; Watterson, 1987 ; Koike *et al.*, 2007). Cette maladie provoque aussi le flétrissement et la mort des tissus infectés voir de la plante entière (Goyal *et Manoharachary*, 2014). (Figure 1)

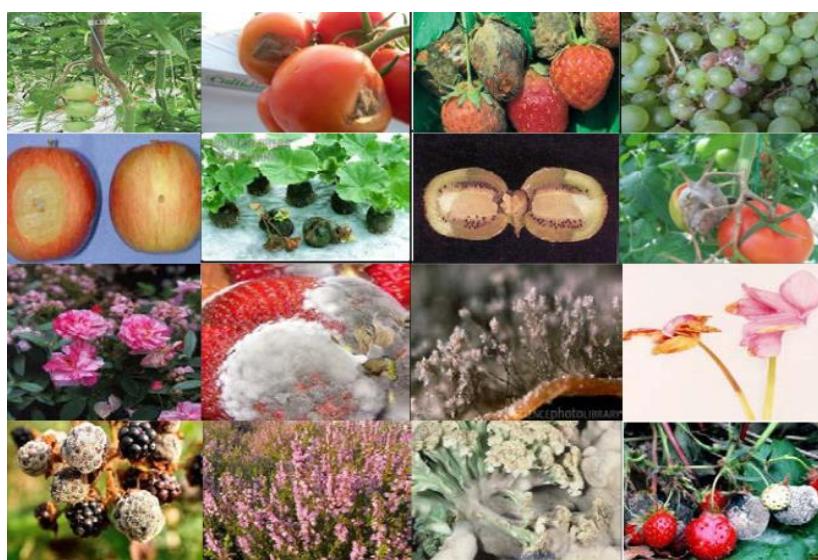


Figure 1 : Symptômes de la pourriture gris sur différents hôtes (INRA).

2-1-3. Cycle de développement

Le développement de ce champignon phytopathogène passe par plusieurs phases, à savoir la germination des spores, l'infection, la propagation du mycélium dans les tissus infectés, la sporulation et la dispersion (**Jarvis, 1989**). Lorsque les conditions sont défavorables, *B.cinerea* se développe dans le sol sous forme de mycélium dans les débris végétaux, ou sous forme de spores constituées de mycélium blanchâtres agrégés. Ils durcissent et noircissent pour devenir des sclérotés (**Staats et al., 2005 ; Amselem et al., 2011 ; Romanazzi et Feliziani, 2014**). Au printemps, les sclérotés peuvent germer et produire du mycélium ou des spores qui se développent en organes asexués appelés conidiophores portant des conidies. Ces derniers se fixent et germent à la surface des tissus végétaux, puis produisent des tubes germinatifs qui se développent en appressorium (**Kars et Van Kan, 2007**). Après avoir formé le tube, il pénètre dans les tissus par les blessures. La libération de conidies a lieu dans les climats humides et sont ensuite emportés par le vent, la pluie et les insectes (**Blancard et al., 2009**). Les sclérotés peuvent produire sexuellement les apothécies brunâtres qui contiennent des asques et chaque asque comporte quatre paires d'ascospores qui peuvent avoir une importance épidémiologique (**Lorbeer et al., 2004**).

2-2. *Plasmopara viticola*, l'agent causal du mildiou de la vigne

2-2-1. Description

Le mildiou est une maladie cryptogamique qui affectent la vigne, causée par parasite biotrophe obligatoire *Plasmopara viticola*, champignon qui appartient à la classe des oomycètes (**Vercesi et al., 1999; Khiook et al., 2013; Mestre et al., 2013**). Ce champignon touche tous les organes aériens à n'importe quel stade de développement, et peut réduire considérablement le rendement de façon quantitatif et qualitatif (**Blanc, 2012; Pierron, 2015**). En effet, il peut engendrer des pertes de rendement (**Jean-Denis, 2005**).

2-2-2. Symptômes

Sur les feuilles on observe des colorations jaunes visibles appelée « taches d'huiles » accompagnées d'une sporulation blanche et de nécroses, L'oomycète fructifie aussi sur les baies. Les rameaux et les inflorescences présentent des lésions (**Comber, 2019**). (**Figure 2**)



Figure 2: Symptômes du mildiou de la vigne (INRA).

2-2-3. Cycle de développement

Cette oomycète biotrophe présente deux formes de reproduction, sexuée et asexuée. La forme sexuée donne naissance à des oospores générées par fécondation d'une anthéridie et d'une oogone peuvent survivre à l'hiver sous forme de mycélium. Dans les conditions favorables, les oospores vont former des macrosporangies qui libèrent des zoospores, ces dernières germent en produisant un tube germinatif qui pénètre à travers les stomates. Après colonisation des tissus, le mycélium se développe et produit des sporanges portés par des sporangiophores. Les sporanges sont à l'origine des infections secondaires, à l'été humide le parasite se multiplie au cours de cycle asexuée, ce qui favorise la propagation de la maladie (Dufour, 2011; Blanc, 2012; Combier, 2019).

2-3. *Cladosporium fulvum*, l'agent causal de la cladosporiose

2-3-1. Description

Cladosporium fulvum est un champignon phytopathogène filamenteux, biotrophe non obligatoire (Curtis *et al.*, 1994), responsable de la cladosporiose. Il a fait l'objet d'intenses recherches depuis plusieurs décennies (Lindhout *et al.*, 1989). Ce champignon affecte la tomate cultivée sous serre (Rivas *et Thomas*, 2005), et se développe à des températures autour de 20°C et avec une humidité relative élevée (Lucentini *et al.*, 2021). La cladosporiose est une maladie économiquement importante causant des pertes de rendements considérables (Stergiopoulos *et al.*, 2007).

2-3-2. Symptômes

Ce champignon peut s'attaquer à tous les organes aériens de la tomate. Sur les feuilles, il provoque des taches vert pâle ou jaunâtres sur la face supérieure des feuilles, qui virent progressivement au jaune distinctif. Aussi des taches de moisissure vert olive peuvent

apparaître sur les zones décolorées sur la face inférieure des feuilles. Lorsque l'infection est grave, les taches fusionnent et le feuillage meurt. Les fruits peuvent développer une pourriture noire coriace à l'extrémité de la tige (**Babadoost, 2011**). (**Figure 3**)



Figure 3 : Symptômes de la cladosporiose sur tomate (INRA).

2-3-3. Cycle de développement

Le cycle d'infection de *Cladosporium* commence à la surface des feuilles à des conditions de forte humidité, les spores germent et les hyphes s'étendent à travers la surface atteignant les stomates ouverts, les hyphes pénètrent dans la feuille et commencent à coloniser l'espace intercellulaire. Après environ 8 jours de croissance, les hyphes du champignon sortent à nouveau par les stomates et sporulent (**Solomon et Oliver, 2001**).

2-4. *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*, l'agent causal de la fusariose vasculaire

2-4-1. Description

Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici est un champignon tellurique, saprophyte qui se trouve dans la rhizosphère de plusieurs plantes (**Steinkellner et al., 2005**). Cet agent pathogène se développe à des températures élevées (**Blancard et al., 2009**), il a été découvert pour la première fois au Japon en 1969 (**McGovern, 2015**), responsables de la fusariose vasculaire, il provoque le flétrissement (Wilt) de la tomate (**Akkopru et Demir, 2005; Srinivas et al., 2019**). Il cause d'importants dommages chez la majorité des cultures en serre et en plein champ (**Si Mohammed et al., 2016**).

2-4-2. Symptômes

Ce champignon pathogène ubiquitaire (**Bao et al., 2002**) peut infecter une large gamme de plantes hôtes. Les symptômes de cette pathologie sur la plante de tomate comprennent le flétrissement vasculaire, et une décoloration jaune au niveau des feuilles. A noter que *F.*

oxysporum f. sp. Lycopersici peut également provoquer la pourriture des fruits (Atherton et Rudich, 1986; Blancard *et al.*, 2009). (Figure 4)



Figure 4 : Symptômes de la fusariose sur la tomate (INRA).

2-4-3. Cycle de développement

F. oxysporum mène une vie sporophyte sur des débris de plantes et des matières organiques où il survit sous forme de chlamydospores en dormance (Correll *et al.*, 1986; Steinkellner *et al.*, 2005). Des conditions favorables et en contact avec l'hôte, les chlamydospores germent, et il y a formation d'un mycélium. Le thalle produit ensuite des conidies. Le mycélium envahit les racines, il pénètre à l'intérieure des plantes et s'installe dans les vaisseaux du xylème, où il se propage dans la tige par l'intermédiaire des microconidies transporté par la sève provoquant la maladie chez la plante (McGovern, 2015).

2-5. *Blumeria graminis f. sp. tritici*, l'agent causal de l'oïdium du blé

2-5-1. Description

L'oïdium du blé est une maladie provoquée par un ascomycète biotrophe obligatoire *Blumeria graminis f. sp. Tritici*, c'est une maladie endémique répandue dans de nombreuses régions du monde qui a été reconnue comme un problème de maladie dévastateur (Attab et Brinis, 2012; Draz *et al.*, 2019). Ce champignon cause des pertes importantes de rendement. L'infection est favorisée par des températures douces (15-22 C°) et une humidité élevée (supérieure à 70%) (Tomás et Solís Martel, 2000; Velho *et al.*, 2022).

2-5-2. Symptômes

L'oïdium est une maladie facile à diagnostiquer chez les céréales. Les symptômes de cette maladie peuvent être observés au niveau de toutes les parties aériennes de la plante sur (les

feuilles, les tiges et les épis), mais ce sont les feuilles qui sont le plus souvent attaquées, Des taches blanches se développent et produisent des conidies, puis ces taches prennent une couleur grise ou brune (Mustafa, 2015). (Figure 5)



Figure 5 : Symptômes de l'oidium sur blé (INRA).

2-5-3. Cycle de développement

Cet ectoparasite présente deux formes de reproduction avec une phase de reproduction sexuée et une autre asexuée (Cicarese *et al.*, 1998). Des pustules blanches produisent des spores qui se développent donnant aux symptômes un aspect poudreux. Au fur et à mesure qu'elles grandissent, les pustules d'oidium s'assombrissent en prenant une couleur grise ou brune. La dissémination est due à la dispersion des conidies par un mode anémophilique. Par ailleurs, les structures reproductives sexuées contenant des ascospores noires, les cléistothèces, s'incorporent aux pustules d'oidium vers la fin de la saison. Les ascospores produites sont utilisées pour la contamination de l'année suivante, ces spores peuvent être conservées durant l'hiver (Mustafa, 2015).

2-6. *Sclerotinia sclerotiorum*, l'agent causal de la Pourriture blanche

2-6-1. Description

La pourriture blanche ou sclerotiniose est une maladie cryptogamique causée par *Sclerotinia sclerotiorum*, et d'autres espèces de *Sclerotinia* (Leyronas *et al.*, 2018). Ce champignon ubiquitaire nécrotrophe fait partie des ascomycètes, et touche plus de 400 espèces de plantes telles que le tournesol, la carotte, laitue, le soja, le canola et le colza (Laurens, 2016). Cette maladie provoque une perte annuelle de plusieurs centaines de millions de dollars avant et après la récolte (Wang *et al.*, 2014).

2-6-2. Symptômes

Les symptômes causés par *Sclerotinia* varient selon l'hôte ou la partie de l'hôte affecté et les conditions environnementales. Le symptôme le plus évident c'est l'apparition d'un mycélium cotonneux blanc (pourriture blanche) qui se développe sur les tissus infectés, puis de nombreux sclérotés noirs et durs sont produits. Sur la tige, on observe des lésions brun pâle à leur base sont recouvertes de plaque cotonneuses blanches correspondant au mycélium fongique. Les feuilles montrent en général peu de signes d'attaques, mais les feuillages au-dessous de la lésion finissent par flétrir et mourir (McDonald *et* Boland, 2004; Saharan *et* Mehta, 2008).



Figure 6 : Symptômes de la pourriture blanche sur l'haricot (INRA).

2-6-3. Cycle de développement

Sur les plantes malades, l'agent pathogène produit généralement de nombreux sclérotés qui ont un potentiel de survie de plusieurs années dans le sol et jouent un rôle majeur dans le cycle de la maladie. Ces sclérotés peuvent produire soit du mycélium, soit des apothécies selon les conditions environnementales (Leyronas *et al.*, 2018). Ces apothécies produisent des ascospores qui sont l'inoculum primaire dans la plupart des plantes hôtes. Dans ce cas, les ascospores ont besoin d'une source de nutriments pour germer avant l'invasion des plantes hôtes, et elle se trouve généralement dans les tissus sénescents. La maladie est donc principalement initiée par la germination mycélienne des sclérotés. Les mycéliums peuvent infecter directement les racines et le collet des plantes sensibles (Bardin *et* Gullino, 2020).

2-7. *Verticillium dahliae*, l'agent causal de la verticilliose

2-7-1. Description

Verticillium dahliae est l'agent pathogène responsable du flétrissement vasculaire, cette maladie peut infecter plus de 200 espèces végétales, causant de graves dommages aux cultures (Witzel,

et al., 2017; *Hu et al.*, 2019). Ce champignon phytopathogène du sol produit des enzymes dégradants les parois cellulaires et des phytotoxines impliquées dans le développement des symptômes (*Fradin et Thomma*, 2006; *Song et al.*, 2020). Le champignon se conserve dans le sol et peut survivre dans les racines et les troncs pendant plusieurs années en produisant des structures de repos appelées microsclérotos (*Goldberg*, 2006).

2-7-2. Symptômes

Les symptômes sont variables selon la plante hôte, principalement ils se présentent sous la forme d'un flétrissement des feuilles basales qui débute au bord de la feuille, qui jaunissent et prennent une forme en « V », puis un brunissement vasculaire est visible sur des sections de la tige, conduisant finalement la mort de la plante (*Bubici et Cirulli*, 2008). (Figure 7)



Figure 7 : Symptômes de la verticilliose sur tomate (INRA).

2-7-3. Cycle de développement

Au cours de son cycle biologique, *V. dahliae* produit des structures viables, notamment des microsclérotos, qui peuvent survivre dans le sol pendant plusieurs années. Les exsudats racinaires fournissent un signal pour la germination des microsclérotos, et après la germination de ces dernières, les hyphes infectieux initient l'infection des racines des plantes. Après pénétration à travers l'épiderme racinaire de la plante et une période de colonisation plus longue, au cours de laquelle les plantes sont asymptomatiques, des microsclérotos se développent en grand nombre dans les tissus des plantes mourantes et nécrotiques, qui retournent ensuite au sol avec les débris végétaux pour initier une nouvelle fois le cycle de la maladie (*Schnathorst*, 1981; *Duressa et al.*, 2013).

2-8. *Alternaria solani*, l'agent causal d'alternariose

2-8-1. Description

L'Alternariose (early blight) est une maladie très fréquente et très répandue dans le monde, qui

touche une large gamme de plante dont la tomate, la pomme de terre, l'aubergine.... Elle est causée par *Alternaria solani*, champignon qui touche toutes les parties aériennes de la plante et sur lesquels il peut provoquer de graves infections. Les pertes de rendements liées à cette maladie ont été signalées dans différents pays et peuvent aller jusqu'à 79%. Cet agent pathogène peut survivre dans le sol sous forme de mycélium et de conidies dans des conditions favorables de température comprise entre 25-30° (Dhaval *et al.*, 2021 ; Kaur *et al.*, 2020 ; Blancard *et al.*, 2009).

2-8-2. Symptômes

La maladie se manifeste par l'apparition de taches nécrotiques sombre en anneaux concentriques, avec un halo chlorotique jaune sur les feuilles (Ramezani *et al.*, 2019 ; Bessadat *et al.*, 2016). Ces taches sont de couleur noir plus au moins arrondies de diamètre variables et observables sur toutes les parties de la plante (Aissat, 2008). (Figure 8)



Figure 8 : Symptômes de l'altérariose sur différents hôtes (INRA).

2-8-3. Cycle de développement

Les champignons hivernent sous forme de conidies ou de mycélium dans le sol, les débris végétaux, les graines et les hôtes alternatifs, qui peuvent constituer une source majeure d'inoculum. Les parois cellulaires épaisses des conidies permettent aux champignons de s'adapter aux conditions climatiques défavorables. L'infection se produit dans des environnements chauds et humides. En effet, les conidies germent entre 8-32°C dans des conditions fraîches et humides avec de l'humidité pour former des tubes germinatifs. Ces dernières pénètrent directement dans les tissus de l'hôte ou pénètrent par les stomates ou alors par les plaies, provoquant l'infection. Selon les conditions environnementales, l'âge des feuilles et la sensibilité des cultivars, les lésions apparaissent 2 à 3 jours après l'infestation et les spores se développent 3 à 5 jours après l'apparition des lésions (Dhaval *et al.*, 2021 ; Adhikari *et al.*, 2017).

Tableau 2 : Exemples d'autres champignons phytopathogènes (Corbaz, 1990).

Agent causale	Maladie
<i>Melampsini</i>	Agent de la rouille du lin, qui doit s'a place dans le classement à son rôle de « système modèle » pour l'étude de l'immunité chez les plantes.
<i>Stilagoma Uydís</i>	Agent du charbon du maïs et organisme modèle pour la recherche en phytopathologie et en génétique des plantes
<i>Colletotrium spp</i>	Agents des anthracnoses affectant de nombreuses plantes, notamment arbres fruitiers, plantes maraichères etornementales, et causant des pertes post-récolte importantes chez les fruits et légumes entre posés
<i>Mycosphella graminicola</i>	Agent de la septoriose du blé.
<i>Fusarium graminearm</i>	Agent de la fusariose du maïs et de la fusariose ou gale du blé.
<i>Puccinia spp</i>	Agents de rouille s'affectant notamment les <i>Poaceae</i> (dont les céréales et plus particulièrement le blé).

3- Les principales bactéries phytopathogènes

3-1. *Xanthomonas*, l'agent causal de la brûlure bactérienne d'haricot

3-1-1. Description

Le genre *Xanthomonas* sont des bactéries pathogènes à gram-négative (**Belete et Bastas, 2017**), dont les principales espèces sont *Xanthomonas phaseolipv. phaseoli* (*Xpp*) et *Xanthomonas citripv. fuscans* (*Xcf*), sont responsables de la brûlure bactérienne notamment sur plantes d'haricot. Cette pathologie est l'une des phyto bactériose les plus destructrices des cultures d'haricot, avec des pertes de rendement généralement de 10% à 45%. De plus, les dégâts causés par cette maladie peuvent rendre les gousses ou les graines impropres à la commercialisation (**Foucher, 2020**).

3-1-2. Symptômes

Cette maladie foliaire touche les feuilles, les tiges, les gousses et les graines (**Belete et Bastas, 2017**). Des lésions gonflées d'eau apparaissent sur la face inférieure des feuilles formant des taches nécrotiques variables entourées d'un halo jaune-orangé. Sur les gousses, il est possible d'observer des taches grasseuses circulaires qui virent ensuite au brun orange et les graines finissent par se dessécher (**Bernier, 2011**). (**Figure 9**)



Figure 9 : Symptômes de la brûlure bactérienne sur haricot

3-1-3. Cycle de développement

Les bactéries survivent dans les semences, les débris végétaux, et sur d'autres plantes hôte. Toutes ces sources d'inoculum primaire leur permettent de se propager à travers le monde. Le temps entre l'infection initiale et l'apparition des symptômes est de 10 à 14 jours dans des

conditions adéquates. Au début de phase d'attaque, les bactéries vont pénétrer dans la plante en passant par les stomates, les hydathodes et les blessures elles vont se multiplier de façon endophyte dans les espaces intercellulaires, pour faire face aux défenses de la plante. La bactérie peut se transmettre de plusieurs façons. La bactérie peut contaminer la surface externe de la graine par contact ou durant la récolte lorsque la graine peut rencontrer des débris végétaux contaminés, et l'homme peut également transmettre la maladie en utilisant des outils infectés par exemple (Foucher, 2020).

3-2. *Streptomyces scabies*, l'agent causal de la gale commune

3-2-1. Description

La gale commune est une maladie bactérienne causée par *Streptomyces scabies* appartenant au groupe des Actinomycètes. C'est une grave maladie qui touche particulièrement la production de pomme de terre dans le monde entière (Tegg, 2006; Braun *et al.*, 2017). Le même pathogène affecte également d'autres cultures de tubercules et de racines (le radis, la betterave, la carotte, le navet et la patate douce), en réduisant leur qualité et leur valeur marchande (Agrios, 2005; Wanner, 2006).

3-2-2. Symptômes

Les symptômes de la gale sont principalement causés par des toxines sécrétées par des espèces de *Streptomyces* telles que les phytotoxines et les thaxtomines (Braun *et al.*, 2017). Ils sont assez variables et dépendent de nombreux facteurs tels que la souche pathogène, la sensibilité du cultivar, et les conditions environnementales. Les symptômes se manifestent sur la face supérieure du tubercule de la pomme de terre et peuvent apparaître sous forme de lésion de taille et de profondeur variable sur les surfaces des tubercules (Iqbal *et al.*, 2019). Les lésions de gale se présentent sous forme de zones brunes/foncées (Dees *et Wanner*, 2012). (Figure 10)



Figure 10 : Symptômes de la gale commune de pomme de terre (INRA).

3-2-3. Cycle de développement

L'agent pathogène *Streptomyces* est une bactérie saprophyte, filamenteuse, pouvant survivre dans le sol et les tubercules (Braun *et al.*, 2017). Seules les parties souterraines en développement de la plante, telles que les tiges, les stolons et les tubercules, sont sensibles aux gales (Wanner *et Kirk*, 2015). Au printemps, des hyphes se développent à partir du mycélium végétatif des bactéries, pour se transformer en chaînes de spores qui se séparent plus tard. Pendant l'été, les spores germent sur les tubercules lors de la tubérisation et les hyphes pénètrent le périoderme par les lenticelles et les blessures présentes à la surface des tubercules et même directement à travers le périoderme (Loria *et al.*, 2003; Wharton *et al.*, 2007; Tegg *et al.*, 2008). Le mycélium de *S. scabiessse* développe entre ou à travers quelques couches de cellules du périoderme et provoque leur morte pour permettre à la bactérie de s'en nourrir (Agrios, 2005; Braun *et al.*, 2017).

3-3. *Pectobacterium carotovorum*, l'agent causal de la Pourriture molle

3-3-1. Description

Pectobacterium carotovorum, anciennement regroupée sous le genre *Erwinia*, est un pathogène nécrotrophe qui provoque la pourriture molle. Cette espèce contient trois sous-espèces morphologiquement similaires mais phylogénétiquement distinctes, dont *P. carotovorum sub sp. Brasiliense* (Pcb), *P. carotovorum sub sp. carotovore* (Pcc) et *P. carotovorum sub sp. odoriferum* (Pco) (Li *et al.*, 2020 ; Benada, 2019). Ce pathogène infecte une large gamme d'hôte, et il est capable de se développer à des températures allant de 20°C à 30°C (Pérombelon, 2002).

3-3-2. Symptômes

L'apparition et la nature des symptômes provoqués par *Pectobacterium* est dépendante des conditions environnementales, de la plante (génotype, âge physiologique des tubercules, eau, etc.), et enfin, de l'interaction avec d'autres agents pathogènes (Pérombelon, 2002). Le pathogène entraîne des dommages aussi bien en plein champs (jambe noire) que pendant le stockage (Li *et al.*, 2020). Ces bactéries provoquent des symptômes de macération des tissus, de flétrissement et de jaunissement des feuilles. L'infection provoque alors une pourriture molle brun foncé à noire de la base des tiges (Pérombelon, 2002). En stockage, la bactérie phytopathogène provoque la pourriture molle des tubercules. En effet, la bactérie décompose

le tissu du tubercule, provoquant la macération de la chair. La pourriture molle, d'aspect granuleux et de couleur claire, peut virer au brun ou au noir. La formation de poches de gaz dans les tissus en décomposition provoque une très forte odeur désagréable (Moh, 2012). (Figure 11)



Figure 11 : Symptômes de la pourriture molle sur pomme de terre (INRA).

3-3-3. Cycle de développement

Lorsque les bactéries pénètrent dans le sol, elles vont envahir la rhizosphère de la plante et infecter d'autres tubercules en raison de leur capacité à produire des quantités d'enzymes dégradant la paroi cellulaire et provoque ainsi la pourriture molle (Benada, 2019 ; Khayi, 2015).

3-4. *Agrobacterium tumefaciens*, l'agent causal de la gale sur le collet

3-4-1. Description

La gale sur le collet (crown Gall) est une maladie bactérienne causée par une eubactérie à Gram négative mobile *Agrobacterium tumefaciens*. Cette dernière se trouve dans le sol et a un mode de vie saprophyte. C'est une bactérie qui peut affecter plusieurs familles de plantes, dont les dicotylédones, et provoque la formation de tumeurs au site de l'infection au niveau du collet. Ces tumeurs n'affectent pas la croissance des plantes et la production des fruits (Bouzar *et al.*, 1991; Pierronnet *et Salesses*, 1996; Nabi *et al.*, 2015).

3-4-2. Symptômes

Les symptômes de cette maladie commencent par l'apparition des petits nodules sur certaines racines proches de la surface du sol. Au début ces grosseurs sont lisses, blanchâtres et sphériques, puis avec le temps deviennent brunes, de taille variable et de forme irrégulière (Blancard *et al.*, 2009). (Figure 12)



Figure 12 : Symptômes de la gale sur le collet.

3-4-3. Cycle de développement

La bactérie pénètre essentiellement par blessures et lorsque cette dernière est fixée à la cellule végétale, elle transfère une partie de son matériel génétique à la plante qui va être par la suite combiné avec le matériel génétique de plante, et entraîne une modification de fonctionnement de cette dernière. Ce qui va impliquer entre autre une production incontrôlée de phytohormones (cytokinines et auxines), provoquant la formation de tumeurs (**Lacroix, 2002**).

3-5. *Pseudomonas syringae*, l'agent causal du chancre bactérien

3-5-1. Description

Le chancre bactérien ou bactériose est une maladie bactérienne provoquée par divers genres de *Pseudomonas syringae*, notamment *P. syringae* pv. *Syringae*. C'est une des maladies les plus destructrice et peut toucher tous les arbres fruitiers dans le monde entier (**Cao et al., 2011; Konavko, 2014**). Cette espèce bactérienne possède 3 propriétés importantes : un pouvoir pathogène, un pouvoir glaçogène et une aptitude à la vie épiphyte (**Gaignard et Luisetti, 1993**).

3-5-2. Symptômes

La maladie se manifeste souvent par des cicatrices et des blessures sur les feuilles en hiver, et les symptômes du chancre n'apparaissent qu'au printemps. De grandes plaies sombres apparaissent sur le tronc et les branches des arbres infectés, déversant de grandes quantités de sève collante. Les feuilles prennent également l'apparence d'un trou de balle et la croissance de l'arbre est menacée entraînant éventuellement la mort de l'arbre (**Rabiey et al., 2020**).

(**Figure 13**)



Figure 13 : Symptômes du chancre bactérien (INRA).

3-5-3. Cycle de développement

Pseudomonas syringae pénètre dans les parties aériennes de l'hôte (feuilles, tige et fruit), principalement par les ouvertures naturelles telles que les stomates et par les blessures. La propriété épiphyte de *P. syringae* joue un rôle important dans le développement des maladies (mobilité) (Gaignard et Luisetti, 1993 ; Morris et al., 2008), et le pouvoir pathogène s'exprime alors par la sécrétion de protéines effectrices et la production des phytotoxines dangereuses pour la plante, comme la syringomycine capable de dégrader les parois cellulaires (Gaignard et Luisetti, 1993).

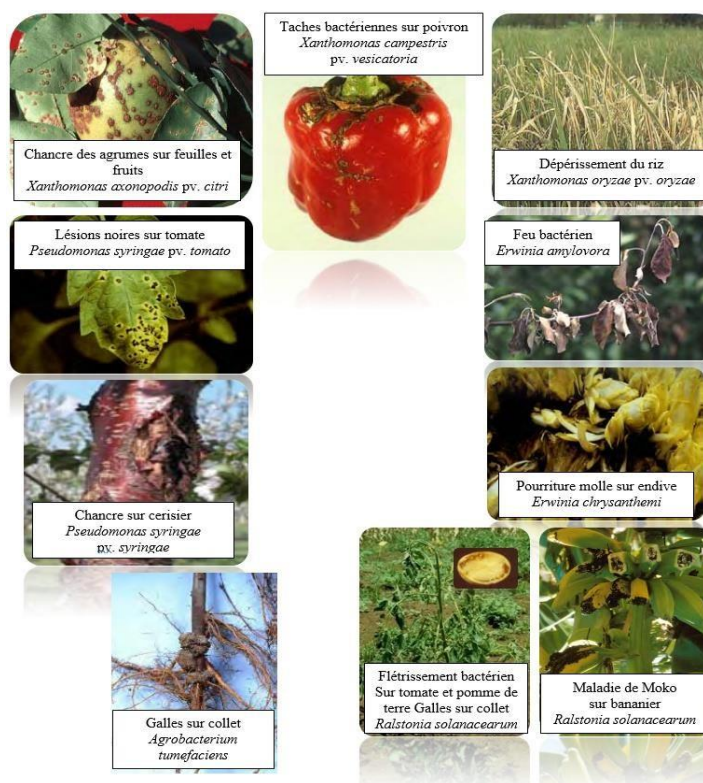


Figure 14 : Les principales maladies causées par différentes bactéries phytopathogènes (Poueymiro, 2009)

4. Les principales maladies virales

4-1. Virus Y de la pomme de terre (PVY)

4-1-1. Description

Le virus Y est un phytovirus pathogène appartenant à la famille des potyviridae, décrit pour la première fois par Smith en 1931. Il est transmis par de nombreuses espèces de pucerons de manière non persistante (**Marchoux *et al.*, 2008**). Il est considéré comme l'un des dix virus les plus importants et le plus dommageables trouvés dans les cultures (**Lacomme *et Jacquot*, 2017**).

4-2-2. Symptômes

Dans de nombreux cultivars, le principal symptôme du PVY est la nécrose foliaire, les symptômes secondaires étant la marbrure et le flétrissement des feuilles et le rabougrissement de la plante. Le PVY provoque des dommages appelés maladies des taches annulaires nécrotiques des tubercules de pomme de terre, dans laquelle les tubercules développent des anneaux peu profonds, mais s'enfoncent ensuite et se nécrosent. Ils deviennent souvent plus visibles pendant le stockage (**Brunt, 2001; Loebenstein *et al.*, 2001**). (**Figure15**)



Figure15 : Symptômes du PVY sur pomme de terre (INRA).

4-2. Mosaïque commune d'haricot (BCMV)

4-2-1. Description

Le BCMV est un virus appartenant à la famille potyviridae, transmis par des punaises (myrides), ou par des pucerons. La transmission s'effectue également par les graines chez plusieurs plantes. Le virus a une gamme d'hôte relativement étroite (**Marchoux *et al.*, 2008**). Cette maladie est la plus importante sur le plan économique pour les cultures de légumineuses

dans le monde entier en raison des pertes qu'il occasionne (**Mayali, 1986; Jordan et Hammond, 2008**).

4-2-2. Symptômes

Deux types de symptômes sont observés : la mosaïque commune et la nécrose de la mosaïque commune, produites par la réaction d'hypersensibilité. Dans le premier cas, les feuilles trifoliées ont une forme irrégulière avec une coloration vert foncé sur les nervures et jaune verdâtre clair entre les nervures, donnant un aspect mosaïque. Parfois, les feuilles infectées sont plus étroites et plus longues que la normale. Si l'infection se produit tôt, les plantes infectées jaunissent, se rabougrissent et la floraison est affectée. Si la plante possède un gène de résistance, les plantes peuvent se nécroser complètement pour "stopper" la progression du virus. Les gousses peuvent être chlorotiques plus courtes et avoir un éclat brillant (**Bernier, 2011**). (**Figure 16**)



Figure 16 : Symptôme de la mosaïque commune du haricot (INRA).

4-3. Virus de la mosaïque du tabac (TMV).

4-3-1. Description

Le TMV est le premier virus à être identifié (**Rifkind et Freeman, 2005**). C'est un virus très polyphage du genre Tobamovirus, caractérisé par un très large spectre d'hôtes présents dans toutes les zones de production où sont cultivées des variétés de tabac sensibles, transmis par le vent ou par les mains des travailleurs, à partir de leurs vêtements et d'outils contaminés (**Blancard et al., 2009**).

4-3-2. Symptômes

Le TMV infecte un large éventail de plantes hôtes, y compris les solanacées (**Trigiano *et al.*, 2004**). Les symptômes causés par le TMV varient selon la souche. Une mosaïque légèrement marbrée de vert à jaune peut être vue sur les folioles et les feuilles. Dans des conditions hivernales, des déformations des feuilles se produisent et la largeur des folioles est fortement réduite (**Blancard *et al.*, 2009**). (**Figure 17**)







Figure 17 : Symptômes de virus de la mosaïque du tabac (INRA).

5. Les ravageurs

Les ravageurs constituent une menace croissante pour les producteurs, petits et grands, et peuvent causer des pertes catastrophiques (**Ploetz, 2004**). Au cours des dernières décennies, de nombreux ravageurs émergents sont apparus dans différentes parties du monde (**Petter *et Suffert*, 2021**), parmi ces ravageurs, des insectes tels que les aleurodes, les thrips et les pucerons qui causent des dommages mécaniques lorsqu'ils sont présents en grand nombre, et sont également porteurs de virus qui peuvent se propager et causer plus de dégâts (**Naika *et al.*, 2005**). Aussi il existe plusieurs espèces de nématodes qui causent des dégâts importants sur différentes culture et différents pays (**Blancard *et al.*, 2009**). (**Tableau 3**)

Tableau 3 : Exemple des ravageurs avec leurs symptômes (Miranda *et al.*, 2013 ; Naika *et al.*, 2013).

Ravageurs	Symptômes	Photos des symptômes
Pucerons	<p>L'infestation de pucerons provoque le plissement et l'enroulement des feuilles et la déformation des bourgeons apicaux.</p> <p>Le développement des plantes a été altéré, il est à noter la présence de brûlures sur les feuilles inférieures, formant des taches incandescentes composées de miellat excrété par les insectes.</p>	
Nématodes	<p>Provoque plusieurs nodosités sur les racines.</p>	
<p>Chenille</p> <p><i>Helicoverpa armigera</i></p>	<p>Provoque des dommages sur les boutons floraux, fleurs, et capsule.</p> <p>Sur cette dernière cause un trou circulaire entouré d'excréments à l'extérieur.</p>	
<p>Chenille</p> <p><i>Syagruscalc aratus</i></p>	<p>Provoque des dégâts au niveau des racines, et cause le dépérissement et le flétrissement des plantes.</p>	

Chapitre II
Stratégies de lutte contre
les maladies des plantes

Chapitre II : Stratégies de lutte contre les maladies des plantes

En raison des maladies des plantes, près de 10 à 20 % de la production alimentaire mondiale totale diminue chaque année, entraînant la perte de milliards de dollars (**Bhattacharjee et Dey, 2014**). Diverses stratégies de contrôle sont utilisées par les producteurs dans le but ultime est de protéger les plantes et de réduire la propagation des épidémies. Parmi ces méthodes on compte la lutte génétique, les méthodes culturales, la lutte chimique et la protection biologique. Chaque méthode sera abordée à tours de rôle dans ce chapitre.

1. La lutte génétique

La lutte génétique utilisée comme une alternative aux fongicides pour empêcher le développement des maladies, reposent sur la création de variétés résistantes spécifiques et à caractère monogénique. En effet, divers gènes de résistance ont été introduits dans des variétés de tomates pour conférer une résistance aux virus, champignons et bactéries, dans le but de réduire les maladies provoquées par ces pathogènes (**Trottin-Caudal et al., 2011**).

A titre d'exemple, onze gènes (R1-R11) ont été proposés chez *Solanum demissum* et introduits dans la pomme de terre pour la détection de facteurs de virulence du mildiou (**Jo et al., 2015**). D'autres consistent à intégrer un gène originaire d'un bactériophage dans le génome de la pomme de terre codant pour la production de lysozyme qui dégrade la membrane de certaines bactéries (**Latour et al., 2008**). Le gène *lr34* a montré récemment une résistance stable à la multiplication de l'agent pathogène chez le blé contre la rouille et l'oïdium (**Blanc, 2012**). Par ailleurs, il est à noter que pour certaines plantes et pour certains pathogènes aucune variété résistante n'est trouvée. C'est le cas par exemple pour *S. sclerotiorum* et *B. cinerea* responsables respectivement de la pourriture blanche et la pourriture grise et pour qui aucune variété de tomate résistante n'est observé à leurs égards (**Dik et Wubben, 2007**).

La résistance génétique présente donc l'avantage de ne pas nuire à l'environnement et semble très efficace contre certaines maladies et certains ravageurs (**Ploetz, 2004**).

2. Les pratiques culturales

Les pratiques culturales peuvent être un moyen efficace de supprimer les maladies des plantes dans les serres (**Abro, 2013**). Elle consiste à choisir des mesures agricoles susceptibles de réduire l'incidence ou la gravité de la maladie et à réduire la sensibilité des agro-écosystèmes aux attaques des ravageurs (**Chouinard et Gagnon, 2001 ; Alabouvette et al., 2006**), on citera à titre d'exemple :

- **La solarisation**

La solarisation ou le chauffage solaire est une méthode qui utilise l'énergie du soleil pour augmenter la température du sol et ainsi atteindre des niveaux auxquels de nombreux agents pathogènes des plantes seront tués ou suffisamment affaiblis, afin d'obtenir un contrôle significatif des maladies. Elle a un large spectre d'activités (contrôle les champignons, les nématodes, les bactéries, les mauvaises herbes) avec un effet à long terme (**Alabouvette et al., 2006**).

- **L'irrigation**

L'irrigation peut avoir des effets sur le développement de plusieurs maladies, plusieurs études ont montré que l'irrigation par goutte à goutte réduit considérablement le développement de la pourriture grise et la verticilliose. L'irrigation par goutte à goutte présente également l'avantage d'être plus économique et donc plus attractive pour les agricultures par rapport aux autres systèmes comme l'aspersion (**Aissat et al., 2008**).

- **La rotation des cultures**

La rotation des cultures est une pratique efficace pour prévenir certaines maladies racinaires. Cette méthode est particulièrement efficace contre les maladies du sol, elle aide à réduire la quantité des champignons telluriques notamment le *Fusarium* et le *Verticilium* (**Si mohammed, 2016**).

- **Le chauffage et ventilation**

Le contrôle des conditions de climat dans les serres par le chauffage et la ventilation (aération) vont permettre de limiter la présence d'eau libre sur les tissus des végétaux (réduire l'humidité) et de renouveler l'air à l'intérieur des serres ce qui va réduire l'intensité de certaines maladies comme la pourriture grise. Ainsi l'utilisation de film plastique photo-sélectif s'avère efficace pour réduire l'humidité et limiter le refroidissement durant la nuit (**Aissat et al., 2008**).

- **L'hygiène des cultures**

Cette méthode consiste à enlever et à détruire les débris végétaux pendant et après la récolte des cultures. Ces mauvaises herbes qui pourraient être un foyer pour les germes pathogènes ne doivent pas restées au sol, surtout s'ils sont mouillés (**Ajilogba et Babalola, 2013**).

- **Nutrition**

La nutrition est aussi un facteur déterminant qui peut considérablement influencer le développement des plantes mais aussi les maladies qui affectent les plantes. Ainsi, d'une manière générale une quantité trop importante ou insuffisante en éléments nutritifs comme l'azote, le phosphore, le potassium ...etc, peuvent provoquer des dérèglements chez la plante et la rendre plus sensible à certaines maladies (**Elmer et Michailides, 2007**). C'est le cas par exemple de la tomate dont la sensibilité à *Oidium neolycopersici* accrue avec l'augmentation de la fertilisation azotée (**Hoffland et al., 2000**).

La lutte culturale est généralement spécifique, peu coûteuse, et fiable, elle maintient l'équilibre naturel de l'écosystème, et ne crée pas de résistance ou de résidus dans l'environnement. Cependant l'utilisation de ces pratiques n'est pas toujours suffisante pour maintenir les pathogènes en dessous des seuils économiques, elle nécessite une planification à long terme et une très bonne connaissance des nuisibles (**Chouinard et Gagnon, 2001**).

3. La lutte chimique

La lutte chimique notamment basée sur l'application de fongicides (**Waard et al., 1993**), est conçue pour repousser, détruire ou contrôler les ravageurs et les espèces indésirables pour les plantes (**Kawasaki et al., 2015**). Ces produits peuvent avoir un effet fongistatique ou fongicides (**Smilanick, 2004**).

La classification des fongicides se base sur plusieurs critères de classification, entre autre le mode d'action qui peut être multi-sites (fongicides largement utilisés) ou uni-site (agissant spécifiquement sur un processus en particulier) (**Rocher, 2004**).

3-1. Composés agissant directement sur les parasites

3-1-1. Matières actives multi-sites

Les composés minéraux à base de cuivre tels que la bouillie bordelaise, l'hydroxyde de cuivre, l'oxyde de cuivre ou de soufre ainsi que les produits de dithiocarbamate (mancozèbe, le manèbe, le thérame, zinèbe) et de chlorométhyl mercaptans, sont utilisées pour la pulvérisation des parties aériennes des plantes ou pour l'enrobage des semences. Le soufre est un composé chimique principalement utilisé contre l'oïdium et le mildiou. La bouillie bordelaise était largement utilisée pour traiter le feu bactérien causé par *Erwinia amylovora* (**Leroux, 2003**).

3-1-2. Produit affectant le métabolisme des acides nucléiques, des protéines ou de leurs précurseurs

- **Les fluoroquinolones**

Les fluoroquinolones sont des antibactériens synthétiques, seule la fluméquine qui en fait une fluoroquinoléine peut être utilisée contre des phyto bactéries (*Erwinia amylovora*, *Pseudomonas syringae pv.persicae*, et *pv.syringae*). Ces fluoroquinolones inhibent la réplication de l'ADN et provoquent des ruptures de brins d'ADN entraînant la mort cellulaire. L'inhibition de la réplication de l'ADN résulte de la liaison de ces fluoroquinolones à l'ADN gyrase (**Lepoivre, 2003**).

- **Les anilinopyrimidines**

Les anilinopyrimidines comprennent les cyprodinil, mepanipyrim et les pyriméthanol qui sont efficaces contre les champignons appartenant à la classe des ascomycètes et les deutromycètes comme *Botrytis cinerea*. Ces Produits sont surtout utilisés en pulvérisation foliaire. Les anilinopyrimidines inhibent fortement l'élongation des tubes germinatifs (**Elad et al., 2007**) et empêchent la sécrétion d'enzymes hydrolytiques qui jouent un rôle dans l'infection, comme les cutinases, les lipases, les cellulases et les protéases (**Williamson et al., 2007**).

- **Les inhibiteurs de la synthèse protéique**

Tous les inhibiteurs de la synthèse des protéines sont des antibiotiques. Parmi eux, la streptomycine, un aminoglycoside produit par *Streptomyces griseus*. Utilisé pour lutter contre le feu bactérien causé par *Erwinia amylovora*. La streptomycine se lie à la protéine de la sous-unité 30S et empêche l'élongation, d'autres effets ont été décrits, notamment la terminaison (**Lepoivre, 2003**).

3-1-3. Inhibiteurs spécifiques de la chaîne respiratoire

- **Inhibition du complexe II (succinate déshydrogénase)**

Les carboxamides et les carboxines sont des fongicides systémiques inhibant le complexe succinate déshydrogénase de la mitochondrie, Ceux-ci déclenchent des phénomènes de résistances chez certains champignons. Ils ont été introduits au milieu des années 1960, le flutolanil ou mépronil sont particulièrement efficaces sur *Rhizoctonia solani* (**Rocher, 2004; Leroux, 2007**).

- **Inhibition du complexe III**

Les strobilurines synthétisées par divers champignons, ou l'azoxystrobine molécule redistribuée et utilisé sur les plants de chicorée pour lutter contre le mildiou. La picoxystrobine est apparue plus récemment, il est aussi redistribué sous forme de vapeurs autour d'elle (Lepoivre, 2003).

3-1-4. Produits affectant le métabolisme lipidique

- **Inhibiteurs de la biosynthèse des stérols**

Ces fongicides n'empêchent pas la germination des spores, mais inhibent l'élongation de mycélium. Cependant, peu d'entre eux peuvent être efficaces contre *B. cinerea*. Les fenhexamides et fenpyrazamines inhibent la biosynthèse des stérols en empêchant les tubes germinatifs et le mycélium de croître (Leroux, 2007 ; Romanazzi et Felliziani, 2014).

3-1-5. Produits affectant le métabolisme glucidique

- **Les dérivés aromatiques, dicarboximides, phénylpyrroles**

Les fongicides hydrocarbures aromatiques constituent un ancien groupe hétérogène de fongicides parmi lesquels le plus actifs contre *Botrytis spp* est le diclorane. D'autres composés comme les dicarboximides, quintozone et le O-phénylphénol peuvent contrôler adéquatement certains pathogènes dans le sol et durant le stockage des fruits (Foughalia, 2015). Ainsi, le phénylpyrrole est apparu au début des années 1990 (Gullino *et al.*, 2000). Il s'agit des analogues synthétiques de l'antibiotique Pyrrolnitrine produit par *Pseudomonas spp* (Lee *et al.*, 2003), dont le fenpiclonil et le fludioxonil, ce dernier est introduit dans les années 1990 comme fongicide foliaire (Jousse, 2006).

3-1-6. Produit antimicrotubules

- **Benzimidazoles et thiophanates**

Ce groupe de fongicides spécifiques, introduit vers 1970, comprend les thiophanate-méthyl ainsi que les carbendazime et les benomyl. Ils inhibent l'assemblage de la β -tubuline pendant la mitose et ont d'abord été utilisés pour lutter contre la pourriture grise, fusariose, et la tavelure du pommier (Hirooka *et Ishii*, 2013).

3-1-7. Molécules fongitoxiques dont les modes d'action ne sont pas connues

Plusieurs fongicides dont le mode d'action n'est pas encore élucidé dont le cymoxanil, et le propamocarbe altère la composition en acide gras des *Phytophthora spp.* Ils sont pénétrants ou systémique et utilisable contre divers mildious. Mentionnons aussi le triazoxide et l'ampropylfos qui sont utilisés dans le traitement des semences (**Lepoivre, 2003**).

3-2. Composés à action indirecte sur les parasites

La protection phytosanitaire peut être assurée indirectement par l'inactivation d'enzymes ou de toxines émises par les ravageurs. En utilisant, par exemple, le probénazole, qui est un fongicide appliqué par traitement foliaire et racinaire sur le riz dans le but de lutter contre la pyriculariose et le *Xanthomonas oryzae* (**Leroux, 2003**), et le phosphonate dont le foséthyl-al avec son métabolite (l'acides phosphonique) appliquée contre des oomycètes. Ainsi, l'acide DL-3-amino-n-butyrique est actif contre le mildiou sur de nombreuses culture et les fusarioses. Il induit l'accumulation de protéine PR dans les feuilles de tabac et par conséquent induit les mécanismes de défense de la plante (**Leroux et Gardan, 2003**).

La lutte chimique est la méthode la plus utilisée contre les maladies des plantes, Mais son utilisation répétée et intensive a créé de nombreuses contraintes. En effet, l'utilisation massive de ces produits de synthèse engendre de plus en plus l'apparition des phénomènes de résistance au sein des population des agents pathogènes (**Waard et al., 1993**). De plus, ces produits chimiques entraînent également une perte de biodiversité, et d'autres déséquilibres écologiques. Les fongicides ne se décomposent pas facilement, ils peuvent donc s'accumuler et contaminer les milieux naturels (sol, eaux) causant un problème de santé humaine qui ne peut être ignorés (**Kumar, 2013**), ainsi que d'autres problèmes de toxicité pour l'environnement (**Mouria et al., 2013**).

4. Lutte biologique

D'après l'IOLB (Organisation International de Lutte Biologique), la lutte biologique comprend l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les pertes ou les dégâts causés par les ravageurs et les agents pathogènes des plantes (**Magnin-Robert, 2007**). Elle consiste donc à réduire la densité ou l'activité d'un agent pathogène en mettant en œuvre un ou plusieurs organismes autres que l'homme.

Selon **Cook et Baker (1984)**, ces organismes peuvent être des axillaires (antagoniste ou ennemi naturel), des microorganismes (bactéries, virus, champignons), des nématodes entomophages, des parasitoïdes et des prédateurs (**Dib, 2010**).

Son principe est basée sur l'exploitation par l'homme et à son profit d'une relation naturelle entre deux êtres vivants dont : la cible est un organisme indésirable, pathogène ou ravageur d'une plante ; et l'agent de protection (ou auxiliaire dans le cas des ravageurs) est un organisme différent, peut être un parasite, un prédateur ou un agent pathogène du premier (**Ajouz, 2009**).

La lutte biologique peut prendre différentes formes, à savoir :

- La lutte biologique classique, ou lutte par introduction-acclimatation, basée sur l'introduction d'une nouvelle espèce dans un environnement afin de contrôler les populations d'un ennemi des cultures.

-La lutte biologique augmentative, dont le principe est d'augmenter la taille des populations d'ennemis naturels, soit par des lâchers massifs ou par lâchers en petite quantité, l'auxiliaire devant s'établir, se multiplier et coloniser une zone donnée (**Aubertot et al., 2005**).

4-1. Modes d'action

La lutte biologique repose sur un ou plusieurs mécanismes d'action dont : la compétition, l'antibiose, le parasitisme, la diminution de pouvoir pathogène, et l'induction de résistance chez la plante hôte. (**Figure 18**)

4-1-1. La compétition

Le manque de nutriments entraîne automatiquement la mort des agents pathogènes. Cela fait de la compétition des éléments nutritifs un important moyen de control biologique (**Loqman, 2009**). Le fer est un élément essentiel à la croissance de la plupart des champignons phytopathogènes (**Ahmed et Holmström, 2014**). Plusieurs souches de *Pseudomonas* via la sécrétion de sidérphores contribuent à la suppression de la fusariose vasculaire provoquée par *Fusarium oxysporum* (**Lepoivre, 2003 ; Magnin-Robert, 2007**). Dans le sol une compétition nutritive pour le carbone peut être observée entre les souches pathogènes et non pathogènes de *Fusarium oxysporum*. C'est un des modes d'action principaux de l'agent de lutte biologique *F. oxysporum* (**Alabouvette et al., 2009**).

4-1-2. L'antibiose

D'après **Cook et Baker, (1984)** l'antibiose est définie comme l'inhibition des agents pathogènes des plantes par la production de métabolites secondaires par un autre microorganisme. Ces métabolites ont différentes propriétés, telles que les enzymes lytiques, les peptides ou les protéines antimicrobiennes, des polypeptides, les composés phénoliques, les biosurfactants, etc (**Bojanowski, 2011**).

La production de ces métabolites secondaires est influencée par des facteurs abiotiques qui correspondent à la composition en matière organique du sol, à l'humidité du sol, au pH et aux facteurs biotiques, qui sont principalement liés aux interactions antagonistes avec les plantes et la microflore du sol (**Loqman, 2009**). *Brevibacillus brevis* secrète la gramicidine qui inhibe la germination et la croissance de mycélium de *B. cinerea* (**Edwards et Seddon, 2001**). Les *Pseudomonas fluorescens* jouent un rôle important dans la production de plusieurs antibiotiques qui peuvent inhiber plusieurs agents pathogènes des plants. Le 2,4-diacetylphloroglucinol produit par *Pseudomonas fluorescens* CHA0 possède un effet suppressif sur nombreuses phytopathogènes tel que la pourriture noire des racines du tabac et le piétinement du blé causé par *Gaeumannomyces graminis var. tritici* et *Thielaviopsis basicola* (**Keel, 1992**).

4-1-3. Le parasitisme

Le mécanisme du parasitisme implique la production de plusieurs enzymes pour la destruction des parois des phytopathogènes tels que les protéases, laminarinases, glucanases, chitinases (**Bouaoud et al., 2018**). Ces deux dernies enzymes sont capables de dégrader les parois des champignons (*Botrytis cinerea*), des levures (*Saccharomyces cerevisiae*) et des bactéries (*Pseudomonas syringae*), et peuvent empêcher la germination des conidies et l'allongement des tubes germinatifs de nombreuses espèces fongiques (*Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *B. cinerea*, *Pythium ultimum*) (**Lepoivre, 2003**). De nombreux agents de lutte biologique utilisent ce mode d'action, par exemple *Bacillus subtilis* réduit *Pythium ultimum* et *Rhizoctonia solani* en sécrétant des glucanases et des protéases (**Paulitz et Bélanger, 2001**).

4-1-4. Diminution de pouvoir pathogène

Les agents de lutte biologique peuvent également agir sur les facteurs de pathogénicité de l'agent pathogène. Par exemple en présence de la souche T39 de *Trichoderma*, l'intensité des symptômes de *Botrytis cinerea* sur les feuilles d'haricot a été réduite. Ce retard dans le

développement du parasite peut s'expliquer par une diminution de la production d'enzymes pathogènes qui dégradent la pectine. L'effet de cet antagoniste sur la pathogénicité du parasite a été largement étudié chez *Cryphonectria parasitica*, une espèce fongique responsable des ulcères du châtaignier (Lepoivre, 2003 ; Kapat *et al.*, 1998).

4-1-5. L'induction de la résistance chez la plante

les agents de control biologique ont la capacité de déclencher une réponse de défense chez la plante hôte (Bouaoud *et al.*, 2018), comme cela qui a été observé chez *Trichoderma harzianum* ou *Pythium oligandrum* (champignons antagonistes), mais également chez *P. aeruginosa* souche 7NSK2 qui colonise la rhizosphère du haricot et confère à la plante une résistance induite *vis-à-vis* de *B. cinerea*. Aussi la formation des barrières structurales ainsi que l'accumulation des composés phénoliques fongitoxiques chez la tomate prétraitée avec *P. oligandrum*, peut être utilisée dans la limitation du développement de *fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* (Lepoivre, 2003 ; Audenaert *et al.*, 2002).

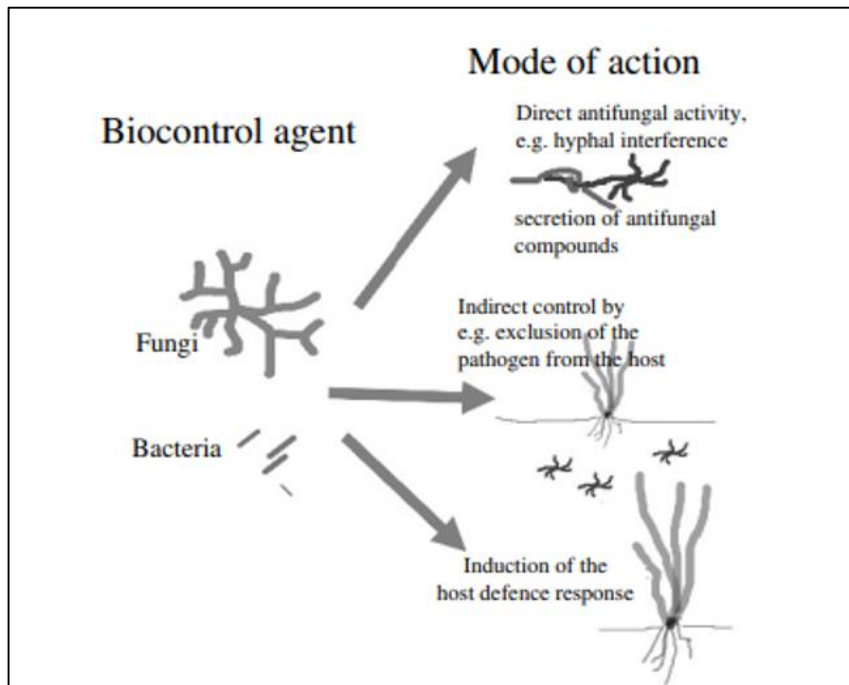


Figure 18 : Mode d'actions des agents de lutte biologiques (Doohan, 2005).

4-1-6. Combinaisons des différents modes d'actions

La lutte biologique peut être le résultat de la combinaison de plusieurs modes d'action par exemple les levures antagonistes utilise la compétition pour les nutriments et de l'espace, la résistance induite et le parasitisme direct (**Elad et Stewart, 2007**).

Trichoderma est un agent de lutte biologique efficace en raison de sa polyvalence, de la diversité de ses mécanismes d'action et de son adaptabilité à différents types de sol. Cet antagoniste est le plus étudié et produit des enzymes lytiques qui permettent de détruire les parois cellulaires de plusieurs pathogènes (**Lepoivre, 2003 ; Ponchet, 1982**). Par exemple *T. pseudokoningii* et *T. viride* par parasitisme direct et production d'antibiotiques permettent de contrôler la pourriture des fruits. Aussi *T. harzianum* T39 est capable d'exercer son effet antagoniste par combinaison entre la stimulation de la résistance de l'hôte, la compétition nutritive et l'interférence avec la production des enzymes pectolytiques de l'agent pathogène (**Elad et Stewart, 2007**).

Tableau 4 :Exemples d'agents de biocontrôle disponibles dans le commerce pour le contrôle des maladies fongiques (Doohan, 2005).

Agent de biocontrôle	Nom commerciale du produit	Maladies contrôlées
<u>Bactéries</u>		
<i>Bacillus</i> spp.	Companion	Maladies transmises par le sol des cultures de serre et de pépinière.
<i>Bacillus subtilis</i> QWT713	Serenade	Diverses maladies, notamment le mildiou et l'oïdium des légumes, raisins, et autres cultures.
<i>Burkholderia cepacia</i>	Intercept, Deny	Maladies de la fonte des semis et de la pourriture causée par des organismes du sol. <i>Rhizoctonia</i> , <i>Pythium</i> et <i>Fusarium</i> spp.
<i>Candida oleophila</i> I-182	Aspire	Maladies des agrumes et des fruits à pépins causées par <i>Botrytis</i> et <i>Penicillium</i> spp.
<i>Pseudomonas aureofaciens</i>	BioJect Spot-Less	Anthracnose, fonte des semis et moisissure rose du gazon et autres hôtes.
<i>Pseudomonas Chlororaphis</i>	Cedomon	Maladies transmises par les semences et maladies foliaires des céréales causées par divers pathogènes.

<u>Champignons</u>		
Isolat d' <i>Ampelomyces quisqualis</i> M-10	AQ10 Biofungicide	Oïdium des pommes, cucurbitacées, raisins, plantes ornementales, fraises et tomates.
<i>Fusarium oxysporum</i> (non pathogène)	Biofox C, Fusaclean	Flétrissure fusarienne du basilic, de l'œillet, du cyclamen et de la tomate.
<i>Gliocladium virens</i> GL-21	Soilgard	Maladies de la fonte des semis et de la pourriture des racines des plantes ornementales et des plantes sous serre et de pépinière, causées notamment par <i>Rhizoctonia solani</i> et <i>Pythium spp.</i>
<i>Trichoderma</i> spp.	Divers, par exemple Binab, Supresivit PlantShield, T-22 Planter box	Champignons du sol provoquant la pourriture, la fonte des semis et le flétrissement de divers hôtes, notamment les fruits, les plantes ornementales, le gazon et les légumes.

L'application de la lutte biologique pour combattre les maladies des plantes présente plusieurs avantages, elle est considérée comme étant une méthode efficace pour contrôler les agents pathogènes ; elle contribue à limiter l'utilisation des produits chimiques et donc les contraintes générées par ces derniers en matière d'effets nuisibles sur l'environnement et la santé des consommateurs ; et elle fait baisser les risques d'apparition de résistance comparés aux produits chimiques (Lefort, 2010; Lambert, 2010; Caron et Laverdière, 2006).

Cependant, l'efficacité de la lutte biologique est souvent moins drastique que celle des pesticides. De plus, elle est souvent variable et son efficacité est très liée aux conditions climatiques. Ainsi elle exige d'excellentes connaissances de l'écologie des pathogènes cibles et des agents de contrôle biologiques et des différentes interactions avec leurs environnements (Chouinard *et* Gagnon, 2001; Lefort, 2010). (Figure 19)

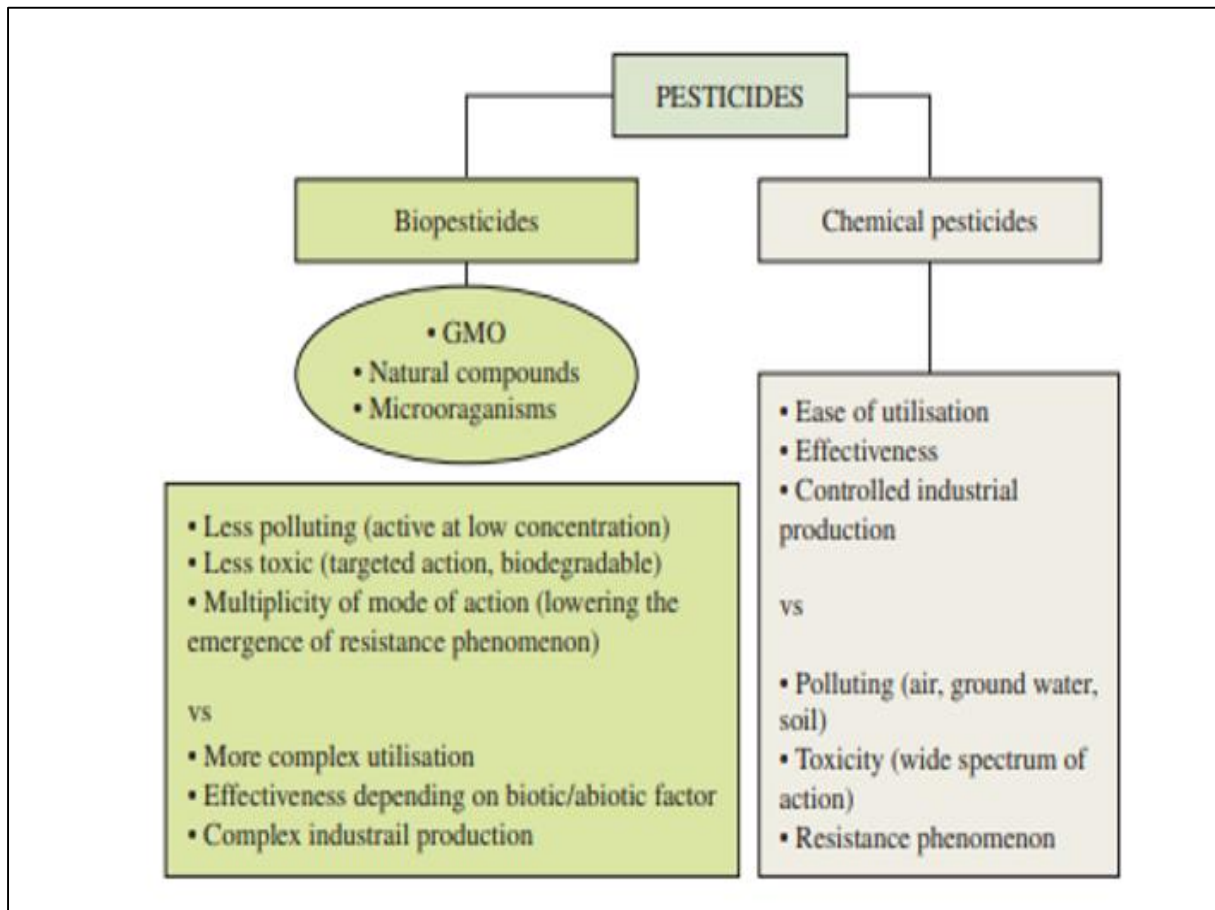


Figure 19 : Les avantages et inconvénients de la lutte biologique et chimique (Sharma, 2014).

5. La lutte intégrée

La lutte intégrée consiste en l'utilisation combinée et raisonnée de toutes les méthodes de lutte contre les agents phytopathogènes pour une longue durée (Corbaz, 1990). C'est une méthode qui est capable d'exercer une action régulatrice sur les différents ravageurs d'une culture, afin de maintenir leur population à un niveau suffisamment bas, pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables (Hamini, 2010).

Une définition quasi officielle a été donnée par l'organisation internationale de la lutte biologique en 1977 : « Procédé de lutte contre les organismes nuisibles qui utilise un ensemble des méthodes satisfaisant les exigences à la fois économiques, écologique et toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en œuvre des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance » (**Corbaz, 1990**).

Cette stratégie permet une meilleure protection des cultures tout en minimisant toutes les contraintes liées aux différents modes de lutte utilisés individuellement et a priori une plus grande durabilité (**Lepoivre, 2001**).

Chapitre III

Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte

Chapitre III : Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte

1. Introduction

De nombreuses méthodes de lutte ont été étudiées et mises en œuvre pour lutter contre les différents bioagresseurs des plantes, notamment la lutte chimique à l'aide des pesticides, les pratiques culturales, l'utilisation de variétés résistantes et la lutte biologique. Dans cette partie du mémoire, nous nous focaliserons sur la durabilité de l'efficacité des agents de lutte biologique utilisés pour lutter contre les maladies des plantes.

On peut s'interroger sur la durabilité de la protection biologique, et plus particulièrement sur le risque de perte d'efficacité des mesures de lutte biologique. Il est à noter qu'à ce jour, il existe très peu d'études sur l'érosion de l'efficacité de cette méthode de protection des cultures (**Comby, 2011**). Une étude bibliographique menée dans le cadre du projet européen ENDURE (European Network for Durable Exploitation of crop protection strategies) fait référence à 157 espèces de micro-organismes signalées comme permettant un contrôle significatif des pathogènes. Elles appartiennent à 36 genres de champignons et d'oomycètes, 13 levures et 25 bactéries. Parmi ces micro-organismes, 29 espèces de champignons / oomycètes et 18 espèces de bactéries se sont révélées efficaces sur le terrain pour contrôler au moins une des cinq principales maladies aériennes couvertes par l'étude (Botrytis, oïdium, rouilles, mildious, etc.) (**Nicot et al., 2011b**). Des études récentes montrent que la sensibilité des phytopathogènes aux agents de lutte biologiques peut être très variable (**Bardin et al., 2015**). Toutes ces études démontrent clairement que, quel que soit leur mode d'action, l'efficacité protectrice de ces agents microbiens peut varier selon la souche de phytopathogène. Cette diversité observée peut contribuer à une réduction d'efficacité des bioprotecteurs au champ, en raison de la présence de phénotypes moins sensibles dans les populations naturelles de phytopathogènes, et en raison des pressions de sélection appliquées pouvant résulter de ces phénotypes plus sensibles (**Bardin et al., 2021**).

2. Les différentes méthodes de contrôle et leurs durabilités

Une méthode de lutte phytosanitaire est dite durable lorsqu'elle reste efficace sur une variété cultivée à grande échelle, pendant une longue période et dans des conditions favorables au développement de la maladie (**Johnson, 1984**). La durabilité de la résistance aux bioagresseurs dépend de la pression de sélection exercée par la méthode de lutte sur les populations de parasites. Elle dépend également de la capacité des populations de parasites à s'adapter aux méthodes de lutte lorsqu'elles sont mises en œuvre dans les cultures (**Johnson, 1979**).

Dans cette optique, l'homme a utilisé diverses stratégies pour lutter contre les maladies causées par divers agents, et leurs vecteurs qui affectent les cultures (**Rex Consortium, 2013**). Ces moyens doivent démontrer leurs efficacités, et un impact négatif minimum sur la plante et l'environnement. La lutte repose donc sur différentes méthodes, parmi lesquelles :

2-1. Durabilité de la lutte génétique

La résistance génétique aux phytopathogènes est un bon moyen de réduire la gravité de la maladie. Elle consiste à créer des variétés résistantes qui sont responsables de la synthèse des protéines capables d'éliminer de nombreuses maladies virales, bactériennes et fongiques (**Trottin-Caudal et al., 2011**). Cela représente une alternative à l'utilisation des pesticides. Mais elle peut poser un problème similaire à l'utilisation des pesticides : l'expérience montre que les pathogènes capables de contourner la résistance introduite dans ces variétés entraînent une perte d'efficacité (**Montarry, 2007**). L'érosion de l'efficacité de cette stratégie est donc une question qui a été étudiée. **McDonald et Linde, (2002)** ont suggéré que les populations de pathogènes à haut potentiel évolutif sont mieux à même de contourner la résistance des variétés. Ils soulignent que les agents pathogènes les plus à risque de contourner les gènes de résistance sont ceux qui ont des systèmes reproducteurs mixtes (sexués et asexués), un flux génétique élevé, des populations de grande taille et des taux de mutations élevés. Il existe quelques exemples de résistance totale à long terme, comme la résistance monogénique du chou à *Fusarium oxysporum*, stable depuis plus de 90 ans (**Vera Cruz et al., 2000**). Des exemples de contournement rapide de ces résistances ont souvent été signalés et sont beaucoup plus nombreux : le gène Yr17 responsable de la résistance à la rouille striée du blé a été contourné en deux ou trois saisons (**Bayles et al., 2000**). Le gène Vf quant à lui responsable de la résistance à la tavelure du pommier a également été contourné en quelques saisons (**Guérin et Le Cam, 2004**), et plusieurs gènes de résistance à la brûlure du riz n'ont été efficaces que pendant moins de trois ans (**Kiyosawa, 1982; Zeigler et al., 1994**).

2-2. Durabilité des pratiques culturelles

Une autre méthode de lutte dans le domaine de la protection des végétaux constitue un ensemble des pratique culturales (la prophylaxie) afin de rendre le système de culture moins propice à l'implantation et à la prolifération d'organismes nuisibles et leurs développements dommageable sur un territoire donné (**Bernard et Bugaret, 2002; Gabryś et Kordan, 2013**). Plusieurs études ont rapporté l'efficacité des mesures prophylactiques dans le contrôle des phytopathogènes, par exemple la solarisation est une méthode efficace pour contrôler les agents

pathogènes comme *Verticillium* (Bubici et Cirulli, 2008). La rotation aide à réduire les agents pathogènes, elle est particulièrement efficace pour combattre les champignons telluriques tels que *Fusarium* et *Verticilium* (Ajilogba et Babalola, 2013). La ventilation nocturne est un moyen efficace de réduire l'humidité relative élevée à l'intérieur d'une serre et peut être un outil utile pour minimiser l'utilisation de produits chimiques dans les serres non chauffées (Baptista et al., 2011). L'application de ces pratiques est insuffisante pour maintenir les ravageurs en dessous des seuils économiques, elle nécessite donc une planification à long terme et une très bonne connaissance des ravageurs cibles (Chouinard et Gagnon, 2001).

2-3. Durabilité de la lutte chimique

Des applications chimiques par l'utilisation de fongicides en agriculture qui limitent le développement d'organismes pouvant affecter les cultures sont également utilisés (Leroux, 2003). Le traitement chimique représente une solution de facilité, qui correspond aussi au besoin absolu de l'homme désirant des solutions rapides et efficaces (Corbaz, 1990; Aubertot et al., 2005). Ceci étant, en plus de poser des problèmes sanitaires et environnementaux, l'utilisation de produits phytosanitaires pour tuer les parasites et les pathogènes, n'est pas toujours efficace à cause de la variabilité génétique de ces derniers qui entraîne l'apparition fréquente et récurrente de phénomènes de résistances des agents pathogènes aux fongicides, ce qui diminue leur efficacité (Cowen, 2001; Gisi et Sierotzki, 2008; Colcol et Baudoin, 2016; Hollomon, 2016).

Elad et al.,(1992) ont par exemple montré que sur 12 sites étudiés, la résistance aux benzimidazoles et aux dicarboximides était observée chez *B. cinerea* pour les 11 sites, et aussi une résistance à la fois au carbendazime et au diéthofencarb pour 8 sites sur 12. Ce champignon est même capable d'échapper aux botryticides récemment approuvés (Ziogas et al., 2003). Les inhibiteurs de la synthèse de la méthionine appartenant aux anilinopyrimidines et agissant sur la cystathionine β -lyase, sont efficaces contre certains pathogènes. Cependant, des souches résistantes de *B. cinerea vis-à-vis* de ces molécules existent. De plus, de nombreuses résistances ont été enregistrés contre un autre produit chimique qui lecyprodinile appliqué contre de nombreux champignons pathogènes (Fritz et al., 2003). La carbendazine et le thiabendazole sont des benzimidazoles, produits chimiques à large spectre. Cependant, leur utilisation doit être rarement répétée car de nombreuses souches leur sont devenues résistantes (Rocher, 2004).

Il était donc devenu nécessaire de trouver de nouvelles solutions pour lutter efficacement contre les différents types de maladies des plantes, en minimisant les conséquences négatives pour la santé humaine et l'environnement et en inhibant durablement la progression des micro-organismes pathogènes. Un certain nombre de solutions, dont la lutte biologique, sont donc proposées dans le domaine agronomique.

2-4. Durabilité de la lutte biologique

On entend par lutte biologique toute forme d'utilisation de ressources naturelles pouvant jouer un rôle crucial dans le contrôle des phytopathogènes (**Emmert et Handelsman, 1999; Tariq et al., 2020**). Elle est considérée comme une voie alternative et efficace dans le contrôle des maladies végétales (**Singh et al., 2003**). En effet le recours aux agents de lutte biologique semble peu nocif pour l'environnement et leurs modes d'action complexes devraient réduire les risques d'apparition de résistances (**Duffy et al., 2003**).

Le contrôle biologique des maladies des plantes est le résultat de nombreux types d'interactions entre micro-organismes et peut se produire par différents mécanismes, qui sont généralement classés comme suit : la compétition (pour les nutriments, l'oxygène ou l'espace), l'antibiose, le parasitisme, l'induction du système de défense de la plante et réduction du pouvoir pathogène. Ces mécanismes sont très importants pour lutter contre les agents phytopathogènes (**Pal et Gardener, 2006; Bardin et Pugliese, 2020**). Les agents de lutte biologique tels que les champignons et les bactéries isolées de la phyllosphère, de l'endosphère ou de la rhizosphère se sont révélées d'être d'importants antagonistes de nombreux agents pathogènes. En particulier, *Trichoderma spp.* qui s'est avéré efficace contre une variété de champignons consécutif, comprenant à titre d'exemple *Rhizoctonia solani* et *Sclerotium rolfsii* (**Thambugala et al., 2020; Riazul et al., 2021**). La lutte biologique des pathogènes transmis par le sol fait l'objet de recherches depuis plus de 80 ans et les micro-organismes rhizosphériques sont idéaux pour être utilisés comme agents de lutte biologique (**Suprapta, 2012**). D'ailleurs, **Singh et al., (2003)** ont montré que *Pseudomonas fluorescens* pouvait réduire 78% la maladie de la pourriture du collet causée par le pathogène *Sclerotium*.

Il existe peu d'études ayant mis en évidence l'échec à long terme des agents de lutte biologique. Pourtant, les résultats obtenus par **Li et Leifert (1994)** ont indiqué que *B. cinerea* peut développer une résistance à *B. subtilis* CL27 après un traitement répété des plantes astilbes. Ce bioprotecteur produit de multiples composés, dont un puissant antibiotique contre *Botrytis cinerea* (**Leifert et al., 1995**). Après huit traitements consécutifs, l'efficacité de l'agent de lutte

biologique a chuté de façon spectaculaire. Après le dixième traitement, la souche CL27 était totalement inefficace contre *B. cinerea*. Des tests *in vitro* complémentaires ont montré que le filtrat de culture de la souche CL27 n'était plus capable d'inhiber la croissance des mycéliums de *B. cinerea* (Li et Leifert, 1994).

Par ailleurs, les ravageurs développeront toujours une résistance aux insecticides (Alyokhin *et al.*, 2008; Oyarzún *et al.*, 2008). En effet, les « biopesticides » comme par exemple *Bacillus thuringiensis* qui est efficace contre certaines espèces de coléoptères, lépidoptères et diptères, a connu de nombreux cas de résistance qui sont apparue suite à l'application de cette bactérie en raison de l'acidité intestinale (Kouassi, 2001).

Le premier cas de résistance à *B. thuringiensis* a été constaté par (McGaughey, 1985) chez l'insecte *Plodiainter punctella*, l'un des principaux ravageurs des lépidoptères des céréales, développait une résistance aux biopesticides après plusieurs générations de traitement. Pour les populations élevées avec le régime traité par *B. thuringiensis*, les niveaux de résistance ont été multipliés par près de 30 fois en seulement deux générations. Après 15 générations, la résistance est 100 fois supérieure aux insectes témoins. Cette résistance a également été observée par Tabashnik (1994) qui a démontré que nombreux insectes tels que *Plodia interpunctella*, *Heliothis uirescens*, *Cadra cautella*, *Spodopter aexigua*, *Spodoptera littoralis*, *Trichoplusia ni*, *Leptinotarsa decemlineata* et *Chrysomela scriptu* peuvent développer une résistance à la bactérie *B. thuringiensis*, avec des pertes d'efficacité remarquables au champ.

Pendant deux décennies, l'utilisation intensive de *B.thuringiensis* sur le terrain contre les lépidoptères a démontré une adaptation à cette bactérie (McGaughey *et Whalon*, 1992; Tabashnik, 1994).

A notre connaissance, la plupart des cas avérés de résistance de ravageurs aux bioprotecteurs microbiens concernent des insectes ravageurs. Or le contrôle biologique des pathogènes végétaux (bactéries, champignons, oomycètes, nématodes, virus) a fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années, et a conduit à la mise sur le marché de nombreux bioprotecteurs microbiens. La pérennité de leur efficacité est encore peu étudiée et aucun cas de résistance n'a encore été décrit sur le terrain. Cette absence de résistance documentée des phytopathogène aux bioprotecteurs microbiens pourrait s'expliquer par le fait que leur utilisation est encore limitée en agriculture par rapport aux outils de protection conventionnels (Bardin *et al.*, 2015).

3. Modes d'action des agents de lutte biologiques et leurs potentielles durabilités

L'optimisation de l'efficacité des bioprotecteurs nécessite une compréhension précise de leur mode d'action, d'ailleurs plusieurs études se sont intéressées à cet aspect. Parmi les principaux modes d'action des organismes protégeant les plantes des agents pathogènes, on peut citer l'antibiose, l'hyperparasitisme, la compétition pour la nourriture ou l'espace, l'induction de mécanismes de défense des plantes et la réduction du pouvoir pathogène. À noter que dans plusieurs cas la combinaison entre deux ou plusieurs de ces modes d'action peut également être observée (**Bardin, 2012; Spadaro et Droby, 2016; Bardin et Pugliese, 2020**).

3-1. Durabilité e l'antibiose

Parmi les mécanismes d'action des agents de lutte biologique qui suscitent un important intérêt, il y a l'antibiose. Dans ce mode d'action l'antagoniste produit des métabolites secondaires toxiques, et de faible concentration *vis-à-vis* l'agent pathogène. Ces métabolites ont la capacité d'inhiber la germination, la croissance mycélienne et/ou la sporulation des phytopathogènes (**Bardin et Pugliese, 2020**). *Pseudomonas* et *Bacillus* sont les principaux genres bactériens étudiés pour leur capacité à produire des antibiotiques. Une gamme de composés comme, pyolutéorine, pyrrolnitrine et l'Oomycine...etc. De nombreuses souches de *Pseudomonas* sont connues pour produire une variété d'antibiotiques qui aident à supprimer les maladies agricoles, telles que *Pseudomonas fluorescens* produisant de la pyolutéorine et du 2,4-diacétyl triglycérol pour inhiber la pathogenèse causée par *Thielaviopsis basicola* responsable de la pourriture noire du tabac. Le 2,4-diacétyl fluoroglucitol aide également à inhiber la pourriture du blé provoqué par *Gaeumannomyces graminis*. Ou encore, il a été démontré que la pyolutéorine et la pyrrolnitrine inhibent efficacement la maladie du cresson causée par *Pythium ultimum* et *Rhizoctonia solani* (**Morales-Cedeño et al., 2021; Haas et Keel, 2003; Thomashow, 1996**). La production de ces antibiotiques dépend de plusieurs facteurs environnementaux comme le pH, la température, le potentiel hydrique et le type des nutriments (**Whipps, 1987**). L'antibiose est un mécanisme très proche à des molécules utilisées en lutte chimique. Ainsi, il peut être très efficace pour inhiber la croissance des bioagresseurs, mais il peut aussi poser des problèmes de sécurité pour les molécules produites (pour l'environnement, les utilisateurs et les consommateurs) ainsi que l'apparition des souches de résistantes aux agents bioprotecteurs (**Li et Leifert, 1994; Ajouz et al., 2010**). Comme par exemple la résistance de l'agent pathogène

Agrobacterium tumefaciens à l'antibiotique produit par son antagoniste *A. radiobacter* K84, qui n'est donc plus contrôlé efficacement par cet agent de lutte biologique (Stockwell *et al.*, 1996).

3-2. Durabilité de l'hyperparasitisme

Dans le cas de l'hyperparasitisme, l'antagoniste est un parasite qui traverse les cellules après avoir reconnu sa cible, ce qui provoque sa destruction (Whipps *et Gerlagh* 1992). Ce mécanisme qui est souvent utilisé par des champignons, et rarement observé chez les bactéries (Köhl *et al.*, 2019), exige une production importante d'enzymes tel que les protéases, glucanases, lamainarinase et chitinases qui dégradent les parois cellulaires des champignons (Woo *et Lorito*, 2007). L'effet contre les bactéries pathogènes tel que *Rhizoctonia solani* a été largement étudié. Elle implique une reconnaissance spécifique entre les antagonistes et leurs pathogènes cibles. *Coniothyrium minutans* et *Sporidesmium sclerotivorum* sont des parasites fongiques efficaces pour contrôler les maladies causées par *Sclerotinia spp* (Alabouvette *et al.*, 2009). Ce mécanisme de biocontrol nécessite un contact direct avec l'agent pathogène (Fravel, 2005). Le contact direct entre les bioprotecteurs microbiens par hyperparasitisme et les phytopathogènes et la nécessité d'un temps de traitement adéquat sont nécessaires pour assurer un traitement efficace. Les agents pathogènes des plantes ont développé la capacité de résister ou d'inhiber la synthèse des enzymes dégradant les parois cellulaires nécessaires à la culture (Bardin *et al.*, 2015).

3-3. Durabilité de la compétition

La compétition des nutriments est un phénomène courant qui régule la dynamique des populations microbiennes ayant la même niche écologique et les mêmes besoins physiologiques avec des ressources limitées. La compétition pour le carbone, est courante et serait responsable de l'inhibition de la germination des spores fongiques dans le sol (Alabouvette *et al.*, 2009). La compétition pour la nourriture (tel que les glucides, azote, oxygène) et l'espace est le principal mécanisme d'action des micro-organismes antagonistes des levures contre les agents pathogènes fongiques post-récolte. Lorsque les antagonistes sont présents en quantités suffisantes au bon moment, et au bon endroit, la compétition peut être un mode de contrôle biologique efficace et permettre une utilisation plus efficace des ressources limitées que les agents pathogènes. (Spadaro *et Droby*, 2016). En utilisant ce mode d'action certains microorganismes sont capables de limiter la germination des spores chez *B. cinerea* (Zimand *et al.*, 1996). Ce mécanisme présente une concurrence des nutriments comme les glucides, l'azote, et le fer, ce dernier considéré comme un facteur limitant pour la croissance microbienne

(Köhl *et al.*, 2019). Bien que ce mode d'action soit moins sujet à une éventuelle érosion de son efficacité, des études ont tout de même rapportés des cas où l'agent pathogène arrive à surplanter l'agent antagoniste. En effet, d'après Mazzola *et Cook* (1991) l'infection des racines par *Pythium irregulis*, un agent pathogène responsable de la pourriture des racines du blé, réduit considérablement la quantité de *Pseudomonas fluorescens* introduite dans le sol pour le contrôler. Certaines souches pathogènes peuvent avoir développé la capacité d'utiliser rapidement les ressources nutritives disponibles dans leurs niches. Cette capacité pourrait ralentir le développement de bioprotecteurs microbiens grâce à une utilisation plus efficace des ressources, et finalement affecter l'efficacité du biocontrôle.

3-4. Durabilité de l'induction des mécanismes de résistances

La résistance induite est un mécanisme utilisé par certains agents de biocontrôle (Sequeira, 1983), et cause divers changement dans la plante dont la stimulation des voies métaboliques secondaires qui permet la production des substances antimicrobiennes, l'épaississement des structures pariétales, et l'accumulation de protéines de défense (Bardin *et Pugliese*, 2020). Certains bactéries bénéfiques peuvent déclencher la résistance induite, comme la souche *Pseudomonas spp* qui produit le 2,4-diacétyl-phloroglucinol (Alabouvette *et al.*, 2009). Aussi, les cellules de levure peuvent induire des processus de résistance dans le péricarpe par l'intermédiaire d'éliciteurs sécrétés. Cette résistance peut être induite localement dans le tissu attaqué ou transmise par des signaux de la plante ou même de plantes voisines. Les phytopathogènes sont capable de développer des résistances aux agents de lutte biologique, ce qui risque de diminuer leur durabilité (Köhl *et al.*, 2019). Govrin *et Levine*, (2000) ont montré qu'une réaction d'hypersensibilité provoquée par la présence de micro-organismes tels que *P. syringae*, qui peuvent être utilisés comme agents de lutte biologique, faciliterait la colonisation des plantes par des pathogènes nécrotrophes tels que *B. cinerea* ou *S. sclerotiorum*. Ces champignons peuvent donc exploiter le mécanisme de défense spécifique de la plante et le contourner pour son propre pouvoir pathogène.

3-5. Durabilité de la combinaison

Plusieurs bioprotecteurs peuvent utilisés deux ou plusieurs mécanismes d'action (combinaison des modes d'action) (Elad *et Stewart*, 2007 ; Jacobsen 2006). A titre d'exemple la souche QST713 de *Bacillus subtilis* utilise l'antibiose et la résistance induite pour contrôler différents phytopathogènes comme *Plasmodiophora brassicae*, *Rhizoctonia solani*, *B. cinerea*, *Pythium ultimum*, et également utilisé pour lutter contre l'oïdium (Bardin *et Pugliese*, 2020). Le champignon *Trichoderma* un agent bioprotecteur très réputé, et également connu pour son

utilisation de plusieurs modes d'action, dont l'hyperparasitisme, la production de métabolites secondaires, la compétition et l'induction de la résistance de la plante (**Benitez et al., 2004**).

La combinaison des mécanismes biologiques complémentaires pour obtenir des effets additifs et/ou synergiques peut avoir une plus grande stabilité et efficacité contre les phytopathogènes cibles que l'application agents de lutte biologique avec un seul mode d'action (**Irtwange, 2006**). Favoriser des agents de lutte biologique utilisant différents modes d'actions pourrait donc être considérée comme étant une approche intéressante pour une utilisation plus durable de la lutte biologique.

La durabilité de la lutte biologique peut donc dépendre du mode d'action impliqué dans le contrôle des agents pathogènes. Même si tous les bioprotecteurs microbiens exercent une pression sélective sur les populations phytopathogènes lorsqu'ils sont appliqués comme traitements pour les cultures. Cependant, certains modes d'action à l'instar de l'antibiose semblent être plus propices au développement de la résistance que d'autres. Ce point critique doit être abordé par des recherches futures afin de sélectionner le mode d'action ayant l'efficacité la plus durable (**Bardin et al., 2021**).

4. Diversité de sensibilité des souches pathogènes à l'égard des agents de lutte biologique

D'après **McDonald et Linde (2002)**, le fait d'avoir un grand nombre d'individus différents dans la population serait un facteur clé d'érosion de l'efficacité des méthodes de lutte.

Gurusiddaiah et al., (1986) ont étudié la sensibilité à l'acide phénazine-1-carboxylique (PCA) produit par des bactéries du genre *Pseudomonas* chez de nombreux champignons et oomycètes, en particulier chez plusieurs espèces de *Pythium*. En effet, certains champignons comme *Pythium. ultimum* var. *sporangiferum* sont relativement moins sensibles à cet antibiotique. Des résultats comparables obtenus par **De Souza et al., (2003)** ont montré des différences dans la sensibilité de treize espèces de *Pythium* au 2,4-diacétylphloroglucinol (2,4-DAPG), *P. volutum* étant très sensible et *P. deliense* relativement résistant.

Milner et al., (1996) ont rapporté des modifications *in vitro* de la sensibilité de trois espèces de *Pythium* au kanosamine (un antibiotique produit par *Bacillus cereus*).

Mazzola et al., (1995) ont montré que 71 souches de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* différaient par leur sensibilité aux antibiotiques PCA et 2,4-DAPG produits par *Pseudomonas*,

un antagoniste connu pour être efficace comme agents de lutte biologique. **Schouten et al., (2004)** ont montré que 17 % des souches de *F. oxysporum* étaient naturellement tolérantes au 2,4-DAPG produit par *Pseudomonas fluorescens*. Ces résultats suggèrent que les souches peuvent développer une résistance aux antagonistes qui produisent cet antibiotique, d'autant plus que la résistance au 2,4-DAPG est largement répandue dans différentes populations de *F. oxysporum*.

Ajouz et al., (2011) ont démontré l'existence de souches significativement moins sensibles à la pyrrolithrine, un antibiotique produit par la bactérie *Pseudomonas chlororaphis*, parmi 204 isolats de *B. cinerea*. La production des générations suivantes de ce pathogène en présence d'un antibiotique se traduit par une forte résistance (FR > 1000) à l'antibiotique et de ce fait certaines souches au sein de la population du pathogène ont une sensibilité moindre à *P. chlororaphis* (**Ajouz et al., 2010**). Une autre étude par **Buck et Jeffers, (2004)** ont montré que 29 isolats de *B. cinerea* ont une différence de sensibilité à *Rhodotorula glutinis PM4*, une levure qui agit en compétition pour les nutriments et productrice de l'acide rhodotorulique (**Sansone et al., 2005**).

Pseudomonas helmanticensis CT22, a été sélectionné pour lutter contre *Botrytis cinerea* dans les serres de tomates. La sensibilité de différentes souches pathogènes à deux doses de bioprotecteur (10^7 UFC/ml et 10^6 UFC/ml) a été testée. Les souches de *B. cinerea* testées aux deux doses du produit ont significativement affecté l'efficacité de la bactérie (une large sensibilité a été observée chez 62 souches d'agents pathogènes testé, avec des niveaux de protection allant de 24 % à 100 %). Cela révèle l'importance de considérer plusieurs souches pathogènes lors du criblage de nouveaux bioprotecteurs microbiens afin d'obtenir une bonne représentation de la population pathogène et ainsi d'envisager l'efficacité protectrice future du produit au sol et sa durabilité potentielle (**Bouaoud et al., 2018**). (**Figure 20**)

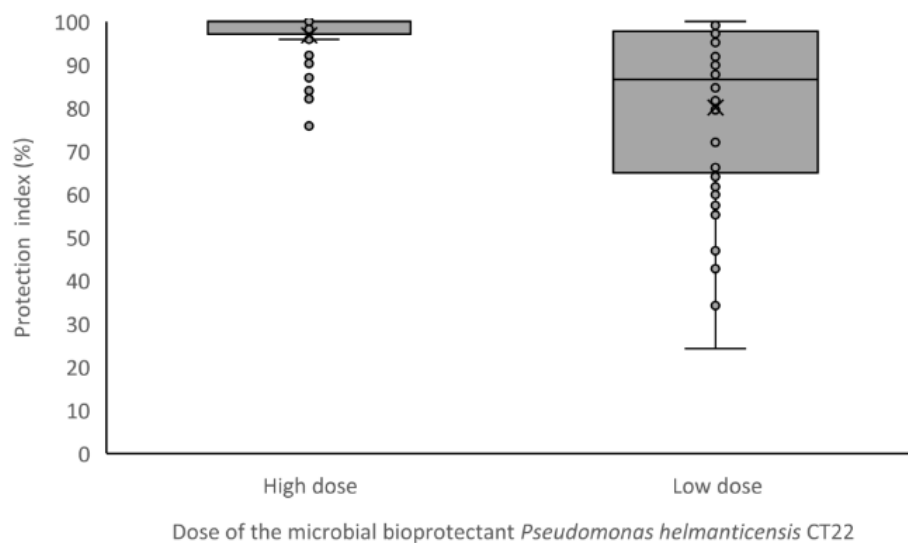


Figure 20 : Box plot représentant la diversité de la protection déclenchée par le bioprotecteur microbien *Pseudomonas helmanticensis* à haute dose (10^7 CFU/ml) et à faible dose (10^6 CFU/ml) contre 62 souches de *Botrytis cinerea* sur des plants de tomates.

5. Risques d'émergence de résistance *vis-à-vis* des agents de lutte biologique

Pour évaluer la durabilité de l'efficacité des agents de biocontrol en phytopathologie, on doit s'interroger sur l'effet d'une éventuelle généralisation de l'utilisation de ces agents de lutte biologique pour la protection des cultures. Pour cela, il est important d'étudier cet effet par l'exposition répétée et successives des générations des phytopathogènes, aux bioprotecteurs microbiennes ou à leurs composés (Bardin *et al.*, 2015).

D'après Bouaoud *et al.*, (2018) l'efficacité protectrice de *Pseudomonas helmanticensis* est capable de varier en fonction de la souche de *B. cinerea* ce qui signifie l'existence au sein de la population du pathogène des souches de *B. cinerea* moins sensibles à cet agent de lutte biologique. Cette diversité de sensibilité peut contribuer à réduire l'efficacité des agents de lutte biologique sur le terrain en raison de la présence des souches moins sensibles dans les populations naturelles de phytopathogènes (Bardin *et al.*, 2018). (Figure 21)

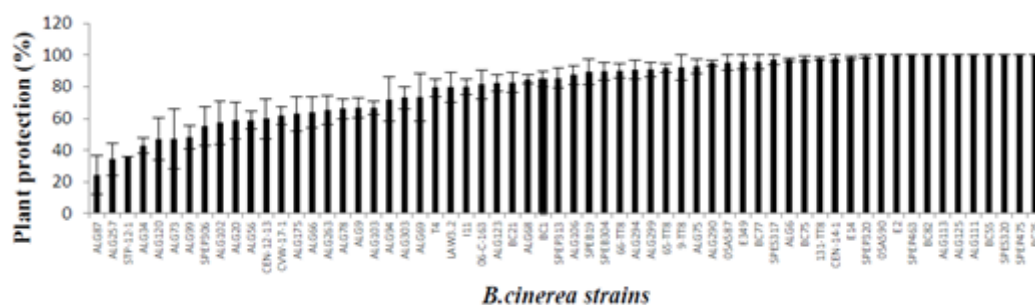


Figure 21 : Diversité de sensibilité des souches de *P. helmanticensis* CT22 à l'égard de 62 souches de *B. cinerea* testée sur tiges de tomate. (Bouaoud *et al.*, 2018).

Selon Li *et* Leifert, (1994) *B. subtilis* CL27 est devenue inefficace contre *B. cinerea*, après dix traitements successifs. D'autres études ont également révélé une large gamme de sensibilité des phytopathogènes aux nombreux agents de lutte biologique (Bardin *et al.*, 2015). Par exemple *B. cinerea* présente une large sensibilité à la pyrrolnitrine, comme il peut provoquer progressivement une résistance à des fortes doses de ce dernier, puis il devient moins sensible aux agents de biocontrols *in vitro* (Ajouz *et al.*, 2011).

Mazzola *et al.*, (1995) suggèrent que l'utilisation massive des agents de biocontrols producteurs d'antibiotiques pourrait sélectionner une population d'agents pathogènes résistante à cette méthode de lutte, et de ce fait compromettre l'efficacité de cette méthode à long terme.

6. Recommandations pour une utilisation durable des agents de lutte biologique

Pour augmenter l'applicabilité de la lutte biologique, de nombreuses recommandations peuvent être faites : il faut soutenir et financer la recherche de nouveaux auxiliaires contre les ravageurs des cultures et rendre la production des auxiliaires plus facile et plus rentable. Il serait également important de poursuivre l'analyse rigoureuse des risques associés à l'utilisation de ces auxiliaires (Lambert, 2010).

Les caractéristiques biologiques de l'agent pathogène sont d'une importance majeure dans la durabilité d'une résistance, telles que la diversité génétique et la capacité à évoluer en réponse à la pression de sélection. Par ailleurs, la pression de sélection exercée par l'utilisation sur le

terrain de bioprotecteurs microbiens dépend des surfaces traitées, des taux d'application ou des cadences de traitement.

La persistance de l'efficacité du biocontrôle peut également être liée à des caractéristiques intrinsèques du bioprotecteur microbien telles que son mode d'action ; par conséquent, des efforts de recherche considérables sont encore nécessaires pour obtenir une compréhension précise du fonctionnement des bioprotecteurs. Ces connaissances permettront d'optimiser leur utilisation et d'en prévoir l'inefficacité, par exemple en recommandant l'utilisation de bioprotecteurs combinant plusieurs modes d'action ou de préparations complexes ou en alternant les modes actions et en évitant ceux qui peuvent facilement conduire à la sélection d'isolats résistants dans les populations naturelles de phytopathogènes (**Bardin et al., 2021**). Ces différents modes d'action ne sont pas contradictoires, au contraire, ils peuvent être complémentaires et une même espèce voire une même souche d'un agent de lutte biologique peut avoir plusieurs de ces modes d'action. Ainsi, chez les espèces de *Trichoderma*, tous les modes d'action précédemment cités seraient impliqués (**Jacobsen, 2006**). La souche de *Bacillus subtilis* QST713, commercialisée sous le nom Serenade®, est présumée agir par antibiose, parasitisme, compétition et induction du système de défense dans la plante hôte pour lutter contre de nombreux pathogènes tels que *B. cinerea*, *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* et les pathogènes responsables de l'oïdium (**Paulitz et Bélanger, 2001**). Le mécanisme d'action de la levure *Candida saitoana* impliquée dans la protection post-récolte associe à la fois compétition pour les nutriments et l'espace, hyperparasitisme et induction de résistance (**El-Ghaouth et al., 2001**). Dans certains cas, cependant, les agents de lutte biologique ont un mode d'action prédominant. *Pseudomonas cepacia* et *Pseudomonas fluorescens* agissent principalement par le biais d'antibiotiques, mais peuvent parfois agir par compétition et parasitisme (**Guetskyl et al., 2002**). *Pichiaguiler mondii* et *Candida famata* agissent principalement par compétition nutritionnelle et spatiale, mais aussi en induisant des mécanismes de défense en stimulant la synthèse de phytoalexine par la plante hôte (**Guetskyl et al., 2002**). L'extrait de feuilles de *F. sachalinensis*, dont le principal mode d'action est d'induire la défense de la plante, a également un effet direct sur l'oïdium causé par *Blumeria graminis*, en inhibant la germination de ses spores.

De nombreuses recherches ont été menées ces dernières années pour identifier de nouveaux agents de lutte biologique et le nombre de produits à base de micro-organismes homologués ne cesse d'augmenter. On craint que la généralisation de la lutte biologique, notamment en cas

d'utilisation inconsidérée d'agents de lutte biologique ayant le même mode d'action, ne compromette leur efficacité en favorisant l'émergence de souches pathogènes résistantes, comme dans le cas d'une utilisation inconsidérée de fongicides.

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour améliorer la capacité des agents de lutte biologiques. L'utilisation de plusieurs agents de lutte biologique en combinaison s'avère intéressant. En effet, la combinaison de deux souches : *Streptomyces vinaceus drappus* SS14 avec *S. rochei* IT20 a significativement inhibé la germination mycélienne de l'agent pathogène. Cette nouvelle combinaison a réduit considérablement la gravité de la brûlure causée par *Phytophthora capsici*, l'agent causal de la brûlure du poivron (Abbasi *et al.*, 2020).

Une autre stratégie possible qui inclut plusieurs approches de lutte «protection intégrée » permettra d'obtenir une meilleure efficacité tout en limitant les impacts négatifs, et à maintenir les dégâts causés par les maladies et les parasites des cultures sous un seuil économique acceptable (Brader, 1976; Perron, 1999; Firlej *et Vanoosthuysse*, 2001). Ce concept combine les différentes méthodes de lutte en donnant la priorité aux stratégies de protection autre que chimique dont le recours aux pratiques culturales et l'usage des produits biologiques (Trottin-Caudal *et al.*, 2011). Cette combinaison des différentes stratégies peuvent être plus stables et efficaces que l'utilisation d'agents de lutte biologique seuls (Irtwange, 2006).

Conclusion

Conclusion

Au cours de ce mémoire bibliographique nous nous sommes intéressés à l'étude de la durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte utilisés dans la protection des cultures et plus particulièrement la durabilité des agents de lutte biologique.

Dans la première partie du travail nous avons abordé les principales maladies causées par les différents bioagresseurs d'origine fongiques, bactériennes et virales. Ces maladies peuvent avoir de sérieuses conséquences à la fois économiques et sociales. La seconde partie du mémoire a permis de souligner l'importance de recourir aux différentes méthodes de lutte pour combattre les agents phytopathogènes ; à savoir les méthodes chimiques, génétiques, culturales et biologiques. Ces phytopathogènes doivent être contrôlées pour maintenir le niveau de rendement à la fois quantitatif et qualitatif et maintenir leur impact à un niveau acceptable.

Dans la dernière partie de ce mémoire bibliographique, on a abordé un aspect très important en matière de protection des cultures qui est celui de la durabilité de l'efficacité des méthodes de protection, et on s'intéressant spécifiquement à la durabilité des agents phytoprotecteurs, on a pu constater que l'efficacité de la lutte biologique pouvait être compromise à cause notamment de l'existence de souches moins sensibles aux agents de lutte biologiques au sein de la population des pathogènes, mais aussi à cause des modes d'actions utilisés par les agents phytoprotecteurs, dont certains favoriseraient plus l'érosion de l'efficacité de la lutte biologique. La durabilité de l'efficacité de la lutte biologique dépendrait donc de plusieurs facteurs liés à la fois aux caractéristiques des agents pathogènes et celles des agents antagonistes.

Néanmoins, des recommandations existent afin d'optimiser l'efficacité des agents de lutte biologique tout en minimisant les risques potentiels de son écroulement. Ces recommandations passent par la sélection d'agents de lutte biologiques ayant des modes d'action moins propices à l'émergence de résistances et donc plus durables, et en favorisant des antagonistes utilisant des modes d'actions combinés, mais aussi en améliorant les stratégies et les approches de criblage d'agents de lutte biologique, en évaluant par exemple l'effet de ces derniers sur une gamme plus large de souches pathogènes. La durabilité de l'efficacité de la lutte biologique passe aussi en alternant les divers produits de protection utilisés et en intégrant les différentes stratégies de lutte. En effet, en optant pour le concept de

Conclusion

protection intégrée des cultures, cela pourrait minimiser les contraintes liées à chaque méthode de lutte utilisée séparément et permettre une meilleure stabilité et une durabilité plus importante.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

- Abbasi, S., Safaie, N., Sadeghi, A. and Shamsbakhsh, M. (2020) 'Tissue-specific synergistic bio-priming of pepper by two *Streptomyces* species against *Phytophthora capsici*', *PublicLibrary of Science ONE*, 15(3), p. e0230531. doi.org/10.1371/journal.pone.0230531.
- Abro, A.M. (2013) 'Nitrogen fertilization of the host plant influences susceptibility, production and pathogenicity of *Botrytis cinerea* secondary inoculum, as well as the efficacy of biological control'. Thesis of doctor. University of Avignon (France), p. 182.
- Ahmed, E. and Holmström, J.M. (2014) 'Siderophores in environmental research: roles and applications', *Microbial Biotechnology*, 7(3), pp. 196–208. doi:10.1111/1751-7915.12117.
- Adhikari, P., Oh, Y. and Panthee, D. (2017) 'Current status of early blight resistance in tomato: An update', *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), pp .2-22. doi.org/10.3390/ijms18102019.
- Adjebli, A., Leyronas, C., Aissat, K. and Nicot, P.C. (2015) 'Comparison of *Botrytis cinerea* populations collected from tomato greenhouses in northern algeria', *Journal of Phytopathology*, 163(2), pp. 124–132. doi:10.1111/jph.12289.
- Agrios, G.N. (2005) 'Plant diseases caused by prokaryotes: bacteria and mollicutes', in *Plant Pathology*. ElsevierAcademic Press, Oxford,Uk, pp. 615–703. doi:10.1016/B978-0-08-047378-9.50018-X.
- Aissat, K. (2008) 'Etat sanitaire de la culture de la tomate sous serre et étude épidémiologique de *Botrytis cinerea* (Agent de la pourriture grise) '. Thèse de doctorat en biologie. Université Ferhat Abbas–Setif (Algérie), p. 94.
- Aissat, K., Nicot, P.C., Guechi, A., Bardin, M. and Chibane, M. (2008) 'Grey mould development in greenhouse tomatoes under drip and furrow irrigation', *Agronomy for Sustainable Development*, 28(3), pp. 403–409. doi: 10.1051/agro:2008016.
- Ajillogba, C.F. and Babalola, O.O. (2013) 'Integrated management strategies for tomato Fusarium wilt', *Biocontrol Science*, 18(3), pp. 117–127. doi:10.4265/bio.18.117.
- Ajouz, S. (2009) 'Estimation du potentiel de résistance de *Botrytis cinerea* à des biofongicides'. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse (France), p. 198.
- Ajouz, S., Nicot, P.C. and Bardin, M. (2010) 'Adaptation to pyrrolnitrin in *Botrytis cinerea* and cost of resistance', *Plant Pathology*, 59(3), pp. 556–566. doi:10.1111/j.1365-3059.2009.02230.x.
- Ajouz, S.S., Walker, A.S.A.S., Fabre, F.F., Leroux, P.P., Nicot, P.C. and Bardin, M. (2011) 'Variability of *Botrytis cinerea* sensitivity to pyrrolnitrin, an antibiotic produced by biological control agents.' *BioControl*, 56, pp. 353–363. doi:10.1007/s10526-010-9333-7.
- Akkopru, A. and Demir, S. (2005) 'Biological Control of Fusarium Wilt in Tomato Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by AMF *Glomus intraradices* and some

Références bibliographiques

Rhizobacteria', *Journal of Phytopathology*, 153(9), pp. 544–550. doi:10.1111/j.1439-0434.2005.01018.x.

Alabouvette, C., Olivain, C. and Steinberg, C. (2006) 'Biological control of plant diseases: The european situation', *European Journal of Plant Pathology*, 114(3), pp. 329–341. doi:10.1007/s10658-005-0233-0.

Alabouvette, C., Olivain, C., Migheli, Q. and Steinberg, C. (2009) 'Microbiological control of soil-borne phytopathogenic fungi with special emphasis on wilt-inducing *Fusarium oxysporum*'. *New Phytologist*, 184(3), pp. 529–544. doi:10.1111/j.1469-8137.2009.03014.x.

Alyokhin, A., Baker, M., Mota-Sanchez, D., Dively, G. and Grafius, E. (2008) 'Colorado Potato Beetle Resistance to Insecticides', *American Journal of Potato Research*, 85(6), pp. 395–413. doi:10.1007/s12230-008-9052-0.

Amselem, J., Cuomo, C.A., Van Kan, J.A.L., *et al.*, (2011) 'Genomic analysis of the necrotrophic fungal pathogens *Sclerotinia sclerotiorum* and *Botrytis cinerea*'. *Plos Genetics*, 7(8): 1-27. doi.org/10.1371/journal.pgen.1002230.

Atherton, J.G. and Rudich, J. (eds) (1986) 'The tomato crop: A scientific basis for improvement'. *Springer*. Dordrecht (Netherlands), p. 661. doi:10.1007/978-94-009-3137-4.

Attab, S. and Brinis, L. (2012) 'Etude comparative de la réponse physiologique de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'infection par *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* agent causal de l'oïdium', *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 25, pp. 82–87.

Aubertot, J.-N., Clerjeau, M., David, C., Debaeke, P., Jeuffroy, M.-H., Lucas, P., Monfort, F., Nicot, P. and Sauphanor, B. (2005) 'Stratégies de protection des cultures', p. 104.

Audenaert, K., Pattery, T., Cornelis, P., Hofte, M. (2002) 'Induction of systemic resistance to *Botrytis cinerea* in tomato by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2 : Role of salicylic acid, pyochelin, and pyocyanin'. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 15, pp. 1147-1156.

B

Babadoost, M. (2011) 'Leaf mold (*fulvia fulva*), a serious threat to high tunnel tomato production in illinois', *Acta Horticulturae*, (914), pp. 93–96. doi:10.17660/ActaHortic.2011.914.14.

Bao, J.R., Fravel, D.R., O'Neill, N.R., Lazarovits, G. and Berkum, P. van (2002) 'Genetic analysis of pathogenic and nonpathogenic *Fusarium oxysporum* from tomato plants', *Canadian Journal of Botany*, 80(3), pp. 271–279. doi:10.1139/b02-004.

Baptista, F.J., Bailey, B.J. and Meneses, J.F. (2011) 'Development of a warning system for controlling *botrytis cinerea* in unheated tomato greenhouses', *Acta Horticulturae*, (893), pp. 1263–1269. doi:10.17660/ActaHortic.2011.893.148.

Bardin, M. (2012) 'Durabilité de l'efficacité de méthodes de lutte contre les champignons phytopathogènes', p. 76.

Bardin, M., Ajouz, S., Comby, M., Lopez-Ferber, M., Graillot, B., Siegwart, M. and Nicot, P.C. (2015) 'Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more

Références bibliographiques

durable than that of chemical pesticides’, *Frontiers in Plant Science*, 6. doi:10.3389/fpls.2015.00566.

Bardin, M. and Nicot, P.C. (2018) ‘Is the development of resistance to biological control among plant pathogens possible?’, p. 4.

Bardin, M. and Pugliese, M. (2020) ‘Biocontrol Agents Against Diseases’, In: Gullino, M.L., Albajes, R., and Nicot, P.C. (eds) *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*. Springer International Publishing, Cham, pp. 385–407. doi:10.1007/978-3-030-22304-5_13.

Bardin, M. and Gullino, M.L. (2020) ‘Fungal Diseases’, In: Gullino, M.L., Albajes, R. and Nicot, P.C. (eds) *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*. Cham: Springer International Publishing (Plant Pathology in the 21st Century), pp. 55–100. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_3.

Bardin, M., Pressecq, T., Nicot, P.C. and Bouaoud, Y. (2021) ‘Durability of efficacy of microbial bioprotectants against plant diseases’: In: Köhl, J. and Ravensberg, W.J. (eds) *Microbial bioprotectants for plant disease management*. Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 103–122. doi:10.19103/AS.2021.0093.05.

Bayles, R., Flath, K., Hovmøller, M. and De Vallavieille-Pope, C. (2000) ‘Breakdown of the Yr17 resistance to yellow rust of wheat in northern Europe’, *Agronomie*, 20(7), pp. 805–811. doi:10.1051/agro:2000176.

Belete, t and Bastas, K. (2017) ‘Common bacterial blight (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) of beans with special focus on ethiopian condition’, *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 08(03). doi:10.4172/2157-7471.1000403.

Benada, M. (2019) ‘Caractérisation phénotypique et génotypique d' *Erwinia* sp pathogène et essais de lutte biologique. Thèse de doctorat en science. Université Ahmed Ben ballah, Oran, (Algérie), p. 112.

Benitez, T., Rincon, A.M., Limon, M.C., Codon, A.C. (2004) ‘Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains’. *International Microbiology*, 7: 249-260.

Bernard, J.L., Bugaret, Y. (2002) Prophylaxie et mesures indirectes : clarifier les définitions pour mieux mettre en oeuvre la protection. *Phytoma-La Défense des Végétaux* 549: 14-19.

Bernier, M. (2011) ‘Étude de la variabilité des symptômes pathologiques affectant le haricot commun.’ France. Ecole Supérieure d’Agriculture (Groupe ESA) (ESA), FRA.

Bessadat, N., Berruyer, R., Hamon, B., Bataille-Simoneau, N., Benichou, S., Kihal, M., Henni, D.E. and Simoneau, P. (2016) ‘*Alternaria* species associated with early blight epidemics on tomato and other Solanaceae crops in northwestern Algeria’, *European Journal of Plant Pathology*, 148(1), pp. 181–197. doi.org/10.1007/s10658-016-1081-9.

Bhattacharjee, R. and Dey, U. (2014) ‘An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens/diseases’, *African Journal of Microbiology Research*, 8(17), pp. 1749–1762. doi:10.5897/AJMR2013.6356.

Références bibliographiques

- Blanc, S. (2012) 'Cartographie génétique et analyse de la résistance au mildiou et à l'oïdium de la vigne chez *Muscadinia Rotundifolia*'. Thèse de doctorat en Agronomie. Strasbourg(France), p. 242.
- Blancard, D., Laterrot, H., Marchoux, G., and Candresse, T. (2009) 'Les maladies de la tomate, identifier, connaitre et maitriser'. Quae (Paris), p 691.
- Bojanowski, A. (2011) 'Molécules antifongiques et activité antagoniste de deux souches de *Pseudomonas* envers *Helminthosporium solani*, agent responsable de la tache argentée de la pomme de terre'. Thèse de doctorat. Université Laval, Québec (Canada), p. 59.
- Bouaoud, Y., Troulet, C., Foughalia, A., Berge, O., Aissat, K. and Bardin, M. (2018) 'A multi-criteria approach for the selection of efficient biocontrol agents against *Botrytis cinerea* on tomato in Algeria', *BioControl*, 63(2), pp. 299–311. doi:10.1007/s10526-017-9851-7.
- Bouaoud, Y., Troulet, C., Aissat, K., and Bardin, M. (2018) 'Diversity in the susceptibility of *Botrytis cinerea* strains to the biological control agent *Pseudomonas helmanticensis*', *IOBC WPRS Bulletin*, 133, pp. 100–104.
- Bouzar, H., Daouzli, N., Krimi, Z., Alim, A. and Khemici, E. (1991) 'Crown gall incidence in plant nurseries of Algeria, characteristics of *Agrobacterium tumefaciens* strains, and biological control of strains sensitive and resistant to agrocin 84', *Agronomie*, 11(10), pp. 901–908.
- Bernard, J.L. and Bugaret, Y. (2002) 'Prophylaxis and crop protection. Indirect control methods', *Phytoma. La Défense des Végétaux* (France), 549, pp. 14-19.
- Bernier, M. (2011) 'Étude de la variabilité des symptômes pathologiques affectant le haricot commun.'. *Ecole Supérieure d'Agriculture*, p. 69.
- Brader, L. (1976). 'Modalités pratiques d'application de méthodes de lutte intégrée'. *Information on agriculture*, Bruxelles (Belgique), (24), p. 154.
- Braun, S., Gevens, A., Charkowski, A., Allen, C. and Jansky, S. (2017) 'Potato common scab: a review of the causal pathogens, management practices, varietal resistance screening methods, and host resistance', *American Journal of Potato Research*, 94(4), pp. 283–296. doi:10.1007/s12230-017-9575-3.
- Brunt, A.A. (2001). 'Potyviruses', In: Loebenstein, G., Berger, P.H., Brunt, A.A., and Lawson, R.H. (eds) *Virus and virus-like diseases of potatoes and production of seed-potatoes.*: *Springer Netherlands*, Dordrecht, pp. 77–86. doi:10.1007/978-94-007-0842-6_7.
- Bubici, G. and Cirulli, M. (2008) 'Integrated management of verticillium wilt of tomato.' In: Ciancio, A. and Mukerji, K.G. (eds) *Integrated management of diseases caused by fungi, phytoplasma and bacteria*'. *Springer Netherlands*, Dordrecht (Netherlands), pp. 225–242. doi:10.1007/978-1-4020-8571-0_12.
- Buck, J.W. and Jeffers, S.N. (2004) 'Effect of pathogen aggressiveness and vinclozolin on efficacy of *Rhodotorula glutinis* PM4 against *Botrytis cinerea* on geranium leaf disks and seedlings', *Plant disease*, 88(11), pp. 1262–1268.

Références bibliographiques

C

- Cao, T., Kirkpatrick, B.C., Shackel, K.A. and DeJong, T.M. (2011) 'Influence of mineral nutrients and freezing-thawing on peach susceptibility to bacterial canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*', *Fruits*, 66(6), pp. 441–452. doi:10.1051/fruits/2011057.
- Caron, J. and Laverdière, L. (2006) 'Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement', Université Laval, Québec (Canada), p. 278.
- Chouinard, G. et Gagnon, S. (2001) 'Méthodes alternatives à la lutte chimique en pomiculture principales techniques applicables au Québec'. p. 40
- Choudhary, D.K., Prakash A., Wray, V., and Johri, B.N., (2009) Insights of the fluorescent pseudomonads in plant growth regulation. *Current Science*. 97(2), pp 70-179.
- Colcol, J.F. and Baudoin, A.B. (2016) 'Sensitivity of *Erysiphe necator* and *Plasmopara viticola* in Virginia to QoI Fungicides, Boscalid, Quinoxifen, Thiophanate Methyl, and Mefenoxam', *Plant Disease*, 100(2), pp. 337–344. doi:10.1094/PDIS-01-15-0012-RE.
- Comber, M. (2019) Étude des effecteurs de type RXLR de *Plasmopara viticola* pour la recherche de résistances durables au mildiou de la vigne. phdthesis. Université de Strasbourg (France), p. 202.
- Cook, R.J., and Barker, K.F. (1984) 'The nature and practice of biological control of plant pathogens', *American Phytopathological Society*, Saint Paul (Minnesota), p.539.
- Corbaz, R. (1990) 'Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes'. *Presses Polytechniques Et Universitaire Romandes*, (Suisse), p. 380.
- Comby, M. (2011) 'Relation entre l'agressivité des souches de *B. cinerea* et l'efficacité de la protection biologique conférée par deux agents de lutte biologique'. *Institut National d'Horticulture, Angers, FRA*, p. 44.
- Correll, J.C., Puhalla, J.E. and Schneider, R.W. (1986) 'Vegetative compatibility groups among nonpathogenic root-colonizing strains of *Fusarium oxysporum*', *Canadian journal of botany*, 64(10), pp. 2358–2361.
- Cowen, L.E. (2001) 'Predicting the emergence of resistance to antifungal drugs', *FEMS Microbiology Letters*, 204(1), pp. 1–7. doi:10.1111/j.1574-6968.2001.tb10853.x.
- Curtis, M.D., Gore, J. and Oliver, R.P. (1994) 'The phylogeny of the tomato leaf mould fungus *Cladosporium fulvum* syn. *Fulvia fulva* by analysis of rDNA sequences', *Current Genetics*, 25(4), pp. 318–322. doi:10.1007/BF00351484.

D

- Damicone, J.P. and Lynn, B. (2015) 'Common Diseases of Tomatoes: Part I. Diseases Caused by Fungi'. Oklahoma State University. EPP-7625-6
- Dean, R., Van Kan, J. a. L., Pretorius, Z.A., Hammond-Kosack, K.E., Di Pietro, A., Spanu, P.D., Rudd, J.J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J. and Foster, G.D. (2012) 'The Top 10

Références bibliographiques

- fungal pathogens in molecular plant pathology', *Molecular Plant Pathology*, 13(4), pp. 414–430. doi:10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x.
- Decognet, V., Ravetti, F., Martin, C., Nicot, P.C. (2010) 'Improved leaf pruning reduces development of stem cankers caused by grey mould in greenhouse tomatoes'. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 465472.
- Dees, M.W. and Wanner, L.A. (2012) 'Integrated management of diseases caused by fungi, phytoplasma and bacteria', *Potato Research*, 55(3–4), pp. 249–268. doi:10.1007/s11540-012-9206-9.
- Deguine, J.P. and Ferron, P. (2004) 'Protection des cultures et développement durable', *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 52(52), pp. 57–65.
- De Souza, J.T., Arnould, C., Deulvot, C., Lemanceau, P., Gianinazzi-Pearson, V. and Raaijmakers, J.M. (2003) 'Effect of 2,4-diacetylphloroglucinol on *pythium*: cellular responses and variation in sensitivity among propagules and species', *Phytopathology*, 93(8), pp. 966–975. doi:10.1094/PHYTO.2003.93.8.966.
- Dhaval, P., Shete, P.P., Faraaz, M., Dhaval, D.D., Shete, P.P., Faraaz, M. and Dholu, D. (2021) 'Early blight (*Alternaria solani*) etiology, morphology, epidemiology and management of tomato. *The Pharma Innovation*, 10(5), p. 6.
- Dib, H. (2010) Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera aphididae) en vergers de pommiers. Thèse de Doctorat. Université d'Avignon (France), p.252.
- Dik, A.J, and Wubben, J.P. (2007) Epidemiology of *Botrytis cinerea* diseases in greenhouses. In: Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, Delen N (eds) *Botrytis: biology, pathology and control*. Springer, Dordrecht (Netherlands), pp. 317-331.
- Doohan, F. (2005) 'Fungal Pathogens of Plants', In Kavanagh, K. (ed.) *Fungi*. Chichester, UK: *John Wiley & Sons, Ltd*, pp. 219–250. doi:10.1002/0470015330.ch9.
- Draz, I.S., Esmail, S.M., Abou-Zeid, M.A.E.-H. and Essa, T.A.E.-M. (2019) 'Powdery mildew susceptibility of spring wheat cultivars as a major constraint on grain yield', *Annals of Agricultural Sciences*, 64(1), pp. 39–45. doi:10.1016/j.aos.2019.05.007.
- Dufour, M.-C. (2011) Etude de l'efficacité des défenses de différents génotypes de *Vitis* induites par élicitation face à la diversité génétique de bioagresseurs (*Plasmopara viticola* et *Erysiphe necator*) : du gène au champ. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux , p. 366.
- Duffy, B., Schouten, A. and Raaijmakers, J. (2003) 'Pathogen self-defense: mechanisms to counteract microbial antagonism', *Annual review of phytopathology*, 41, pp. 501–38. doi:10.1146/annurev.phyto.41.052002.095606.
- Duressa, D., Anchieta, A., Chen, D., Klimes, A., Garcia-Pedrajas, M.D., Dobinson, K.F. and Klosterman, S.J. (2013) 'RNA-seq analyses of gene expression in the microsclerotia of *Verticillium dahliae*', *BMC Genomics*, 14(1), p. 607. doi:10.1186/1471-2164-14-607.

Références bibliographiques

- Edwards, S.G. and Seddon, B. (2001) 'Mode of antagonism of *Brevibacillus brevis* against *Botrytis cinerea* in vitro', *Journal of Applied Microbiology*, 91(4), pp. 652–659. doi:10.1046/j.1365-2672.2001.01430.x.
- Elad, Y. Yunis, H. and Katan, T. (1992) 'Multiple fungicide resistance to benzimidazoles, dicarboximides and diethofencarb in field isolates of *Botrytis cinerea* in Israel', *Plant Pathology*, 41(1), pp. 41–46. doi:10.1111/j.1365-3059.1992.tb02314.x.
- Elad, Y. and Stewart, A. (2007) 'Microbial control of *Botrytis spp*'. In: Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, Delen, N. (eds) *Botrytis: biology, pathology and control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Netherlands), pp. 223-241.
- Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P., Delen, N. and Elad, Yigal (eds) (2007) '*Botrytis: biology, pathology and control*'. Dordrecht: Springer.
- El-Ghaouth, A., Smilanick, J.L., Brown, G.E., Ippolito, A. and Wilson, C.L. (2001) 'Control of decay of apple and citrus fruits in semicommercial tests with *candida saitoana* and 2-deoxy-d-glucose', *Biological Control*, 20(2), pp. 96–101. doi.org/10.1006/bcon.2000.0894.
- Elmer, P.A.G. and Michailides, T.J. (2007) 'Epidemiology of *Botrytis cinerea* in orchard and vine crops'. In: Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, Delen N (eds) *Botrytis: biology, pathology and control*. Springer, Dordrecht (Netherlands), pp 243-272.
- Emmert, E.A.B. and Handelsman, J. (1999) 'Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective', *FEMS Microbiology Letters*, 171(1), pp. 1–9. doi:10.1111/j.1574-6968.1999.tb13405.x.

F

- Fravel, D.R. (2005) 'Commercialization and implementation of biocontrol'. *Annual Reviews Phytopathology*, 43, pp. 337-359.
- Fernandez Acero, F.J., Carbú, M., El-Akhal, M.R., Garrido, C., González-Rodríguez, V.E. and Cantoral, J.M. (2011) 'Development of proteomics-based fungicides: new strategies for environmentally friendly control of fungal plant diseases', *International journal of molecular sciences*, 12(1), pp. 795–816.
- Firlej, A. and Vanoosthuysse, F. (2001) 'La lutte intégrée et l'exemple de la punaise translucide: Un auxiliaire prometteur pour la pomiculture au Québec', *Vertigo*, 2 (2), doi.org/10.4000/vertigo.4098.
- Fritz, R., Lanen, C., Chapeland-Leclerc, F., Leroux, P. (2003) 'Effect of the anilinopyrimidine fungicide pyrimethanil on the cystathionine b-lyase of *Botrytis cinerea*. Pesticide Biochemistry and Physiology 77: 54-65
- FOA. L'actualité agricole en Méditerranée. Ed. CIHEAM, 2009, 33.
- Foucher, J. (2020) 'Rôle des effecteurs TAL dans l'interaction *Xanthomonas*-haricot et apports dans la lutte contre la graisse commune', Thèse de doctorat en Agronomie, Ecole interne Agro Campus Ouest, p. 316.

Références bibliographiques

Foughalia, A. (2015) 'Recherche d'agents de lutte biologique d'origine microbienne contre des champignons phytopathogènes'. Université de Béjaia-Abderrahmane Mira (Algérie), p. 72.

Fradin, E.F. and Thomma, B.P.H.J. (2006) 'Physiology and molecular aspects of *Verticillium* wilt diseases caused by *V. dahliae* and *V. albo-atrum*', *Molecular Plant Pathology*, 7(2), pp. 71–86. doi:10.1111/j.1364-3703.2006.00323.x.

G

Gaignard, J. and Luisetti, J. (1993) '*Pseudomonas syringae*, bactérie épiphyte, glaçogène et pathogène', *Agronomie*, 13(5), pp. 333–370.

Gabryś, B. and Kordan, B. (2013) 'Cultural control and other non-chemical methods', in *Insect Pests of Potato*. Elsevier, pp. 517–541. doi:10.1016/B978-0-12-386895-4.00018-1.

Gisi, U. and Sierotzki, H. (2008) 'Fungicide modes of action and resistance in downy mildews', in Lebeda, A., Spencer-Phillips, P.T.N., and Cooke, B.M. (eds) *The Downy Mildews - Genetics, Molecular Biology and Control*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 157–167. doi:10.1007/978-1-4020-8973-2_12.

Glare, T., Caradus, J., Gelernter, W., Jackson, T., Keyhani, N., Köhl, J., Marrone, P., Morin, L. and Stewart, A. (2012) 'Have biopesticides come of age?' *Trends in Biotechnology*, 30(5), pp. 250–258. doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.01.003.

Goldberg, N.P. (2006) 'Extension Plant Pathologist'. New Mexico State University, p. 2.

Govrin, E.M. and Levine, A. (2000) 'The hypersensitive response facilitates plant infection by the necrotrophic pathogen *Botrytis cinerea*', *Current Biology*, 10(13), pp. 751–757. doi:10.1016/S0960-9822(00)00560-1.

Goyal, A. and Manoharachary, C. (eds) (2014) 'Future challenges in crop protection against fungal pathogens'. *Springer New York*, (London), p. 364. doi:10.1007/978-1-4939-1188-2.

Gierson, D. and Kader, A.A. (1986) 'Fruit ripening and quality', In: Atherton, J.G and Rudich, J (eds) *The tomato crop: A scientific basis for improvement*. Springer Netherlands Dordrecht, pp. 241–280. doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4_6.

Guérin, F. and Le Cam, B. (2004) 'Breakdown of the scab resistance gene Vf in apple leads to a founder effect in populations of the fungal pathogen *Venturia inaequalis*', *Phytopathology*, 94(4), pp. 364–369.

Guetskyl, R., Shtienberg, D., Dinooor, A. and Elad, Y. (2002) 'Establishment, survival and activity of the biocontrol agents *Pichia guillemontii* and *Bacillus mycoides* applied as a mixture on strawberry plants', *Biocontrol Science and Technology*, 12(6), pp. 705–714.

Gullino, M.L., Leroux, P. and Smith, C.M. (2000) 'Uses and challenges of novel compounds for plant disease control', *Crop Protection*, 19(1), pp. 1–11. doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00095-2.

Gurusiddaiah, S., Weller, D.M., Sarkar, A. and Cook, R.J. (1986) 'Characterization of an antibiotic produced by a strain of *Pseudomonas fluorescens* inhibitory to *Gaeumannomyces*

Références bibliographiques

graminis var. *tritici* and *Pythium* spp.’ *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 29(3), pp. 488–495.

H

Haas, D. and Keel, C. (2003) ‘Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease.’ *Annual Review of Phytopathology*, 41, pp. 117-153.

Hamini, N. (2010) ‘Diversité génétique des populations de *Fusarium* pathogène de la tomate sur le pourtour méditerranéen.’ Thèse de doctorat en microbiologie. Université d’Oran (Algérie), p. 150.

Hirooka, T. and Ishii, H. (2013) ‘Chemical control of plant diseases.’ *Journal of General Plant Pathology*, 79(6), pp. 390–401. doi:10.1007/s10327-013-0470-6.

Hoffland, E., Jeger, M.J. and van Beusichem, M.L. (2000) ‘Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen.’ *Plant and Soil* 218: 239–247.

Hollomon, D.W. (2016) ‘Fungicide resistance: facing the challenge.’ *Plant Protection Science*, 51(4), pp. 170–176. doi:10.17221/42/2015-PPS.

Hu, X., Puri, K.D., Gurung, S., Klosterman, S.J., Wallis, C.M., Britton, M., Durbin-Johnson, B., Phinney, B., Salemi, M., Short, D.P.G. and Subbarao, K.V. (2019) ‘Proteome and metabolome analyses reveal differential responses in tomato -*Verticillium dahliae*-interactions.’ *Journal of Proteomics*, 207, p. 103449. doi:10.1016/j.jprot.2019.103449.

I

Iqbal, T., Bhuiyan, K., Hoque, M., Khan, M., Ahmed, J. and Rubayet, M.d.T. (2019) ‘Chemical and cultural management of common scab (*Streptomyces scabies*) disease of potato in bangladesh’, *Jomard Publishing*, 3(2), pp. 70–83.

Irtwange, S. (2006) ‘Application of biological control agents in pre-and postharvest operations’, *Commission Internationale du Genie Rural, E-Journal*, Makurdi (Nigeria), 8(3), p. 12.

J

Jacobsen, B. J. (2006) ‘Biological control of plant diseases by phyllosphere applied biological control agents’. In: bailey, M.J., Lilley, A. K., Timms-Wilson, T. M. and Spencer-Phillips, P. T. N. (eds) *Microbial ecology of aerial plant surfaces*, *Centre for Agricultural Bioscience International*, Wallingford, pp. 133–147.

Jarvis, W.R. (1989). ‘Managing diseases in greenhouse crops’. *Plant. Disease*. 73(3): pp. 190-194.

Jean-Denis, J.B. (2005) ‘Caractérisation de polyphénols stilbéniques et de dérivés induits ou constitutifs de la vigne impliqués dans sa défense contre l’agent pathogène du mildiou de la vigne, *Plasmopara viticola* (Berk. and Curt.)’. Thèse de doctorat. Université de Neuchâtel, p.249.

Références bibliographiques

Jo, K.-R., Visser, R.G.F., Jacobsen, E. and Vossen, J.H. (2015) 'Characterisation of the late blight resistance in potato differential MaR9 reveals a qualitative resistance gene, R9a, residing in a cluster of Tm-2² homologs on chromosome IX.' *Theoretical and Applied Genetics*, 128(5), pp. 931–941. doi:10.1007/s00122-015-2480-6.

Johnson, R. (1979) 'The concept of durable resistance.' *Phytopathology*, 69(3), p. 198. doi:10.1094/Phyto-69-198.

Johnson, R. (1984) 'A critical analysis of durable resistance.' *Annual Review of Phytopathology*, 22(1), pp. 309–330. doi:10.1146/annurev.py.22.090184.001521.

Jordan, R. and Hammond, J. (2008) 'Bean common mosaic virus and bean common mosaic necrosis virus.' In: *Encyclopedia of Virology*. Elsevier, pp. 288–295. doi:10.1016/B978-012374410-4.00559-8.

Jousse, C. (2006) 'Contribution à la lutte contre les maladies du bois de la vigne, en particulier l'esca'. Thèse de doctorat. Université de Poitiers, p. 210.

K

Kapat, A., Zimand, G. and Elad, Y. (1998) 'Effect of two isolates of *Trichoderma harzianum* on the activity of hydrolytic enzymes produced by *Botrytis cinerea*.' *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 52, pp. 127–137. doi:10.1006/pmpp.1997.0140.

Kars, I. and van Kan, J.A. (2007) 'Extracellular enzymes and metabolites involved in pathogenesis of *Botrytis*.' In: *Botrytis: Biology, pathology and control*. Springer, pp. 99–118.

Kaur, T., Yadav, A.N., Sharma, S. and Singh, N. (2020) 'Diversity of fungal isolates associated with early blight disease of tomato from mid Himalayan region of India.' *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 53(13–14), pp. 612–624. doi:10.1080/03235408.2020.1785098.

Kawasaki, K. and Lichtenberg, E. (2015) 'Quality versus Quantity Effects of Pesticides: Joint Estimation of Quality Grade and Crop Yield'. University of Maryland, p. 36. doi:10.22004/AG.ECON.204848.

Keel, C. (1992) 'Suppression of Root Diseases by *Pseudomonas fluorescens* CHA0: Importance of the Bacterial Secondary Metabolite 2,4-Diacetylphloroglucinol.' *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 5(1), p. 4. doi.org/10.1094/MPMI-5-004.

Kiyosawa, S. (1982) 'Genetics and epidemiological modeling of breakdown of plant disease resistance.' *Annual Review of Phytopathology*, 20(1), pp. 93–117. doi:10.1146/annurev.py.20.090182.000521.

Khayi, S. (2015) 'Génomique comparative des bactéries *Dickeya solani* et *Pectobacterium sabiae*, pathogènes émergents chez *Solanum tuberosum*'. Thèse de doctorat. Université Paris Saclay (France), Université Moulay Ismaïl Meknès (Maroc), p.146.

Khiok, I.L.K., Schneider, C., Heloir, M.-C., Bois, B., Daire, X., Adrian, M. and Trouvelot, S. (2013) 'Image analysis methods for assessment of H₂O₂ production and *Plasmopara viticola* development in grapevine leaves: application to the evaluation of resistance to downy mildew.' *Journal of Microbiological Methods*, 95(2), p.235. doi.org/10.1016/j.mimet.2013.08.012.

Références bibliographiques

Köhl, J., Kolnaar, R. and Ravensberg, W. J. (2019) 'Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy.' *Frontiers in Plant Science* 10, 845.

Koike, S.T., Gladders, P. and Paulus, A.O. (2007) 'Vegetable diseases. A color handbook. Elsevier Academic Press. Manson(London), p . 415.

Konavko, D. (2014) '*Pseudomonas syringae* as important pathogen of fruit trees with emphasis on plum and cherry.' *Agricultural Sciences*, 1, p. 7.

Kumar, S. (2013) 'Use of pesticides in agriculture and livestock animals and its impact on environment of India.' *Asian Journal of Environmental Science* , 8(1), pp. 51-57.

Kouassi, M. de (2001) 'Les possibilités de la lutte microbiologique', *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement, 2 (2). doi:10.4000/vertigo.4091.

L

Lacomme, C. and Jacquot, E. (2017) 'General characteristics of potato virus y (pvY) and its impact on potato production: An Overview.' In: Lacomme, C., Glais, L., Bellstedt, D.U., Dupuis, B., Karasev, A.V., and Jacquot, E. (eds) *Potato virus Y: biodiversity, pathogenicity, epidemiology and management*. Cham: Springer International Publishing, pp. 1–19. doi:10.1007/978-3-319-58860-5_1.

Lacroix, M. (2002) 'La tumeur du collet et de la tige causée par *Agrobacterium*', p. 4.

Lambert, N. (2010) 'Lutte biologique aux ravageurs : applicabilité au québec.' Université de Sherbrooke, Québec (Canada), p.87.

Latour, X., Faure, D., Diallo, S., Cirou, A., Smadja, B., Dessaux, Y. and Orange, N. (2008) 'Lutte contre les maladies bactériennes de la pomme de terre dues aux *Pectobacterium spp.* (*Erwinia carotovora*).' *Cahiers Agricultures*, 17(4), pp. 355–360. doi:10.1684/agr.2008.0210.

Laurens, O. (2016) 'Agressivité de souches de *Sclerotinia sclerotiorum* sur différentes espèces végétales.' Universitaire de Technologie d'Avignon, p. 39.

Lee, J.Y., Moon, S.S. and Hwang, B.K. (2003) 'Isolation and antifungal and antioomycete activities of aeruginosa produced by *Pseudomonas fluorescens* Strain MM-B16.' *Applied and Environmental Microbiology*, 69(4), pp. 2023–2031. doi:10.1128/AEM.69.4.2023-2031.2003.

Lefort, F. (2010) 'Lutte biologique et lutte microbiologique: des concepts anciens pour des méthodes de lutte modernes.' *Haute Ecole de Paysage d'ingénierie et d'architecture*. Genève. p. 57.

Leifert, C., Li, H., Chidburee, S., Hampson, S., Workman, S., Sigee, D., Epton, H. a. S. and Harbour, A. (1995) 'Antibiotic production and biocontrol activity by *Bacillus subtilis* CL27 and *Bacillus pumilus* CL45.' *Journal of Applied Bacteriology*, 78(2), pp. 97–108. doi:10.1111/j.1365-2672.1995.tb02829.x.

Lepoivre, P. (2001) Editorial : 'les systèmes de production agricole et la protection des cultures à la croisée des chemins.' *Biotechnol Agron Soc Environ*, 5, pp. 195-199.

Références bibliographiques

- Lepoivre, P. (2003) 'Phytopathologies: bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. *De Boeck*, Université Bruxelles (Belgium), p.432.
- Leroux, P. (2003) 'Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes.' *Comptes Rendus Biologies*, 326(1), pp. 9–21. doi:10.1016/S1631-0691(03)00005-2.
- Leroux, P., et Garden, L. (2003) 'La lutte chimique en phytopathologie. In: Lepoivre, P (eds)Phytopathologies: bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte'.De Boeck Université, Bruxelles, Belgium, pp. 319-342.
- Leroux, P. (2007) 'Chemical control of *Botrytis* and its resistance to chemical fungicides'. In: Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, Delen N (eds) *Botrytis: biology, pathology and control*. Springer, Dordrecht(Netherlands), pp. 195-222.
- Leyronas, C., Troulet, C., Duffaud, M., Villeneuve, F., Benigni, M., Leignez, S. and Nicot, P.C. (2018) 'First report of *Sclerotinia subarctica* in France detected with a rapid PCR-based test'. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(2), pp. 248–253. doi:10.1080/07060661.2018.1438515.
- Li, H. and Leifert, C. (1994) 'Development of resistance in *Botryotinia fuckeliana* (de Bary) Whetzel [*Botrytis cinerea*] against the biological control agent *Bacillus subtilis* CL27', 101, pp. 414-418
- Li, X., Fu, L., Chen, C., Sun, W., Tian, Y. and Xie, H. (2020) 'Characteristics and rapid diagnosis of *pectobacterium carotovorum* ssp. associated with bacterial soft rot of vegetables in china.' *Plant Disease*, 104(4), pp. 1158–1166. doi:10.1094/PDIS-05-19-1033-RE.
- Lindhout, P., Korta, W., Cislik, M., Vos, I. and Gerlagh, T. (1989) 'Further identification of races of *Cladosporium fulvum* (*Fulvia fulva*) on tomato originating from the Netherlands France and Poland.' *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 95(3), pp. 143–148. doi:10.1007/BF01999969.
- Loebenstein, G., Berger, P.H., Brunt, A.A. and Lawson, R.H. (eds) (2001) 'virus and virus-like diseases of potatoes and production of seed-potatoes.' Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-0842-6.
- Loqman, S. (2009) 'La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne: Isolement, caractérisation de souches de bactéries Actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine. Thèse de doctorat. Université de Reims, p. 216.
- Lorbeer J.W., Seyb A.M., de Boer M., Van den Ende J.E (2004) '*Botrytis* species on bulb crops. In: Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, Delen N (eds) *Botrytis: biology, pathology and control*. *Kluwer Academic Press*, Dordrecht (Netherlands), pp. 273-294.
- Loria, R., Coombs, J., Yoshida, M., Kers, J. and Bukhalid, R. (2003) 'A paucity of bacterial root diseases: *Streptomyces* succeeds where others fail.' *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62(2), pp. 65–72. doi:10.1016/s0885-5765(03)00041-9.
- Lucentini, C.G., Medina, R., Franco, M.E.E., Saparrat, M.C.N. and Balatti, P.A. (2021) '*Fulvia fulva* [syn. *Cladosporium fulvum*, *Passalora fulva*] races in Argentina are evolving

Références bibliographiques

through genetic changes and carry polymorphic avr and ecp gene sequences.’ *European Journal of Plant Pathology*, 159(3), pp. 525–542. doi:10.1007/s10658-020-02181-9.

M

Magan, N. and Olsen, M. (2004) ‘Mycotoxines in food: Detection and control. F.Sc. Technol, pp.190-203.

Magnin-Robert, M. (2007) ‘protection de la vigne contre *Botrytis Cinerea* et stimulation des mécanismes de défense à l'aide des bactéries issues du vignoble champenois’. Thèse de doctorat en Biologie des organismes. Université de Reims Champagne-Ardenne (France), p. 188.

Mallamaire, A. (1965) ‘Les principales maladies des plantes cultivées au Sénégal’, p. 498.

Marchoux, G., Gognalons, P. and Sélassié, K.G. (2008) ‘Virus des Solanacées: Du génome viral à la protection des cultures.’ *Quae*, p.843.

Mayali, N. (1986) ‘Éléments d’une étude épidémiologique du virus de la mosaïque jaune du haricot (V. M. J. H.) chez le haricot (*Phaseolus vulgaris L.*).’ Thèse de doctorat en phytopathologie. Paris 11.

Mazzola, M. and Cook, R. J. (1991) ‘Effects of fungal root pathogens on the population dynamics of biocontrol strains of *fluorescent pseudomonads* in the wheat rhizosphere.’ *Applied and Environmental Microbiology*, 57(8), pp. 2171–2178.

Mazzola, M., Fujimoto, D.K., Thomashow, L.S. and Cook, R.J. (1995) ‘Variation in Sensitivity of *Gaeumannomyces graminis* to Antibiotics Produced by *Fluorescent Pseudomonas spp.* and effect on biological control of take-All of wheat’, *Applied and environmental microbiology*, 61(7), pp. 2554–2559. doi:10.1128/aem.61.7.2554-2559.1995.

Mestre, P.-F., Merdinoglu, D., Merdinoglu-Wiedemann, S., Calonnec, A.A., Deliere, L. and Delmotte, F.F. (2013) ‘Vers une gestion durable de la résistance de la vigne au mildiou’, *Innovations Agronomiques*, 27, pp. 37-46.

McDonald, B.A. and Linde, C. (2002) ‘Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance.’ *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), pp. 349–379. doi:10.1146/annurev.phyto.40.120501.101443.

McDonald, M.R. and Boland, G. (2004) ‘Forecasting diseases caused by *Sclerotinia spp.* in eastern Canada: Fact or fiction.’ *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26, pp. 480–488. doi:10.1080/07060660409507168.

McGaughey, W.H. (1985) ‘Insect resistance to the biological insecticide *Bacillus thuringiensis*.’ *Science*, 229(4709), pp. 193–195.

McGaughey, W.H. and Whalon, M.E. (1992) ‘Managing insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins.’ 258(5087), pp. 1451–1455.

McGovern, R.J. (2015) ‘Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*.’ *Crop Protection*, 73, pp. 78–92. doi:10.1016/j.cropro.2015.02.021.

Références bibliographiques

Milner, J.L., Silo-Suh, L., Lee, J.C., He, H., Clardy, J. and Handelsman, J. (1996) 'Production of kanosamine by *Bacillus cereus* UW85.' *Applied and Environmental Microbiology*, 62(8), pp. 3061–3065.

Miranda, J.E., Rodrigues, S.M.M., de Almeida, R.P., da Silva, C.A.D., Togola, M., Hema, S.A.O., Somé, N.H., Bonni, G., Adegnika, M.O., Doyam, A.N. and Le Diambo, B. (2013) Reconnaissance de ravageurs et ennemies naturels pour les pays C-4, Embrapa (Brésil), p. 70.

Moh, A.A. (2012) 'Etude des facteurs ecologiques influençant la croissance et le développement des *pectobacterium spp.* infectant les tubercules de pomme de terre.' Thèse de doctorat en Sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège (Gembloux), p. 113.

Montarry, J. (2007) 'Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte *Solanum tuberosum*.' Thèse de doctorat en Biologie et Agronomie. Université Rennes I p. 144.

Morales-Cedeño, L.R., Orozco-Mosqueda, Ma. del C., Loeza-Lara, P.D., Parra-Cota, F.I., de los Santos-Villalobos, S. and Santoyo, G. (2021) 'Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre- and post-harvest diseases: Fundamentals, methods of application and future perspectives', *Microbiological Research*, 242, p. 126612. doi:10.1016/j.micres.2020.126612.

Morris, C.E., Sands, D.C., Vinatzer, B.A., Glaux, C., Guilbaud, C., Buffière, A., Yan, S., Dominguez, H. and Thompson, B.M. (2008) 'The life history of the plant pathogen *Pseudomonas syringae* is linked to the water cycle', *The ISME Journal*, 2(3), pp. 321–334. doi.org/10.1038/ismej.2007.113.

Mouria, B., Ouazzani-Touhami, A., Mouria, A. and Douira, A. (2013) 'Mise en évidence d'une variation intra spécifique chez *Botrytis cinerea* et lutte biologique *in vitro* par l'extrait de compost', *Journal of Applied Biosciences*, 64(1), p. 4797. doi:10.4314/jab.v64i1.88468.

Mustafa, G. (2015) 'Protection du blé contre l'oïdium par des champignons mycorhiziens à arbuscules: mécanismes et optimisation', Thèse de doctorat, p. 170.

N

Nabi, N., Chaouachi, M., Zellama, M.S., Hafsa, A.B., Said, K. and Skhiri, F.H. (2015) 'Molecular Detection of the Crown Gall Disease Caused by an *Agrobacterium* Species in Tunisian Fruit Trees' Nurseries', 10(1), p. 14.

Nabti, E., Bensidehom, N., Tabli, N., Dahal, D., Wess, A., Rothballer, M., Schmid, M., Hartmann, A., (2014) Growth stimulation of barley and biocontrol effect on plant pathogenic fungi by a *Cellulosimicrobium sp.* strain isolated from salt-affected rhizosphere soil in northwestern Algeria. *European Journal of Soil Biology*, 61, p. 20-26.

Naika, S., Van lidt de jeud, J., De Goffau, M., Hilmi, M., Van Dam, B. (2005) 'La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation'. Wageningen (Pays Bas), pp 1-106.

Références bibliographiques

Nicot, P.C., Blum, B., Köhl, J., Ruocco, M. (2011a) 'Conclusions and perspectives'. In Nicot PC (eds) Classical and augmentative biological control against diseases and pests: Critical status analysis and review of factors influencing their success, (IOBC-WPRS), pp 68-70.

Nicot, P., Bardin, M., Alabouvette, C., Köhl, J. and Ruocco, M. (2011b) 'Potential of biological control based on published research. 1. Protection against plant pathogens of selected crops', *New Disease Reports*,

O

Ons, L., Bylemans, D., Thevissen, K. and Cammue, B.P.A. (2020) 'Combining Biocontrol Agents with Chemical Fungicides for Integrated Plant Fungal Disease Control', *Microorganisms*, 8(12), p. 1930. doi:10.3390/microorganisms8121930.

Oyarzún, M.P., Quiroz, A. and Birkett, M.A. (2008) 'Insecticide resistance in the horn fly: alternative control strategies', *Medical and veterinary entomology*, 22(3), pp. 188–202.

P

Pal, K.K. and Gardener, B.M. (2006) 'Biological control of plant pathogens', *The Plant Health Instructor*. doi:10.1094/PHI-A-2006-1117-02.

Patil, B. L. (2020) Plant Viral Diseases: Economic Implications. In: Bamford, D. and Mark, Z(eds)Encyclopedia of Virology, 4th edition; Elsevier3, pp. 81-97
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.21307-1>

Paulitz, T.C. and Bélanger, R.R. (2001) 'Biological control in greenhouse systems', *Annual review of phytopathology*, 39(1), pp. 103–133.

Pérombelon, M.C.M. (2002) 'Potato diseases caused by soft rot erwinias: an overview of pathogenesis', *Plant Pathology*, 51(1), pp. 1–12. doi:10.1046/j.0032-0862.2001.Shorttitle.doc.x.

Perron, P. (1999) 'Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application', *Cahiers Agricultures*, 8(5), pp. 389-396 (1).

Petter, F. and Suffert, M. (2021) 'Risques de maladies et ravageurs émergents et rôle d'une organisation régionale de protection des végétaux.' (76), pp. 46-51.

Pierron, R. (2015) 'Esca et vigne : compréhension des mécanismes de défense précoces du bois de la vigne *Vitis vinifera* L. suite à la maladie, colonisation des champignons in planta et proposition de moyens de lutte pour une viticulture durable. These de doctorat. Université de Toulouse, p. 228.

Pierronnet, A. and Salesses, G. (1996) 'Behaviour of *Prunus* cultivars and hybrids towards *Agrobacterium tumefaciens* estimated from hardwood cuttings', *Agronomie*, 16(4), pp. 247–256.

Ploetz, R. (2004) 'Les maladies et les ravageurs : leur importance et leur gestion.' *Infomusa* 13(2), pp. 11-16.

Références bibliographiques

Ponchet, J. (1982) 'Réalités et perspectives de la lutte biologique contre les maladies des plantes', *Agronomie*, 2(4), pp. 305–314.

Poueymiro M., (2009) 'Caractérisation fonctionnelle des effecteurs de type III de *Ralstonia solanacearum*: AvrA et PopP1, délimitant le spectre d'hôte et RipTPS, synthétisant une molécule signal chez les plantes'. Thèse de doctorat en Microbiologie. Université de Toulouse III (Paul Sabatier). p191.

R

Rabiey, M., Roy, S.R., Holtappels, D., Franceschetti, L., Quilty, B.J., Creeth, R., Sundin, G.W., Wagemans, J., Lavigne, R. and Jackson, R.W. (2020) 'Phage biocontrol to combat *Pseudomonas syringae* pathogens causing disease in cherry', *Microbial Biotechnology*, 13(5), pp. 1428–1445. doi:10.1111/1751-7915.13585.

Ramezani, Y., Taheri, P. and Mamarabadi, M. (2019) 'Identification of *Alternaria spp.* associated with tomato early blight in Iran and investigating some of their virulence factors', *Journal of Plant Pathology*, 101(3), pp. 647–659. doi:10.1007/s42161-019-00259-w.

Rifkind, D. and Freeman, G.L. (2005) 'Tobacco mosaic virus.' In: The nobel prize winning discoveries in infectious diseases. *Elsevier*, pp. 81–84. doi.org/10.1016/B978-012369353-2/50018-7.

Rivas, S. and Thomas, C.M. (2005) 'Molecular interactions between tomato and the leaf mold pathogen *Cladosporium fulvum*', *Annual Review of Phytopathology*, 43(1), pp. 395–436. doi:10.1146/annurev.phyto.43.040204.140224.

Rex Consortium (2013) 'Heterogeneity of selection and the evolution of resistance', *Trends in Ecology & Evolution*, 28(2), pp. 110–118. doi:10.1016/j.tree.2012.09.001.

Riazul, I., Obaidullah, A.J.M., Mamun, A.A., Moniruzzaman, M. and Hasan, S. (2021) 'Efficacy of biological, chemical and cultural practices for the management of foot and root rot disease of black cumin,' *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 37, p. 102193. doi:10.1016/j.bcab.2021.102193.

Rocher, F. (2004) Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes : évaluation de la systémie phloémienne de nouvelles molécules à effet fongicide et d'activateurs de réactions de défense. Thèse de doctorat en Sciences fondamentales et appliqués, Université de Poitiers, p. 152.

Romanazzi, G. and Feliziani, E. (2014) *Botrytis cinerea* (Gray Mold). In: Bautista-Banos, S. (eds) Postharvest decay control strategies. *Academic Pres.* Waltham (USA), p. 383.

S

Saharan, G.S. and Mehta, N. (2008) *Sclerotinia* diseases of crop plants: biology, ecology and disease management. *Springer Netherlands*, Dordrecht. doi:10.1007/978-1-4020-8408-9.

Sansone, G., Rezza, I., Calvente, V., Benuzzi, D. and Tosetti, M.I.S. (2005) 'Control of *Botrytis cinerea* strains resistant to iprodione in apple with rhodotorulic acid and yeasts', *Postharvest Biology and Technology*, 35(3), pp. 245–251. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.09.005.

Références bibliographiques

- Scheffer, R.P. (1997) 'The nature of disease in plants'. *Cambridge University Press*. p.293.
- Schnathorst, W.C. (1981) 'Life cycle and epidemiology of *verticillium*.' In: Mace, M. E., Bell, A. A., and Beckman, C. H.(eds) Fungal wilt diseases of plants.' *Elsevier*, pp. 81–111. doi:10.1016/B978-0-12-464450-2.50009-7.
- Schouten, A., van den Berg, G., Edel-Hermann, V., Steinberg, C., Gautheron, N., Alabouvette, C., de Vos, C.H. (Ric), Lemanceau, P. and Raaijmakers, J.M. (2004) 'Defense responses of *Fusarium oxysporum* to 2,4-Diacetylphloroglucinol, a broad-spectrum antibiotic produced by *pseudomonas fluorescens*', *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17(11), pp. 1201–1211. doi:10.1094/MPMI.2004.17.11.1201.
- Schumacher, J. (2016) 'DHN melanin biosynthesis in the plant pathogenic fungus *Botrytis cinerea* is based on two developmentally regulated key enzyme (PKS)-encoding genes', *Molecular Microbiology*, 99(4), pp. 729–748. doi:10.1111/mmi.13262.
- Sequeira, L. (1983) 'Mechanisms of induced resistance in plants'. *Annual Review of Microbiology* 37: 51-79.
- Sharma, N. (2014) 'Biological controls for preventing food deterioration.' University of Lucknow(India), p. 440.
- Si Mohammed, A., Hamini Kadar, N., Kihal, M., Henni, J.E., Jos, S., Gallego, E. and José, A.G.C. (2016) 'Characterization of *Fusarium oxysporum* isolates from tomato plants in Algeria', *African Journal of Microbiology Research*, 10(30), pp. 1156–1163. doi:10.5897/AJMR2016.8161.
- Singh A., Mehta S., Singh H.B and Nautiyal C.S. (2003) 'Biocontrol of collar rot disease of betelvine (piper betle L) caused by *Sclerotium rolfsii* by using rhizosphere competent *Pseudomonas fluorescens* NBRI –N6 and *P. Fluorescens* NBRI-N'. *Current Microbiology*. 47, pp. 153-158.
- Smilanick, J.L. (2004) 'Postharvest diseases of fruits and vegetables: development and Control', *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), p. 213. doi:10.1016/j.postharvbio.2003.11.007.
- Solomon, P.S. and Oliver, R.P. (2001) 'The nitrogen content of the tomato leaf apoplast increases during infection by *Cladosporium fulvum*', *Planta*, 213(2), pp. 241–249. doi:10.1007/s004250000500.
- Song, R., Li, J., Xie, C., Jian, W. and Yang, X. (2020) 'An overview of the molecular genetics of plant resistance to the verticillium wilt pathogen *Verticillium dahliae*', *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), p. 1120. doi:10.3390/ijms21031120.
- Spadaro, D. and Droby, S. (2016) 'Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists', *Trends in Food Science & Technology*, 47, pp. 39–49. doi:10.1016/j.tifs.2015.11.003.
- Srinivas, C., Nirmala Devi, D., Narasimha Murthy, K., Mohan, C.D., Lakshmeesha, T.R., Singh, B., Kalagatur, N.K., Niranjana, S.R., Hashem, A., Alqarawi, A.A., Tabassum, B., Abd_Allah, E.F., Chandra Nayaka, S. and Srivastava, R.K. (2019) '*Fusarium oxysporum* f. sp.

Références bibliographiques

lycopersici causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), pp. 1315–1324. doi:10.1016/j.sjbs.2019.06.002.

Staats, M. (2005) 'Molecular phylogeny of the plant pathogenic genus *Botrytis* and the evolution of host specificity', *Molecular Biology and Evolution*, 22(2), pp. 333–346. doi:10.1093/molbev/msi020.

Steinkellner, S., Mammerler, R. and Vierheilig, H. (2005) 'Microconidia germination of the tomato pathogen *Fusarium oxysporum* in the presence of root exudates', *Journal of Plant Interactions*, 1(1), pp. 23–30. doi:10.1080/17429140500134334.

Stergiopoulos, I., Groenewald, M., Staats, M., Lindhout, P., Crous, P.W. and De Wit, P.J.G.M. (2007) 'Mating-type genes and the genetic structure of a world-wide collection of the tomato pathogen *Cladosporium fulvum*', *Fungal Genetics and Biology*, 44(5), pp. 415–429. doi:10.1016/j.fgb.2006.11.004.

Stockwell, V.O., Kawalek, M.D., L.W., M., and J.E., L. (1996) 'Transfer of pAgK84 from the biocontrol agent *Agrobacterium radiobacter* K84 to under field conditions'. *Phytopathology* 86: pp. 31-37.

Suprpta, D.N. (2012) 'Potential of microbial antagonists as biocontrol agents against plant fungal pathogens.' Udayana University (Indonesia), 18(2), pp. 1–8.

T

Tabashnik, B.E. (1994) 'Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*.', *Annual Review of Entomology*, 39(1), 47–79.

Tariq, M., Khan, A., Asif, M., Khan, F., Ansari, T., Shariq, M. and Siddiqui, M.A. (2020) 'Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management', *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science*, 70(6), pp. 507–524. doi:10.1080/09064710.2020.1784262.

Thakore, Y. (2006) 'The biopesticide market for global agricultural use', *Industrial Biotechnology*, 2(3), pp. 194–208.

Thambugala, K.M., Daranagama, D.A., Phillips, A.J.L., Kannangara, S.D. and Promptutha, I. (2020) 'Fungi vs. Fungi in Biocontrol: An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens', *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, p. 604923. doi:10.3389/fcimb.2020.604923.

Thomashow, L.S. 1996. Biological control of plant root pathogens. *Current Opinion in Biotechnology* 7: 343-347.

Tegg, R.S. (2006) 'Thaxtomin a toxicity in plant cells : studies associated with common scab disease of potato'.

Tegg, R.S., Gill, W.M., Thompson, H.K., Davies, N.W., Ross, J.J. and Wilson, C.R. (2008) 'Molecular phylogeny of the plant pathogenic genus *Botrytis* and the evolution of host specificity', *Plant Disease*, 92(9), pp. 1321–1328. doi:10.1094/PDIS-92-9-1321.

Tomás, A. and Solís Martel, I. (2000) 'Effects of powdery mildew (*Blumeria graminis*) severity on durum wheat cultivars', In: Royo, C., Nachi,t M., Di Fonzo, N. and Araus, J.L.

Références bibliographiques

(eds.) Durum wheat improvement in the mediterranean region: New challenges'. *Ciheam - Options Mediterraneennes*, (40), pp. 417-419.

Trigiano, R.N., Windham, M.T. and Windham, A.S. (eds) (2004) 'Plant pathology: concepts and laboratory exercises'. *Chemical Rubber Company Press*, p. 702.

Trottin-Caudal Y., Baffert, V., Monne,t Y., and Vileneuve, F. (2011) 'Maitrise de la protection intégrée : Tomate sous serre et abris, Ctifl', (Paris), p. 281.

V

Velásquez, A.C., Castroverde, C.D.M. and He, S.Y. (2018) 'Plant–Pathogen Warfare under Changing Climate Conditions', *Current Biology*, 28(10), pp. R619–R634. doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054.

Velho, A.C., Dall'Asta, P., de Borba, M.C., Magnin-Robert, M., Reignault, P., Siah, A., Stadnik, M.J. and Randoux, B. (2022) 'Defense responses induced by ulvan in wheat against powdery mildew caused by *Blumeria graminis f. sp. tritici*', *Plant Physiology and Biochemistry*, 184, pp. 14–25. doi:10.1016/j.plaphy.2022.05.012.

Vera Cruz, C.M., Bai, J., Oña, I., Leung, H., Nelson, R.J., Mew, T.-W. and Leach, J.E. (2000) 'Predicting durability of a disease resistance gene based on an assessment of the fitness loss and epidemiological consequences of avirulence gene mutation', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25), pp. 13500–13505. doi:10.1073/pnas.250271997.

Vercesi, A., Tornaghi, R., Sant, S., Burruano, S. and Faoro, F. (1999) 'A cytological and ultrastructural study on the maturation and germination of oospores of *Plasmopara viticola* from overwintering vine leaves', *Mycological Research*, 103(2), pp. 193–202. <https://doi.org/10.1017/S095375629800700X>.

W

Wang, Y., Duan, Y.-B. and Zhou, M.-G. (2014) 'Control of *Sclerotinia sclerotiorum* infection in oilseed rape with strobilurin fungicide SYP-7017', *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36(3), pp. 354–359. doi:10.1080/07060661.2014.925001.

Wanner, L.A. (2006) 'A survey of genetic variation in *streptomyces* isolates causing potato common scab in the united states', *Phytopathology*, 96(12), pp. 1363–1371. doi:10.1094/PHYTO-96-1363.

Wanner, L.A. and Kirk, W.W. (2015) '*Streptomyces* from basic microbiology to role as a plant pathogen', *American Journal of Potato Research*, 92(2), pp. 236–242. doi:10.1007/s12230-015-9449-5.

Watterson, J.C. (1987) Diseases. In: Atherton J G, Rudich J (eds) *The Tomato Crop A Scientific Basis For Improvement*. USA, pp 443-446.

Waard, M.A., Georgopoulos, S.G., Hollomon, D.W., Ishii, H., Leroux, P., Ragsdale, N.N. and Schwinn, F.J. (1993) 'Chemical Control of Plant Diseases: Problems and Prospects', *Annual Review of Phytopathology*, 31(1), pp. 403–421. doi:10.1146/annurev.py.31.090193.002155.

Wharton, P., Driscoll, J., Douches, D., Hammerschmidt, R., et Kirk, W. (2007) 'Common scab of potato. Michigan Potato Disease', *Extension Bulletin*, E-2990, pp4.

Références bibliographiques

Whipps, J. M. (1987) 'Effect of media on growth and interactions between a range of soil-borne glasshouse pathogens and antagonistic fungi'. *New Phytologist* 107(1), pp. 127–142.

Whipps, J. M. and Gerlagh, M. (1992) 'Biology of *Coniothyrium minitans* and its potential for use in disease biocontrol'. *Mycological Research* 96(11), pp. 897–907.

Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P. and Van Kan, J. a. L. (2007) '*Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease', *Molecular Plant Pathology*, 8(5), pp. 561–580. doi:10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x.

Witzel, K., Buhtz, A. and Grosch, R. (2017) 'Temporal impact of the vascular wilt pathogen *Verticillium dahliae* on tomato root proteome', *Journal of Proteomics*, 169, pp. 215–224. doi:10.1016/j.jprot.2017.04.008.

Wojciech, J.J. and Korsten, L. (2002) 'Biological control of postharvest diseases of fruits', *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), pp. 411–441. doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.120401.130158.

Woo, S. L., Lorito, M. (2007) 'Exploiting the interactions between fungal antagonist, pathogens and the plant for biocontrol'. In: Vurro M, Gressel, J. (Eds). *Novel Biotechnologies for Biocontrol Agent Enhancement and Management*. Springer Press, (Amsterdam), pp. 107–130.

Z

Zeigler, R.S., Leong, S.A. and Teng, P.S. (1994) 'Rice Blast Disease'. *International Rice Research Institute*, p. 605.

Zimand, G., Elad, Y., Chet, I. (1996) 'Effect of *Trichoderma harzianum* on *Botrytis cinerea* pathogenicity'. *Phytopathology* 86, pp. 1255–1260.

Ziogas, B.N., Markoglou, A.N. and Malandrakis, A.A. (2003) 'Studies on the Inherent Resistance Risk to Fenhexamid in *Botrytis cinerea*', *European Journal of Plant Pathology*, 109(4), pp. 311–317. doi:10.1023/A:1023522213675.

Zahri, S., Farih, A. and Douira, A. (2014) 'Statut des principales maladies cryptogamiques foliaires du blé au Maroc en 2013', *Journal of Applied Biosciences*, 77(1), p. 6543. doi:10.4314/jab.v77i1.5.

Résumé

Les plantes sont sujettes à de nombreuses maladies qui ont un réel impact économique, pouvant ainsi provoquer des pertes de rendements considérables. Différentes stratégies ont donc été développées afin de lutter efficacement contre les bioagresseurs des cultures. Ces méthodes consistent essentiellement en la lutte chimique, lutte génétique, les pratiques culturales et la lutte biologique. Cependant, bien que ces méthodes soient efficaces, la durabilité de leur efficacité se voit tout de même menacée. Ce mémoire bibliographique a permis de faire le point sur les connaissances actuelles dont on dispose sur un aspect très peu abordé et qui concerne la durabilité de la lutte biologique. Ce travail souligne donc les enjeux et les risques potentiels d'érosion de l'efficacité des agents phytoprotecteurs et l'importance de prendre les mesures nécessaires afin de limiter ces risques et permettre une meilleure durabilité. En somme, pour une utilisation durable des agents de lutte biologique, des efforts doivent être consentis dans ce domaine pour une agriculture plus durable.

Mots clés : durabilité, efficacité, cultures, stratégies de lutte, agents phytoprotecteurs

Abstract

Plants are subject to many diseases that have a real economic impact, which can cause considerable yield losses. Different strategies have therefore been developed in order to effectively fight crop diseases. These methods essentially consist of chemical control, genetic control, cultural practices and biological control. However, although these methods are effective, the sustainability of their effectiveness is still threatened. This bibliographic report provided an update of the current knowledge available on an aspect that is very little discussed and which concerns the sustainability of biological control. This work therefore highlights the issues and potential risks of erosion of the effectiveness of plant protection agents and the importance of taking the necessary measures to limit these risks and allow better sustainability. In short, for a sustainable use of biological control agents, efforts must be made in this field for more sustainable agriculture.

Keywords: sustainability, efficacy, crops, control strategies, plant protection agents