

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université SAAD DAHLAB – Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Biotechnologies

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Protection des Végétaux-Phytopharmacie

Thème

*Méthodes de lutte biologique contre les maladies des Plantes: Etat
de la question*

Présenté par :

- ❖ **Zadem Abdelkarim**
- ❖ **Loumi Mohamed Riadh**

Devant le jury :

Présidente :	Dr. CHAICHI S.	M.C.A.	(USDB 1)
Examinatrice :	Dr. KHEDDAR R.	M.C.B.	(USDB 1)
Promotrice :	Dr. AYADI R.	M.C.A.	(USDB 1)

Promotion 2021/2022

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour ;

Au meilleur des pères :

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être ;

A ma très chère mère :

Aucune dédicace ne saurait être éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices, les prières et la bénédiction qui m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études et tracer mon avenir ;

A mes chers frères :

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite et de joie et l'accomplissement de tout ce que tu souhaites ;

A tous mes amis et mes collègues,

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie ;

A tous les amis de la famille,

Mes tantes ... , et spécialement ma tante ... et tout la famille ... , merci pour votre soutien plus que précieux pendant tout mon cursus.

Sans oublier mon binôme :

Pour ton soutien moral, ta patience et ta compréhension tout au long de ce projet. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur ;

Zadem Abdelkarim

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour ;

Au meilleur des pères :

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être ;

A ma très chère mère :

Aucune dédicace ne saurait être éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices, les prières et la bénédiction qui m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études et tracer mon avenir ;

A mes chères sœurs :

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite et de joie et l'accomplissement de tout ce que tu souhaites ;

A tous mes amis et mes collègues,

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie ;

A tous les amis de la famille,

Mes tantes ... , et spécialement ma tante ... et tout la famille ... , merci pour votre soutien plus que précieux pendant tout mon cursus.

Sans oublier mon binôme :

Pour ton soutien moral, ta patience et ta compréhension tout au long de ce projet. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur ;

Loumi Mohamed Riadh

Remerciements

Au terme de ce travail, on saisit cette occasion pour exprimer nos vifs remerciements au bon dieu qui nous a donné la force et la patience d'effectuer ce travail.

A nos chers encadreurs : Radia Ayadi

Vous nous avez fait un très grand honneur d'encadré ce mémoire et de nous guider tout au long de son élaboration. Vos précieux conseils et votre disponibilité, nous ont beaucoup aidés lors de la réalisation de ce travail.

Veillez trouver ici le témoignage de notre plus grande estime et nos remerciements les plus sincères ainsi que l'assurance de notre respect.

A notre président de jury.

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider ce jury de mémoire.

Veillez trouver ici l'expression de notre plus profond respect pour votre qualité d'enseignement. Soyez assuré de notre gratitude et de notre sympathie.

A nos membres de jury.

Nous tenons à vous remercier d'avoir accepté de participer au jury de notre mémoire, d'évaluer et d'enrichir ce travail. Nous vous remercions pour la qualité de votre enseignement durant nos études. Veillez trouver par ce travail le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Un spécial remerciement au corps professoral durant notre cursus d'étude pour la qualité de leur enseignement.

LISTE DES FIGURE

Figure 1 : Symptômes des Maladies et parasites des plantes vertes.....	01
Figure 2 : Symptômes de l'alternariose sur les feuilles de tomat.	02
Figure 3 : Symptômes du virus de la marbrure légère du piment sur poivrons. (Pamela Roberts, 2006)	03
Figure 4 : Poire atteinte de tavelure, maladie cryptogamique due à <i>Venturia pyrina</i> (Birnenschorf , 2005)	04
Figure 5 : Nématode du soja (<i>Heterodera glycines</i>) et son œuf (grosst x1000).x (Service de la recherche agricole, 2006)	05
Figure 6 : Désinfection du sol à la vapeur. (Gilli et Heller. 2007)	08
Figure 7 : Schéma Lutte Biologique par Conservation et Gestion des Habitats	12
Figure 8 : Schéma de quelques interactions directs – tirets gris - et indirects - pointillés noirs - lors de l'introduction d'un ennemi exotique (d'après Van Lenteren et al., 2003, modifié et adapté)	20
Figure 9 : Face dorsale d'une coccinelle (Hamiti et Bouchaala, 2013)	23
Figure 10 : Face ventrale d'une Coccinelle (Hamiti et Bouchaala, 2013)	24
Figure 11 : Cycle biologique d'une coccinelle (Hamiti et Bouchaala, 2013)	25
Figure 12 : <i>Coccinella hieroglyphica</i> , (Latreille, 1807)	26
Figure 13 : <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850)	27
Figure 14 : <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758)	27
Figure 15 : <i>Stethorus punctillum</i> (Weise, 1885)	28
Figure 16 : <i>Clitostethus arcuatus</i> (Rossi, 17941)	28
Figure 17 : <i>Epilachna pavonia</i> (Olivier, 1808)	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classement des pesticides par mode d'action (Bonney, 2013)	07
Tableau 2 : Mécanismes génétiques et lutte contre les moustiques (Laven 1971)	09

SOMMAIRE

Introduction générale	
Chapitre I : Maladies des plantes	01
I.1-Introduction	01
I.2.Principaux maladies des plantes	02
I.2.1. Maladies bactériennes	02
I.2.2. Maladies virales	03
I.2.3. Maladies cryptogamiques	03
I.2.4. Maladies dues aux Insectes, Escargots et animaux.....	04
A. Maladies à nématodes	04
Chapitre II : Différents types de lutte contre les maladies des plantes	06
II.1. Lutte non biologique	06
II.1.1. Lutte chimique	06
II.1.2. Lutte physique	07
II.1.3. Lutte génétique	08
II.1.4. Utilisation des Méthodes culturales	09
II.2.Lutte biologique	09
II.2.1. Définition	09
II.2.2. Historique	10
II.2.3. Différents types de lutte biologique	10
A. Lutte biologique classique	10
B. Lutte biologique par inoculation	11
C. Lutte biologique par augmentation	11
D. Lutte biologique par conservation	12
E. Mécanismes d'action des agents de lutte biologique	13
E.1. Compétition	13
E.2. Hyperparasitisme	14
E.3. Antibiose	14
E.4. Résistance Systémique Induite (ISR)	15
E.5. Diminution de l'agressivité du pathogène	16
E.6. Modification des propriétés épiphytes	16

E.7. Combinaison de mécanismes d'action	17
II.2.4. Avantages de la lutte biologique	18
II.2.5. Effets négatifs et dangers de la lutte biologique	18
A. Effets directs	19
A.1. Effets sur les phytophages non-cibles	19
A.2. Effets sur les autres niveaux trophiques : la prédation intragilde et l'hyperparasitisme...19	
A.3. Propagation de pathogène	19
B. Effets indirects	21
B.1. Compétition	21
B.2. Autres effets indirects	21
B.3. Hybridation	21
Chapitre III : Lutte biologique via les coccinelles: Etat de la question	22
Introduction	22
A. Systématique	22
B. Morphologie	22
C. Cycle biologique et nombre de générations	25
D. Spécificité alimentaire	25
D.1. Coccinelles aphidiphages	26
D.2. Coccinelles coccidiphages	26
D.3. Coccinelles mycophage	27
D.4. Coccinelle acarophage	27
D.5. Coccinelle aleurodiphage	28
D.6. Coccinelle Phytophages	29
E. Prédateur des coccinelles	29
F. Utilisation des Coccinelles en lutte biologique	29
H. Diversité des Coccinelle en Algérie	30
H.1. Composition du peuplement des coccinelles algériennes	30
H.2. Répartition géographique des coccinelles	31
H.3. Influence des facteurs climatiques, trophiques et spatiaux sur le comportement naturel des coccinelles	32
H.4. Interaction entre les coccinelles et leurs guildes	32
H.5. Renforcer et protéger le peuplement des coccinelles algériennes	33
Références Bibliographiques	35

Resumé

Les maladies des plantes sont largement considérées comme l'un des obstacles les plus redoutables à l'accomplissement de la sécurité alimentaire mondiale face à l'augmentation de la population humaine au 21 e siècle ,Ces maladies peuvent avoir des conséquences économiques, sociales et écologiques à l'échelle mondiale.

La lutte biologique présente un rôle crucial dans le contrôle des maladies, causées par les phytopathogènes et qui s'avère, probablement, plus efficace que les fongicides chimiques Par conséquent, elle est considérée comme une voie alternative à l'utilisation des produits chimiques, qui constituent un danger pour l'homme et l'environnement.

Les coccinelles constituent un groupe important de coléoptères à la fois d'un point de vue économique dans leur utilisation en tant qu'agents de contrôle biologique et dans leur diversité et adaptation à un certain nombre d'habitats différents,.

Mots clé :lutte biologique, phytopathogène, fongicide, coléoptères

ملخص

تعتبر الأمراض النباتية على نطاق واسع واحدة من أكبر العقبات التي تحول دون تحقيق الأمن الغذائي العالمي في مواجهة ، ويمكن أن يكون لهذه الأمراض عواقب اقتصادية واجتماعية وبيئية على نطاق عالمي stتزايد عدد السكان في القرن 21

تلعب مكافحة البيولوجية دورا حاسما في مكافحة الأمراض التي تسببها مسببات الأمراض النباتية والتي ربما تكون أكثر فعالية من مبيدات الفطريات الكيميائية.

دعسوقة هي مجموعة مهمة من الخنافس من الناحية الاقتصادية في استخدامها كعوامل مكافحة بيولوجية وفي تنوعها وتكيفها مع عدد من الموائل المختلفة.

الكلمات المفتاحية: مكافحة البيولوجية ، مسببات الأمراض النباتية ، مبيدات الفطريات ، الخنافس

abstract

Plant diseases are widely considered to be one of the most formidable obstacles to achieving global food security in the face of human population growth in the 21st century. These diseases can have global economic, social and environmental consequences.

Biological control plays a crucial role in the control of diseases caused by plant pathogens, which is probably more effective than chemical fungicides.

Ladybugs are an important group of beetles both economically in their use as biological control agents and in their diversity and adaptation to a number of different habitats.

Key words: biological control, plant pathogen, fungicide, beetles

Introduction Générale

La lutte biologique se définit comme l'utilisation d'agents ou de produits naturels qui nuisent à des ravageurs de plantes ou à des micro-organismes pathogènes de plantes. Cette définition inclut les microorganismes (champignons, bactéries, virus) et les substances naturelles (extraits de plantes, huiles essentielles)

Elle consiste par conséquent, en l'utilisation d'organismes vivants dans le but de limiter la pullulation et/ou la nocivité des divers ennemis des cultures tels que, les rongeurs, les insectes, les nématodes, les maladies des plantes et les mauvaises herbes Plusieurs avantages ont été affectés à la lutte biologique. D'un point de vue environnemental, elle permet l'amélioration de la qualité de vie et la santé des travailleurs agricoles, donc diminution des risques de contamination par les produits (pas de résidus chimiques), ainsi que le maintien de la biodiversité des biotopes. Elle diminue les risques de pollution grâce à la dégradation rapide des biopesticides

Parmi les auxiliaires prédateurs et parasitoïdes, utilisés en lutte biologique, les coccinelles occupent une place importante Prés de 6000 espèces des Coccinellidae sont connues dans le monde entier Elles ont une grande importance économique en tant que prédateurs tant au stade larvaire qu'adulte sur divers parasites importants des cultures, tels que les pucerons, les acariens et d'autres insectes

Chapitre I : Maladies des plantes

I.1-Introduction

Les maladies des plantes sont largement considérées comme l'un des obstacles les plus redoutables à l'accomplissement de la sécurité alimentaire mondiale face à l'augmentation de la population humaine au 21 e siècle (Velásquez et al., 2018). Ces maladies peuvent avoir des conséquences économiques, sociales et écologiques à l'échelle mondiale. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture estime qu'entre 20 et 40% des rendements mondiaux des cultures sont réduits chaque année en raison des dommages causés par les bio-agresseurs y compris les phytopathogènes (Anonyme, 2015). Les pertes potentielles dues aux maladies, aux animaux ravageurs et aux plantes adventices s'élèvent, selon la culture et la zone géographique concernée, entre 50 et 80% de la production potentielle. Avec les moyens de lutte actuellement mis en œuvre, les pertes réelles s'élèvent encore à plus de 30% dans les pays industrialisés. Leur niveau est encore plus élevé (plus de 50%) encore dans les pays en développement qui paient le plus lourd tribut à ce gaspillage de ressources alimentaires. En estime que 10 à 15% de la production potentielle mondiale est perdue, suite aux maladies provoquées par les phytopathogènes. Des statistiques récentes indiquent que les champignons provoquent des dommages considérables avec des pertes de rendement estimées à 40 à 60%, suivis des maladies virales (10 à 15%), bien que le reste des pertes sont exprimées par des bactéries, phytoplasmes et nématodes (Patil, 2020).(Fig. 1).



Rouille



Fumagine



Oïdium



Botrytis

Figure 1 : Symptômes des Maladies et parasites des plantes vertes.
(<https://plandejardin-jardinbiologique.com/maladies-des-plantes-vertes.html>)

I.2.Principaux maladies des plantes

I.2.1. Maladies bactériennes

D'après **Kenneth (2000)**, Certaines maladies des végétaux sont décrites depuis l'antiquité telles que les pourritures, nécroses, jaunissement, dépérissement, chancres. Le phénomène de contagion était plus ou moins compris, mais c'est l'invention du microscope qui a permis l'identification des bactéries comme agents infectieux. La première bactérie qui s'est avérée être un agent pathogène des plantes est *Erwinia amylovora*, responsable du feu bactérien. Cette maladie a été signalée sur pommier et poirier dès 1780, dans la vallée de l'Hudson à New York, et en 1887 en Californie

Les maladies bactériennes des plantes, bactérioses végétales ou phytobactérioses, sont des maladies des plantes causées par des espèces de bactéries (y compris phytoplasmes et spiroplasmes). Environ 200 espèces de bactéries sont des agents phytopathogènes à l'origine de maladies qui peuvent avoir des conséquences économiques importantes en causant des pertes de rendement, en dépréciant la qualité et la valeur marchande des produits ou en limitant les échanges internationaux, du fait de mesures de quarantaine. Ce sont des maladies difficiles à éradiquer, Les méthodes de lutte reposent d'abord sur la prophylaxie, associée à des traitements chimiques, et sur le choix de variétés résistantes lorsqu'elles sont disponibles. Le recours à des antibiotiques est exceptionnel, cette pratique étant interdite dans de nombreux pays, et trop coûteuse pour la plupart des cultures. Au début du XXIe siècle, on recensait environ 350 taxons (espèces, pathovars) de bactéries phytopathogènes (**Paulin ,2001) (Fig. 2).**



Figure 2 : Symptômes de l'alternariose sur les feuilles de tomate.

(<https://binette-et-cornichon.com/bundles/chouchieplant/images/posts/maladies-1573854>)

I.2.2. Maladies virales

Depuis la découverte du premier virus chez le tabac à la fin du XIXe siècle, plus de 1000 espèces virales ont été décrites chez les plantes supérieures. Certaines provoquent de graves épidémies préjudiciables à la qualité des récoltes. Les émergences virales sont particulièrement préoccupantes chez les plantes horticoles même si elles sont moins fréquentes chez les espèces ligneuses (arbres fruitiers), comparativement aux espèces herbacées (maraichères et ornementales). Pour les cultures légumières, la fréquence d'apparition a été estimée à 1 virus par an depuis ces 15 dernières années. Une maladie émergente est une maladie nouvellement apparue ou prenant une nouvelle importance pour une culture donnée et dans une aire géographique donnée. Nous parlerons de réémergence à propos de maladies déjà décrites mais qui resurgissent après plusieurs années. Les causes de ces émergences sont très variées telles que la mondialisation, l'évolution des pratiques culturales et les changements climatiques favorables aux pullulations de certains vecteurs de

virus. Enfin, elles sont favorisées par le fort potentiel évolutif des virus qui s'adaptent facilement à de nouveaux hôtes, y compris résistants. (Verdin et Lecoq, 2015).(Fig. 3)



Figure 3 : Symptômes du virus de la marbrure légère du piment sur poivrons. (Pamela Roberts, 2006)

I.2.3. Maladies cryptogamiques

Une maladie cryptogamique, aussi appelée maladie fongique, est une maladie causée par des champignons parasites filamenteux chez la plante, Dans le cas d'un animal, on parle plutôt de mycose. Ce nom provient de l'ancienne classification des champignons parmi les plantes cryptogames.

Les champignons sont des organismes eucaryotes, dotés d'une membrane nucléaire, de chromosomes et d'un nucléole. L'absence de chloroplastes en fait des organismes hétérotrophes (comme les animaux), dont la nutrition carbonée dépend de la présence de matières organiques préformées, l'existence d'une paroi cellulaire périphérique et de vacuoles turgescentes dans le cytoplasme ; les rapproches aussi des végétaux (Patrick., 1999). (Fig. 4).



Figure 4 : Poire atteinte de tavelure, maladie cryptogamique due à *Venturia pyrina*. (Birnerschorf, 2005)

I.2.4. Maladies dues aux Insectes, Escargots et animaux

Les dommages infligés aux plantes d'ornement par les ravageurs sont extrêmement variés, car ils dépendent à la fois de leur comportement alimentaire et de leur mode de prise de nourriture (par ex., les pièces buccales peuvent être de type broyeur, perceur, lécheur ou suceur). Certains ravageurs attaquent les racines ou d'autres organes souterrains, mais la plupart vivent aux dépens des feuilles, des tiges, des pousses, des bourgeons, des fleurs ou des fruits. Les symptômes d'une infestation peuvent aller de légères taches, souvent imperceptibles, à la mort des plantes, en passant par des altérations de la couleur ou la réduction de la vigueur. C'est ainsi que les feuilles peuvent être boursouflées, découpées, décolorées, déformées, minées, percées, déchiquetées, réduites à leurs nervures, mouchetées, flétries ou ratatinées ; elles peuvent aussi porter des galles (Alford, 2013).

A. Maladies à nématodes

Selon Koon-Hui (2007), Il existe plus de 5000 espèces de nématodes dans le sol. Beaucoup sont pathogènes et Certains provoquent des gales au niveau des racines des Solanacées. Un moyen de prévention efficace en lutte biologique est l'introduction de tagètes (œillets d'Inde), qui, grâce à leurs exsudats racinaires ont un effet nématifuge par allélopathie.

Les nématodes phytopathogènes sont des petits vers quasi microscopiques non cloisonnés, qui vivent aux dépens des plantes (nématodes phytophages), en ectoparasites ou

en endoparasites, causant des dégâts plus ou moins importants aux cultures. Certains sont également des vecteurs de phytovirus. Ces ravageurs des plantes sont considérés comme à l'origine d'environ 77 milliards de dollars de pertes par an dans le monde (**Lambert et SBeka 2009**) (Fig. 5).



Figure 5 : Nématode du soja (*Heterodera glycines*) et son œuf
(grosst x1000).x (Service de la recherche agricole, 2006)

Chapitre II : Différents types de lutte contre les maladies des plantes

La plupart des méthodes de lutte sont orientées pour protéger les plantes saines des maladies Plutôt que de guérir les plantes malades. Toutefois, seules quelques infections peuvent être contrôlées de façon satisfaisante après que les plantes deviennent malades. Les méthodes de lutte appliquées en protection des plantes varient considérablement d'une maladie à une autres en fonction du type de pathogène, la plante hôte et les conditions de l'environnement.

Le but final des toutes les méthodes utilisées est de combattre les maladies des plantes et alors d'accroître le rendement et améliorer La qualité de la production agricole (**Nasraoui, 2006**). Il est à noter que La lutte contre les maladies des plantes est basée sur différentes méthodes.

II.1. Lutte non biologique**II.1.1. Lutte chimique**

Le terme pesticide regroupe les substances chimiques destinées à repousser, détruire ou combattre les ravageurs et les espèces indésirables à l'égard de plantes ou d'animaux causant des dommages aux denrées alimentaires et aux produits agricoles. Bien que, le mot « produit phytosanitaire » est plutôt utilisé pour la protection des plantes. Les produits phytosanitaires chimiques, sont utilisés à la fois pour la gestion préventive et curative des maladies, ils jouent également un rôle crucial dans l'agriculture actuelle en ce qui concerne l'augmentation de la quantité et la qualité du rendement, par conséquent l'amélioration de la sécurité alimentaire (**Kawasaki et Lichtenberg, 2015**).

En raison de leur faible pouvoir de dégradation, les pesticides peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire et/ou contaminer les milieux naturels. Suffisamment des preuves confirment que la majorité de ces produits chimiques sont responsables des dommages environnementaux y compris la contamination du sol et de l'eau. Les produits phytosanitaires peuvent être toxiques pour un large éventail d'organismes non ciblés car ils agissent sur des processus biologiques de base qui ne sont pas spécifiques de l'organismes cibles (**Zubrod et al., 2019**). Ces produits ont également des effets négatifs sur la santé humaine puisqu'ils peuvent être liés à diverses maladies qui touchent la santé humaine (**Kim et al., 2017**).

(Tableau 1)

Tableau 1 : Classement des pesticides par mode d'action (**Bonnefoy, 2013**).

Herbicides	
De contact	Agit sur les parties de la plante avec lesquelles il entre en contact.
Systémique	Absorbé par la plante. Se déplace à l'intérieure de celle-ci.
Sélectif	Ne contrôle que certaines plantes traitées.
Non sélectif	Contrôle toutes les plantes traitées
Résiduaire	Se dégradent lentement et contrôle les plantes sur une longue période.
Non résiduaire	Est rapidement inactif après son application et ne contrôle les plantes que sur une courte période.
Fongicides	
Préventif	Protège la plante en empêchant que la maladie ne se développe.
Curatif	Réprime une maladie qui est déjà développée
Insecticides	

De contact	Agit lorsque l'insecte entre en contact avec le produit.
D'inhalation	Agit lorsque l'insecte respire le produit.
D'ingestion	Agit lorsque l'insecte se nourrit du produit.

II.1.2. Lutte physique

Différents moyens physiques et mécaniques peuvent être utilisés pour éliminer ou limiter le développement de certains ennemis. Ils ne suffisent pas à protéger totalement les cultures. C'est pourquoi ils sont généralement associés à d'autres moyens de lutte (**Eliane, 2010**). Certains facteurs physiques, tels que la température (basse ou élevée), l'air sec, la lumière et les radiations, peuvent être utilisés pour contrôler les maladies des plantes (**Nasraui, 2006**).

Il faut donc empêcher la conservation des agents phytopathogènes dans l'environnement. Ainsi, les débris de plantes malades, sont susceptibles de produire un inoculum capable d'attaquer les plantes cultivées saines placées dans un substrat sain. En vue de limiter ces sources, potentielles de contamination, plusieurs méthodes préventives peuvent être utilisées notamment la destruction par le feu des débris végétaux infectés ou leur enfouissement dans le sol (**Si Amar., 2017**).

La désinfection du sol, soit par la solarisation ou traitement à la vapeur, semble la seule méthode de contrôle approuvée. La solarisation consiste à bien mouiller le sol et à le recouvrir d'une toile en plastique pendant les périodes les plus chaudes de l'été (**Mohamed, 2010**). La température sous la toile devient rapidement très élevée, ce qui détruit les organismes responsables des maladies des plantes (**Melero-Vara et al., 2013**). (Fig. 6).



Figure 6 : Désinfection du sol à la vapeur. (Gilli et Heller. 2007).

II.1.3. Lutte génétique

La lutte génétique, très utilisée ces dernières décennies, permet de créer des cultivars résistants en utilisant les ressources génétiques intra- et inter-espèces. Une résistance spécifique, très efficace contre un agent pathogène donné peut toutefois être rapidement contournée par mutation, particulièrement lors des cultures successives et prolongées. Une résistance plus générale quant à elle, n'est pas totale mais ralentit la progression de la maladie causées par un grand nombre d'agents pathogènes (**Hanemian, 2012**). Exemple, (**Tableau 2**)

Tableau 2 : Mécanismes génétiques et lutte contre les moustiques (Laven 1971)

<p>1° Mécanismes inter-spécifiques :</p> <ul style="list-style-type: none">• mortalité des gamètes,• mortalité du zygote,• non viabilité des hybrides,• infériorité des hybrides,• stérilité des hybrides. <p>2° Mécanismes intra-spécifiques :</p> <p>a) Agissant lors de la fécondation ou de la méiose :</p> <ul style="list-style-type: none">• incompatibilité cytoplasmique,• létalité dominante,• semistérilité. <p>b) Agissant lors des stades ultérieurs du développement :</p> <ul style="list-style-type: none">• létalité ou infériorité larvaire, nymphale ou imaginale, dues à des gènes récessifs létaux, subvitaux ou autres,• systèmes polyfactoriels, par exemple distorsion du taux des sexes.
--

II.1.4. Utilisation des Méthodes culturelles

Plusieurs techniques culturelles réduisent le risque des maladies avant ou pendant l'implantation de la culture on en citera à titre d'exemple l'évitement des semis précoces et trop denses, la pratique d'un désherbage permettant d'éliminer les mauvaises herbes, entretenant un microclimat humide, qui pourrait être un foyer de germes pathogènes, l'élimination des repousses des plantes et enfin le respect des assolements et des rotations (Maufras, 2001; Hosford, 2012).

II.2. Lutte biologique

II.2.1. Définition

Plusieurs définitions de la lutte biologique ont été proposées par différentes organisations, selon le domaine d'application et le pays concernés. Parmi les définitions les plus couramment rencontrées est la définition adoptée par l'organisation internationale de lutte biologique (OILB): « *Utilisation par l'homme d'ennemis naturels tels que des prédateurs, des parasitoïdes ou des agents non pathogènes pour contrôler des populations d'espèces nuisibles et les maintenir en dessous d'un seuil de nuisibilité* », bien qu'un groupe de chercheurs de l'OILB a souhaité élargir le concept en prenant aussi en compte les substances dérivées d'organismes vivants. (Suty, 2010a)

La lutte biologique présente un rôle crucial dans le contrôle des maladies, causées par les phytopathogènes et qui s'avère, probablement, plus efficace que les fongicides chimiques (Emmert et Handelsman, 1999). Par conséquent, elle est considérée comme une voie alternative à l'utilisation des produits chimiques, qui constituent un danger pour l'homme et l'environnement.

L'utilisation de plusieurs modes d'action par un seul agent antagoniste et sa capacité d'adaptation à la rhizosphère contribuent à ce que la lutte biologique devienne plus durable que les produits chimiques (Cook, 1993; Benbrook, 1996). Actuellement, plusieurs produits de lutte biologique sont commercialisés et utilisés dans le monde (Savita et Sharma, 2019).

L'objectif principal de la lutte biologique est de rétablir un équilibre durable entre l'agent de lutte biologique et l'espèce cible (Suty, 2010a), alors que sa réussite nécessite l'application d'un agent de bio-contrôle efficace. L'efficacité est notamment liée à la capacité de l'agent biologique à coloniser et à s'installer dans le milieu rhizosphérique des plantes hôtes (Singh et al., 1999)

II.2.2. Historique

Pendant le Xième siècle, beaucoup d'études biologiques des ennemis normaux ont été effectuées. Les essais pratiques au sujet de l'application de la lutte biologique ont graduellement avancé. C'était Erasmus Darwin, qui a étudié un livre sur l'agriculture et jardinage en 1800 (phytologia) et dans lequel il a souligné le rôle des ennemis naturels qui réduisent naturellement les parasites (Lenteren, 2006). La lutte biologique soulevait beaucoup d'enthousiasme au début du XXIème siècle en raison du succès obtenu par *Rodolia cardinalis* en Californie (Vincent et al., 2000). La lutte biologique est séduisante sur le plan

scientifique et écologique et son image plait au grand public. Malgré cela, les succès commerciaux de lutte biologique ont été peu nombreux au XXI^{ème} siècle en raison de ses limites

En pratique, l'application de la lutte biologique repose souvent sur une multitude d'actions et d'informations complexes et fines (**Vincent et al., 2000**).

Le concept de la lutte biologique a été utilisé avant les années 1960, exclusivement dans un but expérimental sans orientation vers la pratique. Le développement spectaculaire des travaux de recherche sur les fongicides chimiques, pendant et juste après la seconde guerre mondiale, a masqué ce genre de travaux et n'a pas laissé de place au développement de ces techniques biologiques qui sont restées à l'ombre (**Sekhri et al., 2006**).

II.2.3. Différents types de lutte biologique

La lutte biologique peut se scinder en quatre stratégies de lutte : la classique, l'inoculative, l'inondative et la conservative (**Eilenberg et al. 2001**).

A. Lutte biologique classique

La lutte biologique classique, ou lutte biologique par acclimatation, est la stratégie la plus ancienne. Elle consiste en l'introduction intentionnelle d'un auxiliaire exotique, habituellement coévolué avec le ravageur, dans le but d'un établissement permanent et un contrôle à long terme du ravageur. Ce type de lutte est principalement utilisé pour maîtriser un ravageur exotique introduit ou une espèce invasive et rétablir ainsi l'équilibre hôte-ennemi naturel (**Eilenberg et al., 2001**).

L'exemple le plus connu de cette stratégie est l'introduction, en Californie, citée précédemment de *Rodolia cardinalis*. pour lutter contre *Icerya purchassi*. Un autre exemple est la lutte à grande échelle contre des adventices par l'introduction d'insectes phytophages. Ainsi, l'introduction en 1926 en Australie de la pyrale originaire d'Argentine, *Cactoblastis cactorum*, a permis de contrôler efficacement les cactus du genre *Opuntia* (**Louda et al., 2003**). Parallèlement à cette stratégie ancienne, il est également possible d'introduire des organismes exotiques qui n'ont pas co-évolué avec le ravageur. Dans ce cas, la stratégie sera de type « nouveau associé » (**Hokkanen et Pimentel, 1984**). Toutefois dans ces deux situations, si le programme de lutte est mal conçu, l'espèce introduite pour lutter peut devenir à son tour une espèce invasive gênante et causer des dommages irréversibles à l'environnement.

B. Lutte biologique par inoculation

Cette stratégie se distingue de la première par son caractère temporaire. Elle vise à libérer, en nombre limité, un auxiliaire qui se multipliera et contrôlera le ravageur durant une période prolongée mais non permanente. Bien souvent, il sera nécessaire de répéter l'opération. L'effet de ce type de lutte est donc différé à l'inoculation et repose sur la descendance des individus lâchés. Cette stratégie est utilisée principalement en serre. Par exemple, la mouche blanche *Encarsia formosa* (Gahan 1924) (Hymenoptera, Aphelinæ) est inoculée pour combattre un autre mouche blanche *Trialetrodes vaporariorum* (Westwood 1856) (Hemiptera, Aleyrodidae). L'acarien *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) est inoculé, quant à lui, pour combattre un autre acarien, *Tetranychus urticae*. De même, le Parasitoïde *Aphelinus spp.* (Hymenoptera, Aphelinæ) ou de *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani 1847) (Diptera, Cecidomyiidae) visent à lutter contre les pucerons (**van Lenteren & Woets, 1988**).

C. Lutte biologique par augmentation

A pour objectif de lâcher des ennemis naturels sans chercher à ce qu'ils s'installent durablement dans l'agrosystème. Ces ennemis naturels sont généralement élevés en grand nombre dans des élevages. Ils sont libérés dans les cultures lorsque les ennemis naturels sauvages sont absents, sont trop peu nombreux ou arrivent trop tard par rapport au développement des herbivores. La lutte biologique par augmentation est parfois qualifiée d'inondative quand les agriculteurs libèrent un grand nombre d'ennemis naturels afin d'obtenir une élimination rapide des ravageurs. Elle est qualifiée d'inoculative quand on libère quelques individus à l'installation d'une culture afin qu'ils se multiplient et régulent les ravageurs pendant toute la période de développement de cette culture (**Hajek, 2004**).

Ces modalités de lutte biologique sont utilisées en Algérie ainsi que le montrent les exemples suivants. En 2007, une opération de grande envergure de lutte biologique augmentative inondative fut planifiée contre la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermuller) par la Direction générale des Forêts du Ministère de l'Agriculture et du Développement rural dans 16 wilayas couvrant 94.717 ha. Elle visait notamment des peuplements de pins d'Alep infestés par la chenille processionnaire, l'un des plus redoutables insectes défoliateurs des forêts. Pour la première fois dans ce pays, on a utilisé un produit à base de *Bacillus thuringiensis*. Dans le sud algérien, **Idder (2011)** a réalisé deux tentatives d'élevage de masse et de lâchers inondatifs de coccinelles prédatrices

de cochenilles et d'acariens. La première tentative concerne la coccinelle coccidiphage *Pharoscyrnus ovoideus* (Sicard) lâchée dans les palmeraies de la région de Ouargla. La deuxième a vu la production et le lâcher de la coccinelle *Sthetorus punctillum* (Weise) pour contrôler l'acarien des dattes *Tetranychus afrasiasticus* (McGregor) communément appelé le boufaroua en Algérie (Idder et Pintureau, 2009).

D. Lutte biologique par conservation

La conservation se focalise sur l'aménagement du biotope et sur la modification des pratiques culturales dans le but d'améliorer l'action des ennemis naturels indigènes contre les populations de nuisibles. Cette stratégie se distingue de la lutte culturale qui vise à influencer directement la population du ravageur.

Dans l'optique de la lutte par conservation, des bandes de végétation sauvage peuvent être établies aux abords de la culture (tournières enherbées). Ces bandes pourront constituer une zone refuge permettant l'hivernation de divers entomophages, ainsi qu'une source de nourriture (pollen, nectar) et d'hôtes ou de proies alternatives (Chaubet, 1992). Une autre manière d'agir est l'installation d'une polyculture, à la place d'une monoculture, qui fournit des conditions plus favorables aux ennemis naturels en diminuant leur probabilité d'émigration (Risch, 1983 ; Ogol et al., 1998). Ces différentes stratégies ne présentent pas le même degré de risque pour l'environnement et les organismes non-cibles. En effet, le devenir de l'agent de lutte biologique diffère. Dans le cas de la lutte biologique classique ou par inoculation cet agent va persister et proliférer dans l'environnement, tandis que dans la lutte biologique par inondation, cet agent va théoriquement décroître significativement dans le temps ne permettant pas son établissement (Lynch et Thomas, 2000 ; Eilenberg et al., 2001).

Il est évident que toute introduction réussie (suivie d'établissement) d'agents de lutte biologique classique est irréversible et peut se concevoir dans une certaine mesure, comme une contamination de l'environnement étant donné qu'elle modifie la composition de la faune présente (Elliot et al., 1996).(Fig. 7).

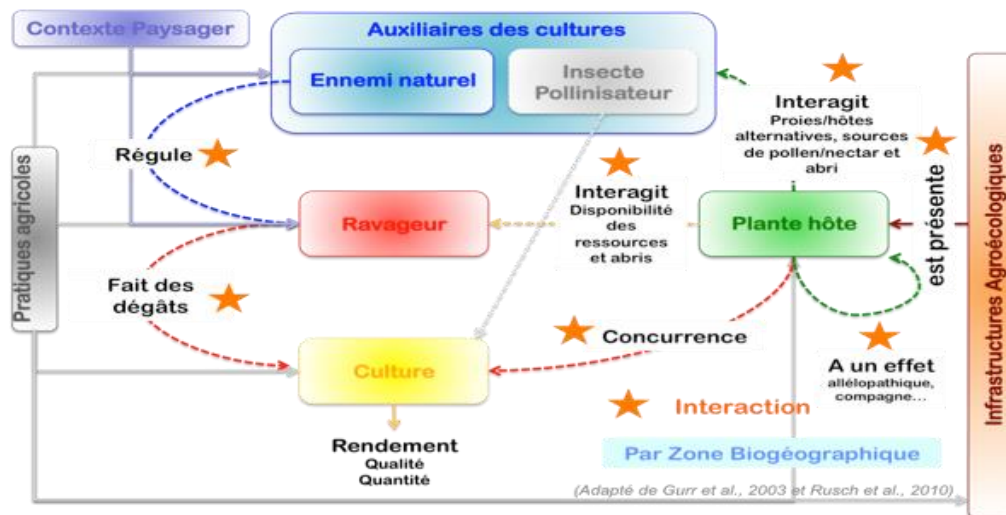


Figure 7 : Schéma Lutte Biologique par Conservation et Gestion des Habitats

E.

Mécanismes d'action des agents de lutte biologique

Les modes d'action impliqués dans la protection biologique de la plante contre les infections sont nombreux. L'implication de deux ou plusieurs mécanismes a été démontrée pour plusieurs agents de lutte biologique (Jacobsen, 2006). Cependant pour certains d'entre eux, leur mode d'action n'est pas précisément défini (Ajouz, 2009).

En écologie, le terme « antagonisme » désigne une inhibition ou une action défavorable d'un organisme vis-à-vis d'un autre à l'intérieur d'une population microbienne mixte (Curl et Truelove, 1986). L'antagonisme se manifeste généralement par une compétition, un hyperparasitisme, l'antibiose, résistance systémique induite, diminution de l'agressivité du pathogène et une modification des propriétés épiphyte. Tous ces modes d'action sont plus ou moins partagés par les agents de lutte biologique, ils contribuent seuls ou en association à protéger la plante contre les agressions pathogènes (Javoy, 2013).

E.1. Compétition

La compétition entre deux ou plusieurs micro-organismes concerne soit les éléments nutritifs, l'espace ou les autres facteurs environnementaux qui deviennent limitatifs pour la croissance.

La compétition trophique est particulièrement intense dans le sol qui est un milieu oligotrophe où les micro-organismes sont essentiellement au repos sous forme de

conservation. C'est l'apport de matière organique, en premier lieu les rhizo-dépôts libérés par le système racinaire, qui va permettre la mise en activité des micro-organismes, dans la rhizosphère des plantes. Seuls les micro-organismes les plus compétitifs pourront tirer profit de cet apport nutritif et tenter de coloniser la racine des plantes (**Javoy, 2013**). La réduction de la concentration en nutriments dans le milieu conduit généralement à un taux réduit de spores germées de l'agent pathogène et un ralentissement de la croissance mycélienne, réduisant ainsi le nombre d'infections et l'expansion des lésions (**Blakeman et Fokkema, 1982**). La compétition trophique est un des modes d'action des souches non pathogènes *delacto buillus* (**Camps et al., 2012**). *Fissurium onusporun*. *Trichoderma spp* et des *Pseudomonas spp*. (**Javoy, 2013**).

Outre la compétition nutritionnelle, la compétition spatiale contribue aussi à la réduction des infections racinaires par les agents phytopathogènes (**Benitez et al., 2004**). En effet, les micro organismes ayant la capacité de coloniser les racines comme les bactéries promotrices de la croissance des plantes « Plant Growth Promoting Rhizobacteria » (PGPR) protègent les racines et occupent les sites d'infection aux agents phytopathogènes (**Egamberdieva et Lugtenberg, 2014**).

Cependant, cette corrélation entre l'importance de la population de PGPR sur les racines et la protection observée n'est, dans certains cas, pas vérifiée et ne peut donc pas être considérée comme une règle générale (**Reyes et al., 2004**). L'idée qu'une rhizobactérie à croissance rapide

Pourrait éliminer les pathogènes fongiques par la compétition pour le carbone et les sources d'énergie fut beaucoup discutée. Le PGPR doit être présent sur les racines en nombre suffisant pour avoir un effet bénéfique et être capable d'instaurer une compétition pour les nutriments dans la rhizosphère (**Haas et Défago, 2005**).

Outre la vitesse de croissance intrinsèque, les autres propriétés renforçant le potentiel colonisateur d'une souche sont la mobilité (présence d'un flagelle) (**Jofre et al., 2004**), le chimiotactisme et la faculté d'utilisation des composés excrétés par les racines en tant que sources de carbone et d'azote (**Gupta, 2003**). La capacité d'une bactérie à inhiber un agent pathogène fongique semble dépendre de l'application d'un inoculum élevé de l'agent de lutte biologique par rapport à l'agent pathogène. Pour rendre cette approche pratique, il est nécessaire de sélectionner ou de développer des souches qui peuvent être appliquées en faible

nombre, mais se multiplier rapidement suite à la diffusion dans l'environnement (**Stephens et al., 1993**).

E.2. Hyperparasitisme

Ce mécanisme de lutte consiste en une interaction directe entre deux micro-organismes où les tissus vivants de l'un constituent une base nutritive pour l'autre (**Helluy et Holmes, 2005**). Il implique l'invasion des cellules de l'agent pathogène par le micro-organisme antagoniste (**Corbaz, 1990**). La rhizosphère qui héberge une large variété de populations microbiennes, constitue un milieu favorable pour l'apparition du parasitisme (**Gagné, 1985**). Le parasitisme et/ou la lyse des champignons par les bactéries de la rhizosphère est facilitée par la production d'enzymes hydrolytiques qui dégradent les parois des cellules fongiques (CWDE : Cell Wall Degrading Enzymes). Les chitinases, sont des enzymes hydrolytiques d'importance majeure, puisque la chitine (polymère linéaire de B-(1-4)-N- acétylglucosamine) est le constituant majeur de la majorité des parois cellulaires des champignons phytopathogènes (**Kishore et al, 2005**).

Les champignons peuvent également être parasites par d'autres champignons (mycoparasitisme). L'exemple de *Trichoderma* qui émet des suçoirs et finalement peut se développer aux dépens des hyphes de *Rhizoctonia solani* par lyse des parois au moyen des enzymes β -1,3 glucanase et chitinase (**Corabz, 1990**).

Valueva et Mosolor (2004) ont montré que les enzymes utilisées par les antagonistes ont souvent une activité en synergie avec les antibiotiques.

E.3. Antibiose

Le terme de l'antibiose s'applique à l'antagonisme exercé par des métabolites toxiques produits par un micro-organisme et qui, libérés dans le milieu ambiant, inhibent le développement d'un autre micro-organisme (**Alabouvette et Davet, 1985**). Ces métabolites produits, à faibles concentrations peuvent inhiber la germination, la croissance mycélienne et/ou la sporulation des agents pathogènes (**Montesinos et al., 2009**). D'autres provoquent la distorsion des hyphes fongiques, modifiant l'aspect des colonies ou entraînant le relargage de composés cellulaires suite à la perturbation de la perméabilité membranaire (**Jijakli, 2003**).

L'antibiose est le mode d'action le plus étudié chez les agents de lutte biologique (**Jacobsen, 2006**) et probablement le mécanisme le plus connu et peut-être le plus utilisé par

les PGPR, pour limiter l'invasion de pathogènes dans les tissus de la plante hôte (**Dong et al., 2002**).

Haas et Kell (2003) ont décrit les conditions de production optimale de ces composés *in vitro*. La production semble optimale dans le cas d'une densité élevée de cellules bactériennes et dans des conditions d'une croissance limitée. Il existe de nombreux exemples de bactéries et de champignons producteurs de composés toxiques. Des substances responsables de l'antibiose ont pu être caractérisées chez des souches appartenant à diverses espèces d'agents de lutte biologique (**Bezert et al., 1996; Dijksterhuis et al., 1999; Haggag et Mohamed, 2007; Javoy, 2013**).

L'exemple de *Trichoderma* qui exerce une action fongistatique à distance par la production d'antibiotiques volatiles atteignant surtout les jeunes hyphes ; phénomène observé surtout chez *T. viride*. Cependant une autre espèce *T. harzianum* inhibe la formation de sclérotés chez *Botrytis cinerea* et *Sclerotinia sclerotiorum*. Les bactéries élaborent fréquemment des antibiotiques freinant ou arrêtant le développement des parasites, comme l'agrocine produite par *Agrobacterium radiobacter* (**Corbaz, 1991**)

E.4. Résistance Systémique Induite (ISR)

A côté de ces modes d'action. L'antagonisme indirect faisant appel aux réactions de défense a été mis en évidence et fait l'objet des travaux de recherche les plus nombreux et les plus prometteurs. La plante répond à tous les stress d'origine biotique ou abiotique par une cascade de signaux moléculaire qui tendent à renforcer sa résistance

Ce phénomène a été mis en évidence chez les plantes en 1991, lorsque des souches non pathogènes de *Pseudomonas* spp. fluorescents ont été décrites comme étant capables d'induire une résistance systémique vis-à-vis de souches de *Fusarium* chez l'œillet (**Van Peer et al., 1991**) et le concombre (**Wei et al., 1991**). Lors du phénomène appelé « ISR », des rhizobactéries non pathogènes peuvent conférer à la plante un certain degré de protection à des attaques ultérieures par un phytopathogène du sol et aérien via la stimulation de mécanismes de défense systémiques (**Paulitz et Matta, 2000**). Cette « immunité » s'initie suite à la perception par la plante de molécules dites élicitrices produites par le micro-organisme bénéfique (**Jourdan, 2008**). Cette reconnaissance des deux partenaires, suivie de la transduction de signaux émis à l'interface et qui vont conditionner la réponse finale, à savoir la mise en place de réactions de défense chez la plante (**Elad et Stewart, 2004**). L'induction des systèmes de résistance chez la plante a été démontrée pour la première fois par **Kempe et**

Sequira (1983). Ces derniers ont remarqué que des pré-traitements par des bactéries ont protégé des tubercules de pomme de terre des infections de *P. solanacearum*. La résistance peut être induite localement ou elle peut être systémique (**Elad et Stewart, 2004**).

L'ISR peut s'établir de différentes façons chez la plante:

- épaississement des structures pariétales renforçant leur rôle de barrière physique (**Klarzynski et Fritig, 2001**);

- stimulation des voies métaboliques secondaires permettant la synthèse de substances antimicrobiennes (comme les phytoaléxines) ou de composés impliqués dans la signalisation de l'agression vers d'autres cellules, voire à l'ensemble de la plante par systémie (acide salicylique, éthylène, acide jasmonique, etc.)

- enfin, accumulation de protéines de défense (ou protéines PR pour "Pathogenesis Related"). Ces protéines, associées à la réponse des plantes aux attaques des agents pathogènes, inhibent certaines enzymes impliquées dans le pouvoir pathogène des micro-organismes (protéases, polygalacturonases), voire dégradent certaines de leurs structures vitales (structures pariétales et membranes plasmiques) (**Brimner et Boland, 2003**).

Les travaux de **Chérif et al. (2007)** ont révélé que la résistance induite à travers l'accumulation de composés phénoliques et de phytoaléxines ainsi que l'activation des peroxydases, des polyphénols oxydases et des enzymes clés des voies des phénylpropanoïdes et des isoflavonoïdes, peut jouer un rôle crucial dans la lutte biologique.

Cette résistance induite entraîne, dans certains cas chez la plante, une protection contre une attaque multiple de plusieurs agents pathogènes (**Elad et Stewart, 2004**). L'induction de résistance systémique chez la plante est décrite chez certains *Trichoderma*, chez *Pythium oligandrum* et chez des bactéries (**Lepoivre, 2003**), telle que l'espèce *Paenibacillus polymyxo* (**Lee et al., 2013**).

L'efficacité de la protection est obtenue sur les parties supérieures de la plante, que les agents de protection biologique soient appliqués dans le sol ou sur les feuilles inférieures de la plante (**De Meyer et al., 1998 ; Elad et Stewart, 2004**).

E.5. Diminution de l'agressivité du pathogène

Au cours du processus infectieux, les activités des pathogènes restent largement de nature biochimique. Les principaux groupes de molécules qui semblent les plus impliqués dans la pathogénicité (maladie) sont les enzymes (cutinases , pectinases , . . .) et les toxines

L'importance de la pathogénicité de ces métabolites varie beaucoup, ainsi que leur importance relative qui peut être différent d'une maladie à l'autre, par exemple, dans les pourritures racinaires, ce sont les enzymes qui sont les plus importantes, alors que dans les belminthosporioses se sont les toxines sécrétées par la photogène dans la plante.

L'action des cutinases se rattache au problème important de la pénétration et de la reconnaissance. La pénétration directe (par les ouvertures naturelles : stomates, cicatrices,...) est particulière à un groupe restreint de pathogènes. Chez *Fusarium solani*, une relation existe entre les quantités de cutinases produites par les spores en germination et le nombre d'infections obtenus. Certains mycètes nécrotrophes, comme *B. cinerea*, induisent des changements profonds dans les parois de l'hôte dès la pénétration du pathogène et des polygalacturonases (une des 3 principales enzymes capables de dégrader la pectine) sont même produites par les conidies non germées.

Les agents de lutte biologique peuvent interférer avec les facteurs du pouvoir pathogène des champignons en inhibant ou dégradant certaines enzymes hydrolytiques (cutinases, pectinases, etc.) (**Jijakli, 2003**), ou par la sécrétion d'une protéase entraînant une réduction de la germination des spores du mycète, ce qui altère ainsi son pouvoir pathogène (**Elad et Kapat, 1999**).

Certains micro-organismes peuvent avoir un effet indirect sur la mise en place de la pathogénèse en modifiant par exemple le pH du milieu (**Manteau et al., 2003**).

E.6. Modification des propriétés épiphytes

Certaines bactéries possèdent la capacité de changer les caractéristiques de surface des feuilles des plantes. Ceci a pour conséquence de gêner le processus d'attachement et de croissance des agents pathogènes sur les feuilles (**Bunster et al., 1989**). Par exemple, certaines bactéries comme *Pseudomonas* spp. sont capables de modifier la mouillabilité de la surface des feuilles et d'interférer ainsi avec le développement de certains agents pathogènes (**Bunster et al., 1989**). *Bacillus brevis* entraîne l'extension et le dessèchement des goulies d'eau sur les feuilles de choux chinois, diminuant les périodes d'humidité sur les feuilles et

empêchant ainsi l'apparition de conditions favorables pour le développement de *B. cinerea* (Edwards et Seddon, 1992)

E.7. Combinaison de mécanismes d'action

Dans certains cas, le contrôle biologique est la résultante de plusieurs modes d'action combinés. Le cas le plus étudié concerne le champignon *Trichoderma* pour lequel différents modes d'action ont été mis en évidence pour une même souche antagoniste, associant par exemple hyperparasitisme et antibiose (Lorito et al., 1993). *T.harzianum*T39 combine à la fois la compétition nutritive, l'interférence avec le pouvoir pathogène de *B. cinerea* et l'induction de résistance de la plante (De Meyer et al., 1998). Le mode d'action de la levure *Candida saitoana* impliquée dans la protection post-récolte de fruits combine à la fois compétition nutritive et pour l'espace, hyperparasitisme et induction de résistance (El-Ghaouth et al., 2001). *Brevibacillus brevis* utilise à la fois un antibiotique, la gramicidine S et un biosurfactant comme mode d'action contre *B. cinerea* (McHugh et Seddon, 2001). Dans le cas de la combinaison de modes d'action chez un agent de lutte biologique, le rôle et l'importance précis de chacun des modes d'action dans le contrôle de la maladie n'est souvent pas connu.

Les souches IC1270 et IC14 de *Serratia plymuthica* produisent de la pyrrolnitrine et des enzymes chitinolytiques (Meziane et al., 2006). Mais aucune preuve de l'implication d'un de ces deux modes d'action dans le contrôle de *Penicillium digitatum* et *P. italicum* en post récolte sur l'orange, n'a été mise en évidence. Il semblerait même que d'autres modes d'action seraient responsables du contrôle de ces champignons pathogènes. En effet, dans le cas de la souche IC1270, les mêmes auteurs suggèrent que la compétition pour les nutriments est le principal mode d'action plutôt que la production de pyrrolnitrine ou d'enzymes chitinolytiques. Pour la souche IC14, le mécanisme d'inhibition de la germination des spores n'est pas clair. Cette inhibition est observée lorsqu'il y a un contact direct entre la bactérie et les spores du champignon, mais pas quand il y a un filtre permettant l'échange de nutriments et de métabolites entre les deux. Les enzymes chitinolytiques ne sont apparemment pas en cause, car l'inhibition complète de la germination des spores a également été observée avec le mutant déficient en enzymes (Meziane et al., 2006).

En 2016, Haidar et al, ont étudié le rôle de *Pantoea agglomerans* LRC 954, *Pseudomonas* sp., *P. fluorescens* LRC 1788, *P. putida* Cha94, *Erwinia herbicola*, *Bacillus* sp.(isolat UYBC38). *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* BL3, *Rahnella aquatilis*. *Xanthomonas*

maltophilia, *Lactobacillus* sp. Et *P. polymyxadans* la lutte biologique contre certaines maladies des plantes, en particulier celles causées par *B. cinereain* vitro et in vivo. Les bactéries sus-citées peuvent protéger les plantes contre *B. cinerea* par des interactions antagonistes directes et indirectes. Les modes d'action comprennent :

- la synthèse de métabolites anti-fongiques, tels que les antibiotiques, les enzymes de dégradation des parois cellulaires et les composés organiques volatils,
- la concurrence pour les éléments nutritifs et/ ou l'espace, et l'induction de la résistance de l'hôte.

Donc, la combinaison de différents modes d'actions est largement considérée comme une Stratégiede lutte biologique contre les agents phytopathogenes (**Romanazzi et al., 2016**).

II.2.4. Avantages de la lutte biologique

En plus de son rôle dans la restauration de la biodiversité dans les écosystèmes, la lutte biologique présente un rôle important dans le contrôle des maladies phytopathogènes.

La lutte biologique est considérée comme une voie alternative à l'utilisation des produits chimiques qui constituent un danger sur l'environnement et sur l'homme. D'après **Thakore (2006)** ces substances ont des conséquences néfastes sur:

-l'environnement comme l'accumulation de résidus et la pollution des sols ;

-l'apparition et la généralisation des mécanismes de résistance chez les pathogènes

-le déséquilibre écologique, dû au fait que beaucoup de ces composés de synthèse ont un large spectre d'action, détruisant non seulement les agents nuisibles, mais également les autres populations de l'écosystème.

La réussite de la lutte biologique nécessite l'application d'un agent de biocontrôle efficace. L'efficacité est notamment liée à la capacité de l'agent de lutte biologique à coloniser et à s'installer dans le milieu rhizosphérique des plantes (**Singh et al., 2003**).Ce paramètre correspond à la compétence rhizosphérique. Cette dernière réside dans l'adaptation de l'agent antagoniste aux conditions biotiques et abiotiques du sol. L'agent aussi doit être doté d'une capacité à coloniser les racines de la plante -hôte (**Whipps. 2001**). En plus de cette compétence. L'agent de biocontrôle doit disposer de divers mécanismes de lutte biologique lui permettant d'inhiber le développement de l'agent phytopathogène et de réduire ainsi l'incidence de la maladie qu'il provoque (**Errakhi, 2008**)

L'efficacité de la protection biologique dépend aussi des conditions de transport et stockage. L'exposition, même temporaire, à des températures excessives, peut dégrader gravement les biofongicides. Au-delà du nombre de cellules vivantes, l'efficacité dépend de leur type (cellules végétatives, spores) et de leur état physiologique (**Irauel, 2005**). La pureté du produit est aussi nécessaire,

La bonne répartition du produit sur la plante, la durée de son efficacité, sa capacité de survie voire de multiplication sont également des qualités essentielles d'efficacité. Ces facteurs dépendent des caractéristiques propres de ces organismes. Ils peuvent être modifiés améliorés par la formulation de l'agent de lutte biologique (**Decoin et al., 2002**). Comme pour un produit chimique, l'application d'un micro-organisme actif par contact sera plus délicate que s'il agit à distance. Un atout important des biofongicides est qu'ils peuvent se multiplier et coloniser les surfaces à protéger donc compenser un éventuel manque de précision à l'application (**Elad et Stewart, 2004**).

II.2.5. Effets négatifs et dangers de la lutte biologique

La lutte biologique n'est pas sans risque pour notre environnement, surtout lors de l'introduction d'espèces exotiques. Elle peut avoir à la fois des conséquences négatives, directes et indirectes (**Malauza, 1999 ; Van Lenteren et al., 2003**).

Les effets directs, issus de perturbations, peuvent être plus facilement perceptibles que les effets indirects, qui peuvent résulter de cascades d'événements. L'importance de ces derniers peut être pourtant plus grande que l'importance des effets directs. En effet, chaque effet direct sur un organisme non-cible est susceptible d'entraîner une multitude d'effets indirects qui peuvent être positifs, négatifs ou neutres. De plus, il est souvent difficile de détecter si ces effets négatifs sont dus seulement à l'agent de lutte biologique lui-même ou s'il y a eu une synergie avec d'autres facteurs, tels que la fragmentation des paysages (**Samways, 1997, Menge, 1997 in Thomas & Willis, 1998**), l'altération de certains écosystèmes, la modification des pratiques culturales, la mise sur le marché de nouveaux pesticides, etc.

Van Lenteren et al. (2003) ont présenté une synthèse des différents effets négatifs dus à l'utilisation d'ennemis exotiques, repris ci-dessous.

A. Effets directs

A.1. Effets sur les phytophages non-cibles

La libération d'agents de lutte biologique peut affecter l'abondance d'espèces non-cibles dans les écosystèmes naturels et semi-naturels. En effet, certains auteurs signalent que ces introductions sont susceptibles d'entraîner de forte réduction, voire l'extinction, d'espèces non-cibles (**Howarth, 1991, Simberloff et Stiling, 1996**). Par contre, d'autres clament que ces craintes sont injustifiées et que ces faits sont peu probables (**Funasaki et al., 1988 in Howarth, 1991**), notamment parce que dans la nature coexistent, à de faibles densités, les phytophages et leurs ennemis naturels sans qu'il y ait eu extinction de ces premiers. En effet, ces ennemis naturels sont une composante de la biodiversité et, bien souvent, ils quittent leurs ressources avant d'avoir entièrement parasité ou mangé leur hôte ou proie. En outre, ces hôtes et proies peuvent échapper à leurs ennemis par divers mécanismes : phénologie différente et isolation spatiale (**Van Lenteren et al., 2003**).

A ce jour, l'étude rétrospective de **Lynch et Thomas (2000)** ne recense qu'une seule extinction. Toutefois, il ne faut pas en conclure l'absence de risques mais simplement que les études manquent. De plus, l'enchevêtrement d'introductions officielles, non-officielles, accidentelles et d'autres facteurs pouvant contribuer à des extinctions locales ne facilitent pas la détermination exacte du rôle et du poids de la lutte biologique dans les extinctions.

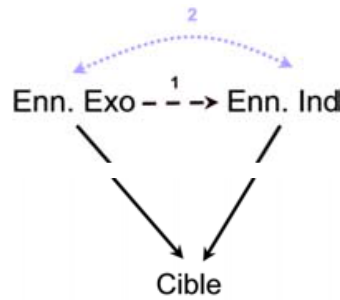
A.2. Effets sur les autres niveaux trophiques : la prédation intragilde et l'hyperparasitisme

Les agents de lutte biologique libérés sont capables d'attaquer non seulement l'espèce phytophage cible, mais également d'autres espèces qui attaquent, elles aussi, ce phytophage. En effet, des phénomènes de prédation intragilde ou d'hyperparasitisme peuvent se produire entre ennemis naturels. Ceci peut affecter la régulation naturelle des phytophages (effets indirects).

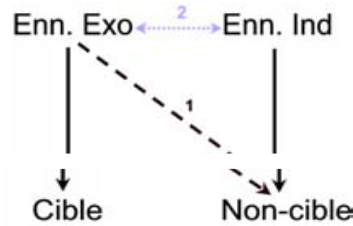
A.3. Propagation de pathogène

La transmission de pathogène est un effet possible mais relevant plus du cas particulier en comparaison avec les deux premiers effets négatifs. En effet, l'ennemi naturel peut dans certains cas être le vecteur d'un pathogène et ainsi agir sur sa propagation dans l'environnement (**Bjorn et Schütte, 2003 in Van Lenteren et al., 2003**) (**Fig. 8**)

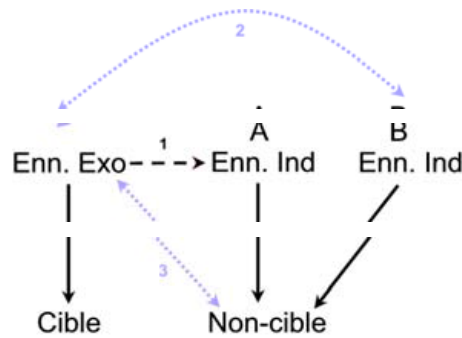
A. (1) attaque de l'ennemi indigène – Enn. Ind - par l'ennemi exotique – Enn. Exo - (prédation intragilde ou hyperparasitisme), (2) compétition pour la ressource (cible).



B. (1) attaque d'un organisme non-cible, (2) compétition avec un ennemi indigène pour l'organisme non-cible



C. (1) attaque d'un ennemi indigène (A), (2) compétition avec un autre ennemi indigène (B) pour l'organisme non-cible, (3) l'organisme non-cible échappe à la prédation de l'ennemi indigène (A).



D. (1) attaque de l'ennemi exotique par l'ennemi indigène, (2) compétition apparente entre l'ennemi exotique et l'organisme non-cible vis-à-vis de l'ennemi indigène ou transfert préférentiel du pathogène vers l'organisme exotique plutôt que l'organisme non-cible.

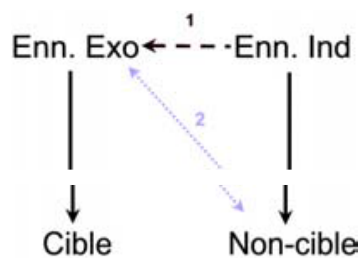


Figure 8 : Schéma de quelques interactions directs – tirets gris - et indirects - pointillés noirs - lors de l'introduction d'un ennemi exotique (d'après Van Lenteren et *al.*, 2003, modifié et adapté).

B. Effets indirects

B.1. Compétition

L'agent de lutte biologique va attaquer et réduire la population de phytophages. Ainsi cet agent peut affecter alors négativement d'autres ennemis naturels qui se nourrissent de cette même ressource alimentaire. De plus lorsque l'agent de lutte biologique et les autres ennemis naturels exploitent une même ressource, il se peut que seule une de ces espèces survive (compétition par exclusion).

L'effet d'enrichissement est un effet peu fréquent et peut aboutir à de la compétition apparente. En effet l'agent de lutte biologique peut être une source additionnelle de nourriture pour d'autres ennemis naturels (prédateur intraguilde ou superprédateur, hyperparasitoïde) et modifié la pression de prédation sur les proies courantes.

B.2. Autres effets indirects

Des effets indirects secondaires peuvent être issus d'effets indirects suite à des cascades d'effets. Mis à part les effets liés aux interactions trophiques, des effets peuvent affecter les besoins non-alimentaires requis pour la survie des espèces non-cibles, comme la protection, la pollinisation ainsi que la dispersion.

B.3. Hybridation

Outre les perturbations écologiques, la libération d'agents de lutte biologique peut également dans certaines situations conduire à des changements génétiques des populations présentes dans l'écosystème. Un des mécanismes est l'hybridation entre les agents de lutte biologique et des biotypes indigènes.

La comparaison des effets négatifs entre la lutte biologique et la lutte chimique montre, dans une certaine mesure, que contrairement à la lutte chimique, la lutte biologique est irréversible (**Howarth, 1991 ; Samways, 1997 ; Thomas et Willis, 1998**). Une fois qu'une espèce est introduite dans une nouvelle région, si elle s'y maintient, il sera quasi impossible

de la déloger. Par contre, il est toujours possible d'arrêter la lutte chimique si les effets adverses sont détectés à temps. Néanmoins, un certain problème d'irréversibilité peut se rencontrer avec des pesticides ayant une longue persistance d'action, bioaccumulables (organochlorés) ou conduisant à la formation de métabolites persistants.

Chapitre III : Lutte biologique via les coccinelles: Etat de la question**Introduction**

Près de 6000 espèces des Coccinellidae sont connues dans le monde entier (Vandenberg, 2002). Elles ont une grande importance économique en tant que prédateurs tant au stade larvaire qu'adulte sur divers parasites importants des cultures, tels que les pucerons, les acariens et d'autres insectes (Hippa et al., 1978; Kring et al., 1985). Leur cycle de vie est achevé en un mois en fonction de la proie, de l'emplacement et de la température. Deux ou trois générations sont généralement produites en un an. Les adultes hivernent dans des sites protégés (Magirus et Cairns, 1989).

Les coccinelles constituent un groupe important de coléoptères à la fois d'un point de vue économique dans leur utilisation en tant qu'agents de contrôle biologique et dans leur diversité et adaptation à un certain nombre d'habitats différents (Michels., 1987). Environ 90% des espèces sont des prédateurs de pucerons, Aleurodiphage, larves de chrysomélidés et acariens, Le reste étant herbivore ou mycophage (Vandenberg, 2002).

La répartition géographique des coccinelles a été abordée également par Iperti (1999), il rapporte que les prairies des zones tempérées de l'Europe et de l'Amérique du nord, qui sont infestées par les pucerons (Homoptères, Aphididae) contiennent des Coccinellidae appartenant aux tribus des Coccinellini, et aux Scymnini.

La coccidofaune de l'Algérie est également relativement bien documentée (Saharaoui et Gourreau 1998, Kovář 2007, Saharaoui et al. 2014). Au cours d'une récente enquête deux espèces répertoriées pour la première fois en Algérie *Oenopia dublieri* et *Psyllobora vigintiduopunctata*, qu'il convient d'ajouter à la liste (Lakhal et al., 2018).

III.1. Généralités sur les Coccinelles

La faune auxiliaire constitue l'un des principaux facteurs de limitation des ravageurs. Parmi cette faune, les coccinelles constituent un groupe entomophage susceptible de jouer un rôle important dans la réduction des populations de pucerons et de cochenilles (Sahraoui et Gourreau, 1998).

A. Systématique

Les coccinelles font partie de la famille des coccinellidae qui comprend environ 6000 espèces connues et réparties dans le monde entier. Elles font partie de l'ordre des Coleoptera, du sous-ordre des Polyphages et à la super famille des Cucujoide (**Vandenberg, 2002**).

B. Morphologie

Selon **Vandenberg (2002)**, les coccinelles sont relativement difficile à caractériser au niveau de la famille. Elles se présentent sous quelques formes peu caractéristiques et les critères morphologiques confirmant leur appartenance à cette famille sont par fois difficilement visibles à l'œil nu.

Les coccinelles se différencient des autres Cucujoidae par les palpes maxillaires dont le dernier segment est sécuriforme. Le métasternum et le premier segment abdominal pourvu d'une suture fémorale. La présence des cinq paires des tégmates fonctionnels, des élytres jamais tronqués à l'apex et en fin une tête non recouverte par rebord antérieur du pronotum (**Hamiti et Bouchaala, 2013**).

Les coccinelles ne dépassent jamais plus de 1 cm de taille et pouvant descendre au-dessus de 1 mm pour les formes réduites par exemple : *Clitostethus arcuatus* Weise et *Stethorus punctillum* Weise, leur forme est régulièrement arrondie, presque hémisphérique ou ovale, convexe, au corps glabre ou pubescent (**Balachowsky, 1962 in Saharaoui et Gourreau, 1998**).

La tête est rétractée et les antennes, courtes, se terminent par une petite massue. Les élytres sont convexes, glabre sous éparées l'une de l'autre par une suture sans impression, à ponctuation plus ou moins inégal, simple ou double. La fusion de deux élytres donne la forme ovale du corps chez la plupart des espèces. L'apex peut être pointu ou en demi-cercle. La coloration élytrale est souvent variable chez la même espèce (**Hamiti et Bouchaala, 2013**).

Les œufs des coccinelles sont généralement de forme ovale allongée mais peu rétrécie vers les deux extrémités. Plus ou moins effilée ou arrondie à l'apex. Leur taille varie

Selon l'espèce : de 0.38 à 2.5 mm. Ils sont généralement pendus isolés ou en groupe au niveau des feuilles ou des écorces d'arbres (**Saharaoui et Gourreau, 1998**).

La larve chez les coccinelles comprend quatre stades dont la durée et la taille varient selon les espèces et la température. Elle présente une morphologie assez comparable. Corps allongé hérissé de ou de tubercule en relief et munie de longues pattes. Tête hypognathe transversale,

sétifère, légèrement rétrécie à ces deux extrémités (**Figure 9 et 10**). (**Hamiti et Bouchaala, 2013**).

Les dimensions des nymphes sont variables d'une espèce à une autre, mesurant entre 1.66mm de long et 01mm de large chez les *Stethorus*, un peu plus chez d'autres espèces. La coloration est toujours bigarrée et plus ou moins spécifique. En générale, elles sont fixes au substrat par la partie postérieure de l'exuvie nymphale et de meure attachée par ce point après la sortie de l'adulte (**Saharaoui et Gourreau, 1998**).

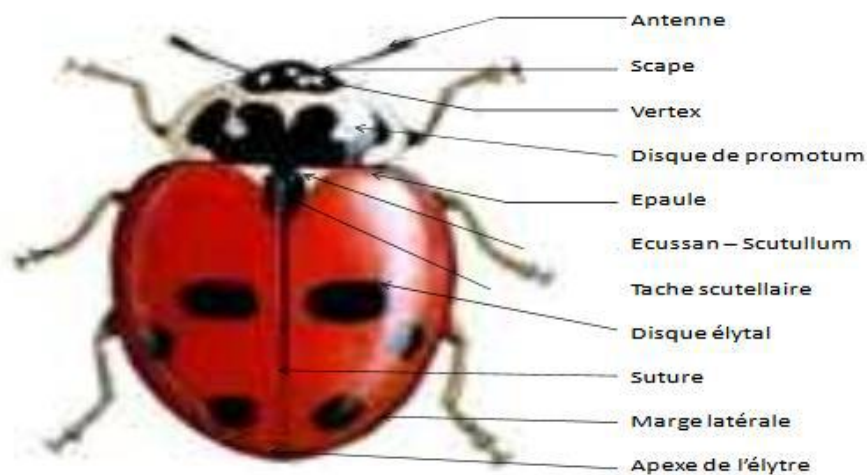


Figure 9 : Face dorsale d'une coccinelle (Hamiti et Bouchaala, 2013).

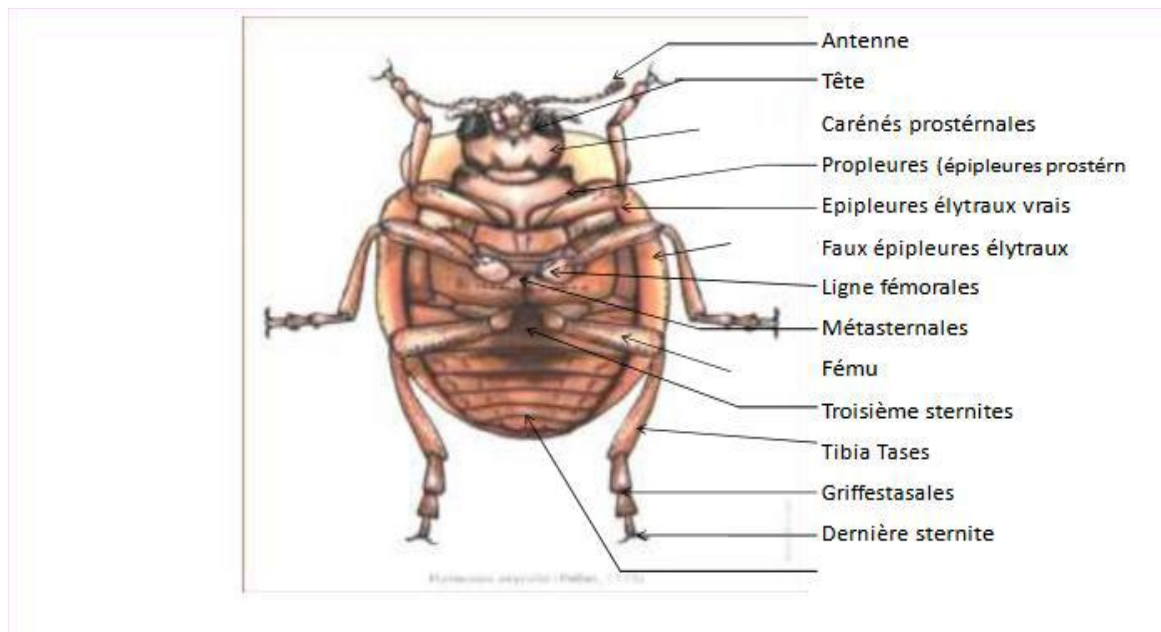


Figure 10 : Face ventrale d'une Coccinelle (Hamiti et Bouchaala, 2013).

C. Cycle biologique et nombre de générations

La majorité des coccinelles sont actives entre les mois de mai et juillet, c'est aussi la période de multiplication de toutes les coccinelles (**Saharaoui, 1994**). Leur cycle de développement comprend 4 stades larvaires séparés du stade adulte par une nymphale (**Saharaoui et Gourreau, 1998**).

La durée du cycle dépend des conditions climatiques (température, humidité, relative et photopériode) et l'abondance de la nourriture, chez les plupart des coccinelles, elle est d'un mois environ. Chez les phytophages, elle est de deux mois (**Iperti, 1986**).

Le nombre de génération varie d'une région à une autre et d'une espèce à une autre. Dans un cycle on peut rencontrer jusqu'à trois générations par an, (**Figure 11**). (**Hamiti et Bouchaala, 2013**).

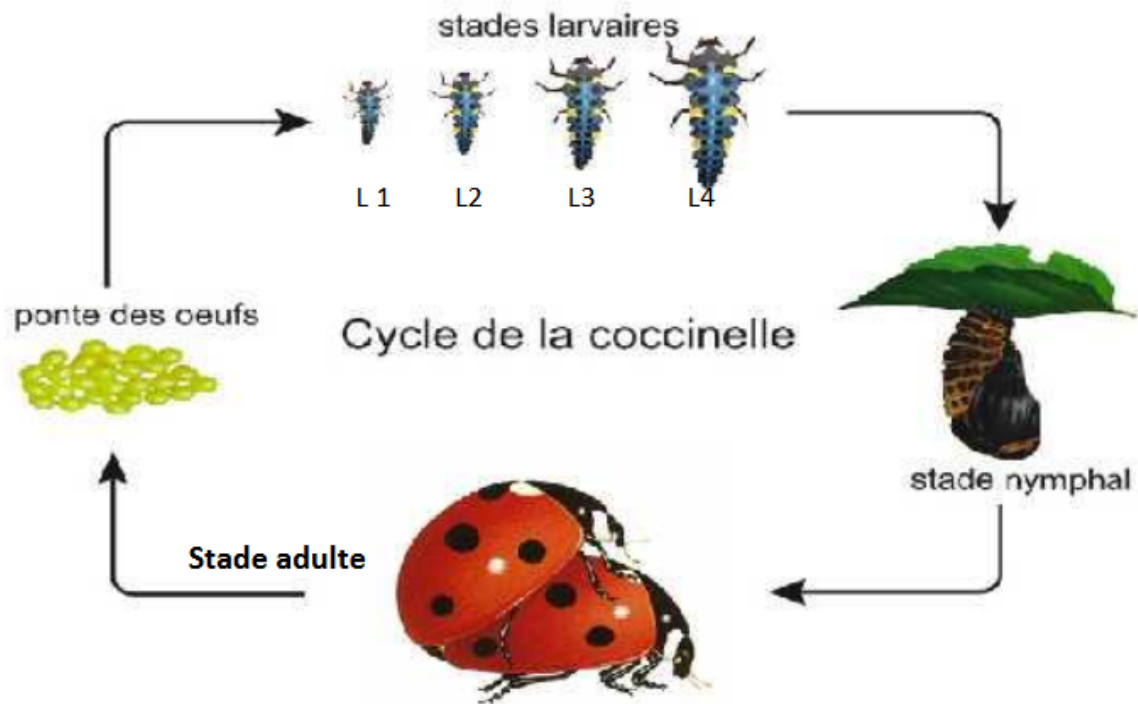


Figure 11: Cycle biologique d'une coccinelle (Hamiti et Bouchaala, 2013).

D. Spécificité alimentaire

Dans une précédente étude de **Saharaoui (1994)**, qui a déterminé six régimes alimentaires chez les coccinelles recensées : aphidophage (55,81%), coccidophage (27,90%), mycophage (6,97%), phytophage (4,64 %), aleurodophage (2,32 %), acarophage (2,32%).

Comme l'a déjà signalé **Iperti (1965)** in (**Saharaoui et Gourreau, 1998**), il est important de souligner l'absence totale de monophagie chez les coccinelles entomophages. Cela s'explique par la présence de deux types de nourriture :

- Une nourriture essentielle ou préférentielle, qui assure au prédateur la reproduction,
- Une nourriture alternative ou de remplacement : elle assure en quelque sorte la survie plus ou moins prolongée des adultes sexuellement inactifs. Elle est constituée de petites larves et d'œufs d'insectes, d'acariens, de spores de champignons, de miellat et de débris végétaux.

D.1. Coccinelles aphidiphages

Les coccinelles aphidiphages, ne renferment pas moins de 24 espèces dont 14 de grande taille et 10 de petite taille, réparties dans six tribus, les plus importantes étant celles des

Coccinellini (9 espèces) et des *Scymnini* (8 espèces). Dans leurs formes larvaires et adultes, sont des destructeurs très actifs de pucerons. Leur rôle régulateur sur les déprédateurs est aussi important que celui *dessyrphes* et des chrysopes (Saharaoui et Gourreau, 2000). (fig. 12).



Figure 12 : *Coccinella hieroglyphica*, (Latreille, 1807)

D.2. Coccinelles coccidiphages

Les coccidiphages constituent le groupe entomophage le plus important en Algérie et joue un rôle intéressant pendant toute l'année végétative.

Dans le Nord il est représenté surtout par les espèces: *Chilocorus bipunctatus*, *Nephus peyerimhoffi*, *Rodolia cardinalis*, *Phoroxymnus srtulosus*, *Rhyzobius lophantrre* et *Scymnus (Mimopullus) mediterraneus*. La majorité de ces prédateurs s'alimentent de diverses diaspines et larves de Lécanines inféodées aux arbres et arbustes (Saharaoui et Gourreau, 2000).

Les espèces *Phraoscymnus ovoideus* et *Ph. numidicus*, semblent être parfaitement acclimatées dans les régions du Sud-est algérien, elles contribuent efficacement à la régulation des populations de la cochenille *Parlatoria blanchardi* qui ravage actuellement la quasi totalité des palmeraies algériennes. Dans la région de Batna, ces espèces s'attaquent surtout à la cochenille *Parlatoria oleae* inféodées aux arbres fruitiers. (Saharaoui et Gourreau, 2000). (fig. 13)



Figure 13 : *Rodolia cardinalis* (Mulsant, 1850)

D.3. Coccinelles mycophage

Elles sont au nombre de trois : *Psyllobora (Thea) vigintiduopunctata*, espèce très commune sur les plantes arbustives, *tythaspis phalerata*. vivant sur des graminées et *Rhizobius chrysoloides*. Rencontrée le plus souvent sur arbres et arbustes. Ces trois prédateurs Se nourrissent de champignons du groupe des Oïdiums (Saharaoui et Gourreau, 2000). (fig. 14).



Figure 14 : *Psyllobora vigintiduopunctata* (Linnaeus, 1758)

D.4. Coccinelle acarophage

L'espèce *Stethorus punctillum* est l'unique coccinelle acarophage identifiée. Sa particularité est de développer des descendances viables spécialement au dépend des acariens du groupe des Tétranyques.

Dans La région du Nord d'algérie, les larves et les adultes se nourrissent surtout des acariens :

Tetranychus cinnabarinus, *Tetranychus urticae*, *Tetranychus atlanticus* et *Tetranychus turkestanii* espèces inféodés notamment aux Citrus, *Iochroma tubulosa*, *Nerium oleander*, *Salpichroa origanifolia*, *Morus sp* et à diverses rosacées cultivées, Dans le sud-est, ce prédateur semble avoir un taux de multiplication plus élevé lorsqu'il se nourrit de l'Acarien *Oligonychus afrasiaticus* sur palmier dattier. Comme toutes les autres Coccinelles, les adultes prospectent divers végétaux infestés par d'autres Acariens comme *Lorrya formosa*, *Aceria scheldoni*, *Panonychus ulmi*, *Eoretranychus pruni* et *Cenopalpus pulcher* (Saharaoui et Gourreau, 2000). (fig. 15).

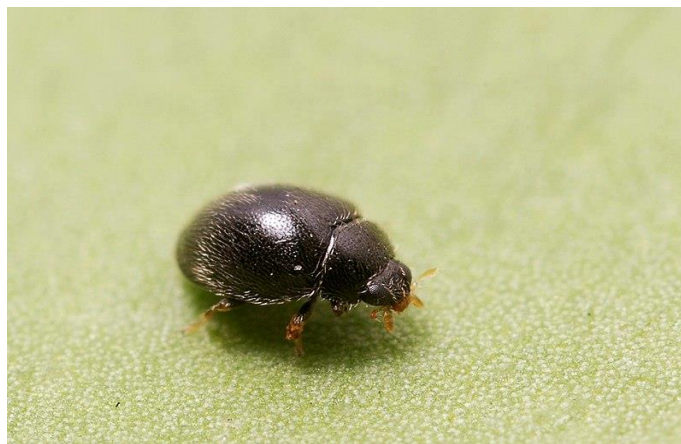


Figure 15 : *Stethorus punctillum* (Weise, 1885)

D.5. Coccinelle aleurodiphage

Clitostethus arcuatus est la seule coccinelle qui manifeste une activité prédatrice sur des

aleurodes et spécialement ceux des Citrus, où elle peut exercer avec succès un contrôle économique des pullulations des espèces *Aleurothrixus floccosus*, et *Dialeurodes citri*.

Au Sud-Est Algérien, ce prédateur est très actif sur diverses cultures maraichères infestées de *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporarium* (aubergine, courgette, poivron) (Saharaoui et Gourreau, 2000). (fig. 16).



Figure 16 : *Clitostethus arcuatus* (Rossi, 17941)

D.6. Coccinelle Phytophages

Ce groupe, qui est presque insignifiant numériquement, consomme les végétaux, mais pas suffisamment considérée comme nuisible. Toute fois, on verra plus loin qu'une espèce de coccinelle asiatique importée pour la lutte biologique contre les pucerons (donc considérée comme essentiellement aphidiphages), est occasionnellement phytophage et fait quelques dégâts en arboriculture fruitière (Hamiti et bouchaala, 2013). (fig. 17).



Figure 17 : *Epilachna pavonia* (Olivier, 1808)

E. Prédateur des coccinelles

Les coccinelles sont toutes les victimes potentielles d'un grand nombre de prédateurs entomophages tels que les oiseaux, les araignées et d'autres insectes (**Balduf, 1935**) dans (**Hamiti et bouchaala, 2013**).

La plupart des coccinelles peuvent produire un liquide répulsif à forte odeur qui leur confère un goût désagréable et qui peut même les rendre toxiques lorsqu'elles sont ingérées (**Vandenberg, 2002**).

F. Utilisation des Coccinelles en lutte biologique

Parmi les auxiliaires prédateurs et parasitoïdes, utilisés en lutte biologique, les coccinelles occupent une place importante.

Les paysages agricoles modernes sont constitués de larges surfaces cultivées séparées par des fragments d'habitats naturels plus ou moins altérés par les activités humaines (**Casmann et al. 2005, Reisner et al. 2007, Fahrig et al. 2011**). Les cultures sont sensibles aux ravageurs car les champs sont fréquemment perturbés par des pratiques culturales qui empêchent le développement de réseaux trophiques complexes stables. Or, ces réseaux sont susceptibles de contribuer à la régulation de ces ravageurs (**Murdoch et al. 2003, Wratten et al. 2013**). Les insectes herbivores émigrent et colonisent les nouvelles cultures à partir de refuges dans les cultures ou les habitats naturels adjacents, bénéficiant éventuellement de la concentration spatiale de leurs plantes-hôtes (**Root 1973, Stephens et Myers 2012**). Les ennemis naturels ont en général un taux de dispersion plus faible que les herbivores et leur fécondité individuelle est également plus faible. Ils sont désavantagés si les refuges sont rares ou s'ils sont trop éloignés des cultures. Les herbivores peuvent ainsi bénéficier d'un « *enemi free space* » (**Bianchi et al. 2006, Grabenweger et al., 2007**) qui pourrait expliquer pourquoi les agriculteurs ont tendance à utiliser plus d'insecticides dans des paysages simplifiés (**Meehan et al., 2011**) bien que ce point de vue soit critiqué par **Larsen (2013)**.

La lutte biologique par conservation a pour ambition de corriger cette situation déséquilibrée favorisant les herbivores en aménageant les paysages cultivés pour les rendre plus favorables aux ennemis naturels (Landis et al. 2000, Zehnder et al. 2007, Jonsson et al. 2008, Wratten et al. 2013). De la diversité végétale est ajoutée aux paysages agricoles de manière à fournir aux ennemis naturels des abris qui leur permettent de survivre les périodes au cours desquelles les conditions environnementales leur sont défavorables, ou des sources alternatives de nourritures pour leur permettre de se nourrir en l'absence de leurs proies préférentielles. Les ennemis naturels peuvent ainsi avoir accès à des herbivores se développant sur des plantes sauvages ou se nourrir de pollen et de nectar produits par des fleurs sauvages (Landis et al., 2000). Grâce à ces aménagements, on espère une meilleure synchronisation entre l'arrivée des herbivores et de leurs ennemis naturels dans les champs pour obtenir une réponse numérique des ennemis naturels à leurs proies qui soit plus forte. La combinaison de ces deux effets est susceptible de conduire à une régulation biologique efficace (Agrawal et al., 2006). Malheureusement, si les aménagements écologiques des paysages agricoles ont un effet bénéfique sur l'abondance des ennemis naturels, ces derniers contribuent rarement à la régulation des populations de ravageurs (Chaplin-Kramer et al., 2011). Cette situation s'explique probablement par des carences dans la compréhension du comportement des ennemis naturels, voire de la non-prise en compte des comportements adaptatifs dans la conception de stratégies de lutte biologique ainsi que dans les relations entre la biodiversité et l'expression des services écosystémiques (Hemptinne and Dixon 1991, Fahrig et al., 2011, Bommarco et al., 2013).

Selon De l'assus et al. (1931), in Doumandj-mitiche et Doumandj (1993), en Algérie trois cas d'utilisation des Coccinelles en lutte biologique sont à noter. Il s'agit de l'acclimatation de:

- *Novius cardinalis* (Coleoptera, Coccinellidae) pour lutte contre la cochenille
- australienne *Icerya purchasi* (Homoptera, monophlebinae) des Agrumes en 1922 dans la région de Boufarik.
- *Pharoscymnus ancharago Fairm* (Coleoptera, Coccinellidae) prédateur de la
- cochenille blanche du Palmier-dattier Par la *toria blanchardi* Targ (*Homoptera, Parlatorinae*) en 1925, dans la région de Bèchar avec Balachowsky.
- *Cryptoloemus Montrouzieri Muls* (Coleoptera, Coccinellidae) prédateur de la

- cochenille farineuse *Pseudococcus citri* (Homoptera, Pseudococcidae) des agrumes en 1931, au jardin d'essai du Hamma (Alger) avec Trabut.

H. Diversité des Coccinelle en Algérie

H.1.Composition du peuplement des coccinelles algériennes

La richesse et la diversité spécifique des peuplements croissent avec la complexité structurale des milieux (**Barbault, 1981**). Dans la plupart des cas le rôle déterminant est attribué à la diversité structurale proprement dite, c'est-à-dire à l'hétérogénéité du milieu. Certains auteurs ont aussi suggéré que la diversité spécifique des plantes pouvait être par elle-même une cause importante de la diversité de certains peuplements d'insectes (**Muedoch et al., 1972; Heithaus, 1974; Lachaise, 1979**).

En Algérie, la faune des coccinelles comprend 48 espèces dont 46 sont des agents de lutte biologique susceptibles de jouer un rôle dans la protection des plantes contre certains bioagresseurs. Les espèces répertoriées se répartissent dans huit sous-familles, 12 tribus et 23 genres. Il ressort clairement que la quasi-totalité de la faune des coccinelles d'Algérie se rattache à la région paléarctique et ce malgré le climat aride et saharien qui caractérise la plus grande partie du territoire. Dans le cadre de ce travail une nouvelle liste des coccinelles d'Algérie a été établie.

En comparant cette liste avec la littérature (travaux de **Balachowsky (1925 et 1927)** et **Peyerimhoff (1926)** qui ont travaillé sur la faune de l'Afrique du nord, on constate que de nouvelles espèces sont apparues c'est le cas des coccinelles: *P. ovoideus* (Espèce introduite d'Iran par Medkouri au Maroc), *P. numidicus*, *E. nigripennis*, *H. marmottani* et *Scymnus (Pullus) sp.*, alors que d'autres ont disparues sous l'effet des contraintes climatiques et l'utilisation abusive des pesticides notamment au sud algérien, il s'agit de *Coccinella (Thea) thuriferae* (Sicard 1923), *Novius cruentatus* (Mulsant), *Hyperaspis (Oxynichus) gutturalis* (Fairmaire), *Scymnus kiesenwetteri* (Mulsant), *Pharoscymnus anchorago* (Fairmaire) et *Chryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (espèce introduite). D'autres, par contre, sont toujours présentes mais leur aire de distribution a été soit réduite ou modifiée (*Exochomus pubescens* (Kugelann) et *Exochomus anchorifer*. Enfin, les espèces *Chilocorus bipunctatus* et *Pharoscymnus setulosus* contrairement au passé, actuellement elles montrent une large plasticité écologique dans le nord d'Algérie notamment sur les agrumes (**Sahraoui, 2017**)

H.2. Répartition géographique des coccinelles

Whittaker (1998) Rapporte que la distance joue un rôle de filtre progressif, avec de moins en moins d'espèces typiques du continent ou de la source, au fur et à mesure qu'on s'en éloigne.

En effet, l'éloignement des secteurs du sud par rapport à ceux du nord diminue l'immigration et le déplacement des coccinelles. Cela explique clairement la faible richesse spécifique des coccinelles répertoriée dans les secteurs du sud algérien (**Sahraoui 2017**). La théorie de **Mac Arthur & Wilson (1967)**, affirme que l'éloignement du continent diminue l'immigration, ce qui rend la richesse spécifique plus faible. Cette même théorie peut être un outil majeur pour appréhender la diversité des coccinelles, car la fragmentation du milieu (d'origine bioclimatique et anthropique) crée une multitude de domaines de tailles variables, allant d'un domaine du tell méridional à un domaine maghrébin saharo méditerranéen entre coupé par un domaine maghrébin steppique.

Selon **Sahraoui, (2017)** Les résultats indiquent que:

- Les secteurs du nord d'Algérie sont beaucoup plus homogènes.
- La richesse spécifique est plus élevée dans le secteur algérois (41 espèces) que celui de l'oranais (36 espèces), elle-même beaucoup plus grande que le secteur numidien (28 espèces).
- La diversité des coccinelles du secteur numidien (28 espèces) s'est avérée faible par rapport à des Hauts plateaux (30 espèces)
- L'Atlas Saharien qui est considéré comme une barrière séparant le nord du sud algérien, entraîne une richesse spécifique assez faible avec 12 espèces.

169

- Au sud algérien, où domine le Palmier dattier, les oasis du Sahara septentrional (16 espèces) peuvent servir de refuges pour la quasi-totalité des espèces de coccinelles constituant ainsi des îles.
- Le Sahara central et le Sahara méridional peuvent être considérés comme des îles, ce qui explique la faible richesse spécifique enregistrée dans ces secteurs désertiques (10 et 5 espèces).
- Certaines coccinelles sont de remarquables indicateurs biologiques du fait de leur répartition dans tous les secteurs géographiques et de leurs caractérisations climatiques et trophiques. C'est le cas des espèces *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia (Adonia) variegata*, *S. punctillum* et *H. argus* qui présentent en Algérie une large plasticité écologique.

H.3. Influence des facteurs climatiques, trophiques et spatiaux sur le comportement naturel des coccinelles

Les communautés animales sont sous la dépendance du climat, des peuplements végétaux, de leur répartition spatiale et de la topographie du milieu, les coccinelles n'échappent pas à cette règle. Chaque espèce occupe une niche écologique qui lui est propre mais qui peut varier en cours de cycle (Chaubet, 1992). L'hétérogénéité spatio-temporelle de l'abondance des proies et sa prévisibilité sont déterminantes pour la distribution des coccinelles. Suivant les conditions de l'environnement et leurs cycles de vie, les coccinelles effectuent des déplacements dans le temps et dans l'espace, notamment entre les milieux d'alimentation, de reproduction et d'aestivo-hivernation (Iperti, 1983). Le degré de spécialisation des espèces vis-à-vis de leurs ressources, affecte leurs distributions géographiques ainsi que leurs capacités à coexister. Cette spécialisation détermine en grande partie la richesse et la nature des patrons de biodiversité que l'on observe au sein des écosystèmes (Futuyma, 2001).

D'après Sahraoui (2017), les caractéristiques climatiques des secteurs géographiques agissent directement sur la richesse spécifique des coccinelles algériennes. Les secteurs du nord connus par des bioclimats humides, semi-arides et sub-humides abritent le plus grand nombre d'espèces de coccinelles, avec respectivement 28, 32 et 41 taxons. Dans les secteurs du sud la richesse spécifique demeure faible en raison du climat très rigoureux où les températures dépassent souvent 40°C. Elle n'excède pas 16 espèces dans le Sahara septentrional, 10 taxons dans le Sahara central et seulement 5 espèces dans le Sahara méridional.

H.4. Interaction entre les coccinelles et leurs guildes

Les coccinelles en général, partagent leur nourriture avec d'autres consommateurs qui peuvent parfois influencer leur développement normal en raison de la compétition qu'ils exercent, quand la nourriture est rare ou insuffisante. la relation qui existe entre les coccinelles et les autres prédateurs de la même guildes. Ainsi, sur céréales le chrysope *Chrysoperla carnea* et le syrphe *Episyrphus balteatus* sont les principaux compétiteurs des coccinelles. que ces deux prédateurs ne peuvent concurrencer les coccinelles, en raison de leur impact de prédation très limité, car seules 172 quelques larves isolées de ces espèces ont été dénombrées au milieu des colonies du puceron *R. padi* sur céréales. Ces deux prédateurs interviennent en générale juste après les pontes des coccinelles *C. septempunctata* et *H. variegata*. Aucune larve aussi bien de chrysope ou de syrphe n'a été dénombrée avec celles

des coccinelles dans la même colonie de pucerons, ce qui prouve que ces prédateurs s'évitent entre eux, et ne veulent pas entrer en compétition interspécifique et inter-guilde. (Sahraoui, 2017).

Selon Sahraoui, (2017) Sur agrumes, les coccinelles aphidiphages et coccidiphages partagent leur nourriture avec plusieurs consommateurs de la même guildes. Chez les aphidiphages, en plus des coccinelles, les pucerons sont attaqués par des Aphelinidae, des Ceccidomyiidae, des Anthocoridae, des Syrphidae et des Chrysopidae. Les parasites *Aphytis* sp et *Lysiphlebus ambiguus*, sont les premiers à s'attaquer aux pucerons *Toxoptera aurantii* et *Aphis citricola* qui s'installent avec la première poussée de sève au début du printemps. Ces parasites, partagent souvent la nourriture avec la coccinelle *S. subvillosus* et la cécidomyie *Aphidolites aphidimyza*. Ces deux prédateurs vont par la suite concurrencer les parasites, ce qui explique la chute du nombre de pucerons parasites et l'apparition des larves de la cécidomyie et de la coccinelle. La disparition des larves de *A. aphidimyza*, vont céder la place à la coccinelle *S. subvillosus*. L'anthocoridae, *Anthocoris nemoralis*, le chrysope *Chrysoperla carnea* et le syrphé *Episyrphus balteatus* interviennent lors des fortes infestations des pucerons (mai – juin), mais elles ne peuvent concurrencer la coccinelle *S. subvillosus*, qui développe au moins deux générations sur la première et la deuxième poussée de sève qui interviennent durant la période hiverno-estivale. Contrairement aux aphidiphages, la guildes coccidiphage est limitée aux parasites, aux coccinelles et un minuscule nutilidae (*Cybocephalus* sp). En contre partie, ces ennemis naturels trouvent sur agrumes une nourriture très variée composée de pas moins de 10 espèces de cochenilles. Au sud algérien, les deux *Pharoscymnus*, *P. ovoideus* et *P. numidicus*, partagent leur nourriture avec le nutilidae *Cybocephalus nigriceps palmarum* (Peyerimhoff), le Chrysopidae *Chrysopa vulgaris*(Barnolai) et le parasite Aphelinidae *Aphytis mytilaspidis* (Le Baron).

H.5. Renforcer et protéger le peuplement des coccinelles algériennes

La production et les lâchers massifs des coccinelles autochtones restent l'alternative la plus prometteuse tout en espérant que la biotechnologie va contribuer à résoudre les problèmes liés aux coûts très élevés de la production de la nourriture des coccinelles. En Algérie, plusieurs espèces de coccinelles peuvent contribuer efficacement à la régulation des populations de pucerons et de cochenilles. Néanmoins, elles sont généralement inégalement réparties ou absentes dans certains biotopes. Il est donc nécessaire de renforcer leurs populations par des lâchers inondatifs ou les attirer par la manipulation des agro-écosystèmes classiques, soit en le complexifiant ou en y ramenant une partie de la végétation d'origine. C'est le cas des espèces *A. bipunctata*, *O. lyncea*, *C. undecimpunctata*, *C.*

quatuordecimpunctata, *H. algerica* et *H. tredecimpunctata* chez les aphidiphages et *E. quadrimaculatus* et *E. anchorifer* chez les coccidiphages. (Sahraoui 2017)

Dans le sud, les oasis, par leurs associations culturales, induisent des conditions microclimatiques favorables au développement des coccinelles. De plus, le caractère insulaire des oasis, cernés par le désert, supprime l'existence d'une végétation refuge environnante qui joue dans d'autres régions le rôle de réservoir. Il convient donc d'être vigilant et bien renseigner sur la biocénose complexe qui gravite autour de la palmeraie afin de pouvoir gérer mieux son équilibre biologique par l'aménagement de son agro écosystème. A cet effet, nous sommes arrivés à maintenir dans la région de Biskra depuis 2005 les populations des coccinelles *C. septempunctata* et *H. variegata* dans une parcelle de trèfle entourée d'arbres de Cyprès verts. Une partie des populations de ces deux coccinelles migrent au printemps vers les champs de fève et les cultures maraîchères sous abris plastiques. (Sahraoui 2017).

L'utilisation d'attractants peut être envisagée pour attirer les coccinelles plus hâtivement dans les cultures. Les travaux d'Ewert et Chiang (1966) ont déjà montré l'efficacité de cette technique.

Le rôle important des bordures et les haies comme zones de refuges et réservoirs permanents des coccinelles et autres prédateurs ont été démontrées par plusieurs chercheurs (Greaves *et al*, 1987, Altieri, 1991, Alhmedi *et al.*, 2007). En Algérie, plusieurs espèces d'arbustes et d'arbres peuvent fournir des zones de refuge dès le début du printemps quand les effectifs des ravageurs dans les vergers sont encore faibles et facilitent la dissémination des coccinelles dans les cultures. Les essences suivantes ont été choisies pour leur capacité à héberger une importante faune de coccinelles: *Viburnum tinus* (L.) (Caprifoliaceae), *Nerium oleander* L. (Apocynaceae), *Arbutus unedo* (L.) (Ericaceae), *Hedera helix* (L.) (Araliaceae), *Ligustrum japonicum* (L.) (Oleaceae), *Arundo donax*, (L.) (Poaceae,) *Pittosporum tobira*, (Pittosporacées), *Fraxinus angustifolia* (L.) (Oleaceae), *Laurus nobilis* (L.) (Lauraceae), *Ziziphus lorus*, (Rhamnacées), *Myoporum leatum* (G.F.) (Myoporaceae). (Sahraoui 2017).

La création des stations ou "cultures relais", qui permettent aux coccinelles de compléter leur cycle ou acquérir une nourriture supplémentaire, peut contribuer au renforcement des populations des coccinelles notamment les aphidiphages.

Il est important de signaler la présence de la coccinelle asiatique *Harmonia axyridis* en Algérie. Nous l'avons retrouvée en 2015 sur agrumes et sur un arbre de pacannier dans la région de Boufarik (Mitidja – Secteur algérois) (Sahraoui 2017).

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- Agrawal, A. A., J. A. Lau et Hamback P. A. (2006). Community heterogeneity and the evolution of interactions between plants and insect herbivores. *Quarterly Review of Biology* **81**:349-376.
agroecosystems. In: Hawksworth DL (ed). *The biodiversity of microorganisms and invertebrates: its role in justainable agriculture*. CAB. International, Wallingford, p. 165-182.
- Ajouz S., 2009- Estimation du potentiel de résistance de *Botrytis cinerea* à des biofongicides. Thèse Doc. Univ. d'Avignon, 188p.
- Alabouvette C. and Davet P., 1985- Perspectives de lutte biologique et intégrée contre les maladies d'origine tellurique en cultures protégées. *La défense des végétaux*. I.R.A.A., 234p.
- Alford, D. V. (2013). *Ravageurs des végétaux d'ornement: arbres, arbustes, fleurs*. Éditions Quæ., 18p.
- Alhmedi A., Francis F., Bodson B. & Haubruge E. (2007). Evaluation de la diversité des pucerons et de leurs ennemis naturels en grandes cultures a proximite de parcelles d'orties. *Notes fauniques de Gembloux 2007* **60** (4), 147-152.
- Altieri M.A. (1991). *Increasing biodiversity to improve insect pest management in and urban landscapes*. Wiley-Blackwell, Oxford (U. K.).
- Anonyme, (2015) Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. *Keeping Plant Pests and Diseases at Bay: Experts Focus on Global Measures.*, <http://www.fao.org/news/story/en/item/280489/icode/> . .
Arthropod pest management in organic crops. *Annual Review of Entomology* **52**:57-80.
- Avinant, L. e Llàcer, G. 1994. Fitoplasmas y espiroplasmas fitopatogéneos. In *Patologia vegetal*. Tomo I. Coedición 2000, Phytoma-España e Grupo Mundi-Prensa, Barcelona, pp443-488.
- Balachowsky, A. (1925). Les maladies du dattier dans le Sud - Oranais. In : *Revue. Agriculture. Afrique du Nord*, 23, pp. 117-123.
- BALDUF, W.V., 1935-*The Bionomics of Entomophagous Coleoptera*. John.S. Swift, New York, USA. 220 p.

Références Bibliographiques

- Balkeman J. P. and Fokkema N. J., 1982- Potential for biological control of plant diseases on the phyllophane . Ann. Rev. Phytopathol., 20,167-192.
- Barbault, R. (1981). Ecologie des populations et des peuplements. Ed. Masson, Paris, 12 –14 et 73–75.
- Benbrook, C.M., 1996. Pest management at the crossroads. Consumers Union of United States Inc.
- Benitez T., Rincón M.A., Limón M.C. and Codón C.A. 2004-Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains.Int. Microbiol., 7, 249-260.
- Bezert G., Chappe P., Mourey A. et Loubinoux B., 1996- Action de *Bacillus* et d'actinomycètes sur les champignons du bleuissement du bois. Articl. LERMAB, Equipe Chimie Organique-Microbio. Univ. Henri Poincaré Nancy I, 6, 174-190.
- Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H. et Tscharrntke T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences **273**:1715-1727. biological control? Pages 149-157 in L. Polgar, R. J. Chambers, A. F. G. Dixon, and I.Hodek, editors. Behaviour and impact of aphidophaga. SPB Academic Publishing, TheHague (NL).
- Bommarco, R., Kleijn, D. et Potts S. G. (2013a). Ecological intensification: harnessing
- Borges, M.L.V. 1975. Micoplasmas, Rickettsias e doenças des plantas Sociedade Portuguesa de Ciências naturais, Coleção "Natura", Nova Série, Vol. 2, 32 p.
- Brimner A. and Boland. G.J., 2003-A review of the non-target effects of fungi used to biologically control of plant diseases. Arg. Ecosyst., Environ., 100, 3-16.
- Bunster L., Fokkema N.J. and Schippers B., 1989- Effect of surface-active *Pseudomonas* spp. on leaf wettability. Appl. Env. Microbiol., 55, 1340-1345.
- Camps C., Michel V., Martinez C. et Lutz M.P., 2012- Souche de *Lactobacillus* utilisée comme agent De lutte biologique contre *Pythium ultimum* sur tomate. Vitic.Arbor.Hort., 44(6), 344-348.
- Casmann, K. G., Wood, W., Choo, P. S., Cooper, H. D., Devendra, C. J, Dixon, J., Gaskell, J.,Khan, S., Lal, R., Lipper, L., Pretty, J., Primavera, J., Navin, R., Vigliizzo, E., Wiebe, K.,Kadungure, S., Kanbar, N., Khan, Z., Leakey, R., Porter, S., Sebastian, K. et Tharm R.(2005). Cultivated Systems. Pages 745-794 in A. Balisacan and P. Gardiner, editors.Millennium Ecosystem Assessment. Current State and Trends

Références Bibliographiques

- Assessment. Millenium Ecosystem Assessment,
<http://www.millenniumassessment.org>.
- Caudwell, A. 1998. Grapevine Yellows diseases . In Compendium of Grape diseases . APS Press, St. Paul, Minnesota, USA, pp 45-47.
 - Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer E. J. et Kremen C. (2011). A meta-analysis of crop
 - Chaubet B. 1992. Diversité écologique, aménagement des agro-écosystèmes et favorisation des ennemis naturels des ravageurs : cas des aphidiphages. Le courrier de l'environnement, 18.
 - Chaubet, B. (1992). Diversité écologique, aménagement des agro – écosystèmes et favorisation de ennemis naturels des ravageurs : cas des aphidiphages. Cours Evir., 18: 45 – 63. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 257 p.
 - Chérif M. Arfaoui A. and rhaïem A., 2007- Phenolic compounds and their role in biocontrol and resistance of chickpea to fungal pathogenic attacks. Tun. J. Plant. Protec., 2, 7-21.
 - comme prédateur de l'acarien *Oligonychus afrasiaticus* (McGregor) dans les palmeraies de la région de Ouargla en Algérie. Revue Fruits. **63**: 85 – 92.
 - conservation biological control of arthropods by arthropods. Biological Control 45:172-175
 - Cook, R.J., 1993. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 31, 53–80.
 - Corbaz R., 1990-Principe de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes . Presse polytechniques et universitaires romandes.
 - Curl E.A. and Truelove B., 1986- Advanced Series in Agricultural Sciences. The Rhizosphere, 1, 288 -57.
 - De Meyer G., Bigirimana J., Elad Y. and Höfte M., 1998- Induced systemic resistance in *Trichoderma harzianum* T39 biocontrol of *Botrytis cinerea*. Eur. J. PlantPathol., 104, 279-286.
 - Dijksterhuis J., Sanders M., Gorris L.G. and Smid E.J., 1999- Antibiosis plays a role in the context of direct interaction during antagonism of *Paenibacillus polymyxa* towards *Fusarium oxysporum*. J. Appl. Microbiol., 86. 13-21.

Références Bibliographiques

- Dong H.A., Gusti Q., Zhang J.L., Xu L.H and Zhang J., 2002-Identification of quorum-quenching Nacyl homoserine lactonases from *Bacillus* species. Appl. Environ. Microbiol., 68. 175-1759.
- DOUMANDJI M. B. et DOIMANDJI S., 1993-La lutte biologique contre les déprédateurs des cultures. OFF. BUP. UNV. Algérie, 94 p.
- ecosystem services for food security. Trends Ecol Evol **28**:230-238.
- Edwards S.G. and Seddon B., 1992-*Bacillus brevis* as a biocontrol agent against *Botrytis cinerea* on protected chinese cabbage. In: Recent advances in *Botrytis* research. K. Verhoeff, N. E. Malathrakis and B. Williamson, eds. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen. The Netherlands, 267-271.
- Egamberdieva D. and Lugtenberg B., 2014-Use of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria to alleviate Salinity Stress in Plants. Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses, 1,73-96.
- Eilenberg J., Hajek A., Lomer C. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl. 463. 87-400
- Elad Y. and Kapat A., 1999- The role of *Trichoderma harzianum* protease in the biocontrol of *Botrytis cinerea*. Eur. J. P.Pathol., 105, 177-189.
- Elad Y. and Stewart A., 2004-Microbial control of botrytis spp. In : Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, Delan N, eds. Botrytis, Biology, pathology and control, Dordrecht. TheNtherlands,223-41.
- El-Ghaouth A., Smilanick J.L., Brown.G.E.,Ippolito A. and Wilson C.L., 2001. Control ofdecay of apple and citrus fruits in semicommercial test with *Candida saitoana* and 2 –deoxy-D-glucose. Biol. Control,20,96-101.
- Elliot N.R., Kieckhefer R., Kauffman W. 1996. Effects of an invading coccinellid on native coccinellids in agricultural landscape. Oecologia. 105, 537 - 544.
- Emmert, E.A., Handelsman, J., 1999. Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective. FEMS Microbiol. Lett. 171, 1–9.
- enemies of arthropod pests in agriculture. Annual Review of Entomology **45**:175-201
- Éric Verdin et Hervé Lecoq Dossier Maladies et ravageurs émergents : soyons vigilants ! - Jardins de France 633 - Janvier-février 2015 6.

Références Bibliographiques

- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F. G., Crist, T. O., Fuller, R. J., Sirami, C., Siriwardena, G. M. et Martin, J. L. (2011). Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* 14:101-112.
- Futuyma, D.J. (2001). Ecological Specialization and Generalization. In *Evolutionary Ecology: Concepts and Case Studies*. (eds C.W. Fox, D.A. Roff & D.J. Fairbairn), Oxford University Press, pp. 177-189.
- Gagné S., 1984- Bactéries telluriques et rhizosphériques inhibitrices de certains champignons phytopathogènes: perspective de lutte biologique chez la luzerne. Mém. Maîtr. Univ. Laval, Quebec. Canada, 62p.
- Gilli, C., & Heller, W. (2007). La désinfection des serres. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*, 39(3), 195-197.
- Grabenweger, G., Hopp, H., Jackel, B., Balder, H., Koch T. et Schmolling, S. (2007). Impact of
- Greaves M.P. et Marshall E.J.P. 1987 – Field margins: definitions and statistics. Monograph .N.35. British Crop Protection Council, Thornton Heath, Surrey, p. 3-10.
- Gupta S.S., Ton V.K., Beaudry V., Rulli S., Cunningham K. and Rao R. : 2003- Antifungal activity of amiodarone is mediated by disruption of calcium homeostasis. *J. Biol. Chem.*, 278 (31), 28831-9.
- Haas D. and Défago G., 2005- Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nat. Rev. Microbiol.*, 3, 307-319.
- Haas D. and Keel C., 2003-Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas spp.* and relevance for biological control of disease. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 41, 117-153.
- Haggag M.W. and Mohamed A.L., 2007-Biotechnological Aspects of Microorganisms Used in Plant Biological Control. *Am.Eur. J.Sust. Agr.*, 1,7.
- Haidar R., Fermoud M., Calvo-Garrido C., Roudet J. and Deschamps A., 2016- Modes of action for biological control of *Botrytis cinerea* by antagonistic bacteria. *Phytopathol. Med.*, 55 (3), 13-34.
- Hajek, A. E. (2004) *Natural enemies. An introduction to biological control*. Cambridge University Press, Cambridge (U. K.).
- Hanemian M., (2012). Rôle de la protéine CLV1 dans la sensibilité d'*Arabidopsis thaliana* à la bactérie phytopathogène *Ralstonia solanacearum*. Thèse de

Références Bibliographiques

Doctorat en Interactions Plantes-Microorganismes. L'Université Toulouse III - Paul Sabatier. p 190

- Helluy S. and Holmes J.C., 2005-Parasitic manipulation : further considerations. Beh. Pro., 68, 185-99.
- Hemptinne, J.-L. et Dixon A. F. G. (1991). Why ladybirds have generally been so ineffective in
- Hokkanen H., Pimentel D. 1984. New approach for selecting biological control agents. Canadian Entomologist 116, 1109-1121
- Howarth F.G. 1991. Environmental impacts of classical biological control. Annu. Rev. Entomology. 36, 485-509.
- Howarth F.G. 1991. Environmental impacts of classical biological control. Annu. Rev. Entomology. 36, 485-509.
- Idder, A. (2011). Lutte biologique en palmeraies algériennes: cas de la cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi*), de la pyrale des dattes (*Ectomyelois ceratoniae*) et du boufaroua (*Oligonychus afrasiaticus*). Thèse Doc., Eco. Nat. Sup.Agro., El – Harrach, Alger: 174 pp.
- Idder, M.A. et Pintureau B. (2009). Efficacité de la coccinelle *Stethorus punctillum* (Weise) insecticide use. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **110**:15330-15335.
- -IPERTI G., 1986-Les coccinelles de France. Rev. PHY. Def. Des Cult. N°377. pp 14-22.
- Iperti, G. (1983). Les coccinelles de France. Faune et faune auxiliaires en agriculture. ACTA. Journées d'études et d'informations 4 et 5 mai. Paris : 89 – 96.
- Jacobsen B.J., 2006- Biological control of plant diseases by phyllosphere applied biological control agents. In: Microbial ecology of aerial plant surfaces. M. J. Bailey, A K. Lilley, T. M. Timms-Wilson and P. T. N. Spencer-Phillips, eds. AtheneumPress, Gateshead, UK, 133-147.
- Jacobsen B.J., 2006-Biological control of plant diseases by phyllosphere applied biological control agents. In : Microbial ecology of aerial plant surfaces. M. J. Bailey, A. K. Lilley, T. M. Timms-Wilson and P. T. N. Spencer-Phillips, eds. AtheneumPress, Gateshead, UK, 133-147.

Références Bibliographiques

- Javoy M., 2013-Jardinage, alliance de la passion et de l'engagement, Jardin de France, 621p.
- Jean-Pierre Paulin, « Découverte des bactéries phytopathogènes, il y a cent ans : controverses et polémiques transatlantiques » [archive], sur Journée commune Académie des sciences & Académie d'agriculture de France, Académie des Sciences, février 2001 (consulté le 28 juillet 2021).
- Jijakli M.H., 2003-Développement de méthode de lutte biologique contre les maladies de conservation des agrumes et des pommes au Maroc. J.C.U.D., 6p.
- Jofre E., Lagares A. and Mori G., 2004- Disruption of dTDP-rhamnose biosynthesis modifies lipopolysaccharide core, exopolysaccharide production, and root colonization in *Azospirillum brasilense*. F.E.M.S Microbiol. Lett., 231,267-275.
- Jonsson, M., Wratten, S. D., Landis, D. A. et Gurr, G. M. (2008). Recent advances in
- Jourdan E., 2008- Dialogue moléculaire entre les rhizobactéries et leur hôte végétal : deux nouveaux éliciteurs impliqués dans l'induction de résistance aux pathogènes. Thèse Doc. Univ. Liège, Belgique, 194p.
- Kawasaki, K., Lichtenberg, E., 2015. Quality versus Quantity Effects of Pesticides: Joint Estimation of Quality Grade and Crop Yield.
- Kenneth B. Johnson, Fispix « Fire blight of apple and pear » [archive], sur apsnet.org/, American Phytopathological Society (APS), 2000 (DOI 10.1094/PHI-I-2000-0726-01, consulté le 28 juillet 2021)
- Kim, K.-H., Kabir, E., Jahan, S.A., 2017. Exposure to pesticides and the associated human health effects. Sci. Total Environ. 575, 525–535.
- Kishore G.K., Pande S. and Podile A.R., 2005- Biological control of late leaf spot of peanut (*Arachis hypogaea L.*) with chitinolytic bacteri. Phytopathol., 95,123-132.
- Klarzynski O. et Fritig B., 2001- Stimulations des défenses naturelles des plantes. C. R. Acad. Sci., Paris, 324, 953-963.
- Koon-Hui Wang, « Protecting Crops from Nematode Pests: Using Marigold as an Alternative to Chemical Nematicides », Plant Disease, College of Tropical Agriculture and Human Resources (CTAHR) - Université de Hawaï à Manoa, no 35, juillet 2007
- Kovář I (2007) Coccinellidae. In: Löbl I, Smetana A (Eds) Catalogue of Palaearctic Coleoptera, Vol. 4. Stenstrup: Apollo Books, 568–631.

Références Bibliographiques

- Kris Lambert et Sadia Bekal, « Introduction to Plant-Parasitic Nematodes » [archive], sur American Phytopathological Society (APS), 2009
- Lakhal M A., Ghezali D., Nedvěd O., Doumandji S., 2018- Checklist of ladybirds of Algeria with two new recorded species (Coleoptera, Coccinellidae). *ZooKeys* 774: 41–52.
- Landis, D. A., Wratten, S. D. et Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural
- Larsen, A. E. (2013). Agricultural landscape simplification does not consistently drive
- Laven, H. (1971). Génétique formelle, lutte génétique et structures des populations de Moustiques. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 46(3 bis), 103-115.
- Lavoie, A. 1999. Utilisation de fibres de cellulose et de neem (*Azadirachta indica* Juss. Méliacées) et de nématodes entomopathogènes dans la lutte contre la mouche du chou, *Delia radicum* (L.)(Diptera:Anthomyiidae). Mémoire de M.Sc. en biologie, Université du Québec à Montréal, 95p.
- Lee L., Shin N.R., Jung M.J., Roh S.W., Kim M.S., Lee J.S., Kim Y.O. and Bae J.W., 2013- *Paenibacillus oceanisidiminis* sp. Nov. Isolated from marine sediment. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 63 (2), 428-34.
- Lenteren Van J.C., Bale J., Biglet F., Hokkanen H.M.T., Loomans A.J.M., 2006. Assessing risks of releasing exotic biological control agents of Arthropod pests. *Annual review of Entomology*. Vol.51:609-634
- Letourneau D.K. 1987. The enemies hypothesis : tritrophic interactions and vegetational diversity in tropical agroecosystems. *Ecology*. 68 (6), 1616-1622.
- Lorito M., Harman G.E., Hayes C.K., Broadway R.M., Tronsmo A., Woo S.L. and Pietro A.D., 1993 Chitinolytic enzymes produced by *Trichoderma harzianum*: antifungal activity of purified endochitinase and chitobiosidase. *Phytopathol.*, 83, 302-307.
- Louda S.M., Pemberton R.W., Johnson M.T., Follett P.A. 2003. Non target effects – the achilles’ heel of biological control ? retrospective analyse to reduce risk associated with biocontrol introductions. *Annu. Rev. Entomol.* 48, 365-396.
- Lynch L. D., Thomas M. 2000. Nontarget effects in the biocontrol of insects with insects, nematodes and microbial agents: the evidence. *BiocontrolNews and Information*. 21 (4), 117-130.

Références Bibliographiques

- Lynch L. D., Thomas M. 2000. Nontarget effects in the biocontrol of insects with insects, nematodes and microbial agents: the evidence. *Biocontrol News and Information*. 21 (4), 117-130.
- Mac Arthur, R.H., Wilson, E.O. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton University press. 18 p.
- Malausa J.C. 1999. Les risques pour l'entomofaune sauvage liés à l'utilisation d'insectes auxiliaires dans la lutte biologique contre les ravageurs des cultures. In Fraval A., Silvy C. *La lutte biologique (II)*. Dossiers de l'Environnement de l'INRA n°19, Paris, 274 p.
- Manteau S., Abouna S., Lambert B. and Legendre L., 2003- Differential regulation by ambient pH of putative virulence factor secretion by the phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea*. *F.E.M.S. Microbiol. Eco.*, 43, 359-366.
- Maufra, (2001). The role of the cropping method in the elimination of hazardous fungicides (*Tilletia caries*). *Mémoire d'ingénieur. IST.univ.Tebessa*. p70.
- Mchugh R. et Seddon B., 2001-Mode of action of *Brevibacillus brevis* – biocontrol and biorational control. *Bulletin O.I.L.B/S.R.O.P.*,24,17-20.
- Meehan, T. D., Werling, B. P., Landis, D. A. et Gratton, C. (2011). Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108:11500-11505.
- Melero-Vara, Blanco-Lopez, M.A Bejarano-Alcazar.(2013). the control of cotton by means of soil solarization and tolerant cultivars in southern Spain. *Plant Pathol.*,44 p 250-260.
- Meziane H., Gavriel S., Ismailov Z., Chet I., Chernin L. and Höfte M., 2006- Control of green and blue mould on orange fruit by *Serratia plymuthica* strains IC 14 and IC1270 and putative modes of action. *Postharvest Biol. Tech.*, 39, 125-133.
- Mohamed H., (2010). Effets antagonistes entre les souches d'actinomycètes et *Verticillium dahliae* agent de la verticilliose de l'olivier. *Doctoral dissertation, Université Ahmed Ben Bella d'Oran 1 Es Senia*.
- Montesinos E., Bonaterra A. and Moselio S., 2009- *Pesticides microbial*. *Encycl. Microbiol.*, Academic Press, Oxford, UK, 110-120.

Références Bibliographiques

- Murdoch, W. W., Briggs, C. J. et Nisbet, R. M. (2003). Consumer-Resource Dynamics.
- Nasraoui, B., 2006. Les champignons parasites des plantes cultivées (Biologie, Systématique, Pathologie, Maladies). Centre de Publication Universitaire, 456 p, Tunisie.
- Ogol C.K.P.O., Spence J.R., Keddie A. 1998. Natural enemy abundance and activity in a maize/leucaena agroforestry system in Kenya. *Environmental Entomology*, 27(6), 1444-1451.
- Panneton, B., C. Vincent et F. Fleurat-Lessard 2000a. Place de la lutte physique en phytoprotection, pp.1-24 in C. Vincent, B. Panneton et F. Fleurat-Lessard (Eds.) *La lutte physique en phytoprotection*, INRA Editions, Paris, 347 p.
- Patil, B.L., 2020. Plant Viral Diseases: Economic Implications. Not Available.
- Patrick B. (1999). Organisation et biologie des champignons, Nathan, p128 Paul R., Impens P. (2003). Les maladies non parasitaires. In: *Phytopathology*.
- Paulitz T.C. and Matta A., 2000- The role of the host in biological control of diseases. In: *Integrated pest and disease management in greenhouse crops*. R. Albajes, M. L. Gullino, J. C. Van Lenteren and Y. Elad, eds. Kluwer Academic Publisher, Wageningen. The Netherlands, 394-410.
- pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters* 14:922-932.
- Peyerimoff, M.P. (1926). Notice sur la biologie de quelques coléoptères Nord – Africains. 4^e Série, *Annales Société Entomologique de France.*, Paris, France.
- Polis G.A., Holt R.D. 1992 Intraguild predation : the dynamics of complex trophic interactions. *Trends in Ecology and Evolution*. 7,151-154.*
- poor host-parasitoid synchronisation on the parasitism of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera : Gracillariidae). *European Journal of Entomology* 104: 153-158. Princeton University Press, Princeton and Oxford.
- Reisner, Y., de Filippi, R., Herzog, F. et Palma, J. (2007). Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Engineering* 29:401-418.
- Reyes M.E.Q., Rohrbach K.G. and Paull R.E., 2004-Microbial antagonists control. Postharvest black rot of pineapple fruit. *Postharvest.Biol. Tech.*, 33,193-213

Références Bibliographiques

- Risch S.J. 1983. Intercropping as cultural pest control: prospects and limitations. *Environmental Management*, 7(1), 9-14.
- Romanazzi G., Smilanick J.L., Feliziani E. and Droby S., 2016- Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. *Postharvest. Biol. Tech.*, 113, 69-76.
- Root, R. B. (1973). Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats -Fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* **43**:95-120.
- Saharaoui L, Hemptinne JL, Magro A (2014) Biogéographie des coccinelles (Coleoptera: Coccinellidae) d'Algérie. *Entomologie Faunistique. Faunistic Entomology* 67: 147–164.
- Sahraoui L., 1994-Inventaire et étude de quelques aspects bio-écologiques des coccinelles entomophages (Coléoptère, Coccinellidae) en Algérie, *J.A fr. Zool.* Vol.108(6) pp 538-546.
- Sahraoui L., et Gourreau J.M. 1998 Les coccinelles d'Algérie: Inventaire et régime alimentaire. *Samways M.J.* 1997. Classical Biological Control and biodiversity conservation: what risks are we prepared to accept ? *Biodiversity and Conservation*. 6, 1309 – 1316.
- Sahraoui L' & J. Gourreau'M., 2000-LES COCCINELLES D'Algérie: INVENTAIRE ET RÉGIME ALIMENTAIRE (Coleoptera, Coccinellidae).
- Saharaoui, L. (2017). Les coccinelles algériennes (*Coleoptera, Coccinellidae*): analyse faunistique et structure des communautés (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- Savita, Sharma, A., 2019. Fungi as Biological Control Agents, in: Giri, B., Prasad, R., Wu, Q.-S., Varma, A. (Eds.), *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment, Soil Biology*. Springer International Publishing, Cham, pp. 395–411. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_18
- Sekhiri F., Guerroum N., Makhloufi Z., 2006. Contribution à l'étude de la lutte biologique des champignons phytopathogènes par l'utilisation de *Trichoderma* sp. DES. Université de Msila.
- Si Amar H., (2017). Application des bacilles thermophiles dans la lutte biologique. Mémoire de Master en Microbiologie Appliquée. L'université de Tlemcen. p43.

Références Bibliographiques

- Simberloff D. ; Stiling P. 1996a. How risky is biological control ? *Ecology*, 77 (7), 1965 – 1974.
- Singh, P.P., Shin, Y.C., Park, C.S., Chung, Y.R., 1999. Biological control of *Fusarium* wilt of cucumber by chitinolytic bacteria. *Phytopathology* 89, 92–99
- Stephens L., Radenberg T., Thiel U., Vogel G. ; Khoo K.H., Dell A., Jacks T.R., Hawkins P.T. and Mayr G.W., 1993- The detection, purification, structural characterization, and metabolism of diphosphoinositol pentakisphosphate (s) and bis-diphospho-inositol-tetra-kis-phosphate (s). *J.Biol.Chem.*, 268 (6), 9-15.
- Stephens, A. E. A., et Myers, J. H. (2012). Resource concentration by insects and implications for plant populations. *Journal of Ecology* **100**:923-931.
- Suty, L., 2010a. Chapitre 2. La lutte biologique : définitions et concepts généraux, in: *La lutte biologique, Sciences en partage*. Éducagri éditions, Dijon cedex, pp. 43–63.
- Suty, L., 2010b. Chapitre 4. La lutte microbiologique, in: *La lutte biologique, Sciences en partage*. Educagri éditions, Dijon cedex, pp. 91–112.
- Thomas M.B., Willis A.J. 1998. Biocontrol – risky but necessary ? *Tree*. 13 (8), 325 – 329.
- Thomas M.B., Willis A.J. 1998. Biocontrol – risky but necessary ? *Tree*. 13 (8), 325 – 329.
- Valueva T. A. and Mosolor V.V., 2004- Role of inhibitors of proteolytic enzymes in plant defense against phytopathogenic micro-organisms. *Biochem.*, 69. 1305-1309.
- Van Lenteren J.C., Babendreier D., Bigler F., Burgio G., Hokkanen H.M.T, Kuske S., Loomans A.J.M., Menzler-Hokkanen I., Van Rijn P.C.J., Thomas M.B., Tommasini M.G., Zeng Q.-Q. 2003. Environmental risk assessment of exotic natural enemies used in inundative biological control. *BioControl*. 48, 3-38.
- Van Lenteren J.C., Woets J. 1988. Biological end integrated pest control in greenhouses. *Annu. Rev. Entomol.* 33, 239-269.
- Van Peer R., Niemann G.J. and Schippers B., 1991- Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of *Fusarium* wilt of carnation by *Pseudomonas* sp. Strain WCS4171. *Phytopathol.*, 81,728-734.
- Vandenberg N. J. 2002- Family 93. Coccinellidae Latreille 1807. Pages 371-389, In Arnett, R. H., M. C. Thomas, P. E. Skelley et J. H. Frank (eds.), *American Beetles*,

Références Bibliographiques

- volume 2, Scarabaeoidea through Curculionoidea. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 880.
- Vandenberg NJ (2002) Family 93. Coccinellidae Latreille, 1807. In: Arnett RH, Thomas MC, Skelley PE, Frank JH (Eds) American Beetles. Vol. 2. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. CRC Press LLC, Boca Raton, 371–389.
 - Velásquez, A.C., Castroverde, C.D.M., He, S.Y., 2018. Plant–pathogen warfare under changing climate conditions. *Curr. Biol.* 28, R619–R634.
 - Vincent C., Panneton B., Fleurad- Lessard F., 2000. Place de la lutte physique en phytoprotection
 - Wei G., Kloepper J.W. and Tuzun S., 1991- Induction of systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum orbiculare* by select strains of plant growth-promoting rhizobacteria. *Phytopathol.*, 81 (12), 1508-1512.
 - Whittaker, R.J. (1998). Island Biogeography: Ecology, Evolution and Conservation. *Journal of Ecology* 2000, 88, 179 – 182.
 - Wratten, S., Sandhu, H., Cullen, R., et Costanza, R. (2013). Ecosystem services in agricultural
 - Zehnder, G., Gurr, G. M., Kuehne, S., Wade, M. R., Wratten, S. D. et Wyss, E. (2007).
 - Zubrod, J.P., Bundschuh, M., Arts, G., Brühl, C.A., Imfeld, G., Knäbel, A., Payraudeau, S., Rasmussen, J.J., Rohr, J., Scharmüller, A., 2019. Fungicides: an overlooked pesticide class? *Environ. Sci. Technol.* 53, 3347–3365.