



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE POUR L'OBTENTION
D'UN DIPLÔME MASTER 2 EN AGRONOMIE

Spécialité: PROTECTION DES CULTURES

RÉALISÉE PAR

BENAICHOUR Mohamed Nassim

DJOURDEM Mostafa

THÈME

Etude de l'efficacité de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur *Aphis spiraecola*.

Devant le jury :

Président :

Mme BENOUERRAD

MCB U. Mostaganem

Encadreur :

Mme SAIAH .F

MCB U. Mostaganem

Examineur :

Mme BERGUEL .S

MCA U. Mostaganem

Année universitaire :

2016/2017

Remerciements

Avant tout

Je remercie Allah, c'est grâce à lui que je suis arrivée à ce niveau.

À l'heure où j'apporte la touche finale à ce mémoire.

je tiens à remercier Tout d'abord les personnes qui m'ont permis de réaliser ce mémoire : mes Chaleureux remerciements à ma promotrice :

Mme SAIAH.F

Pour son aide, son soutien moral et pour ces précieux conseils et orientations qu'elle nous a prodigués tout le long de ce travail de recherche.

*Je tiens aussi à remercier les membres de jury **Mme BENOUERRAD** ., pour avoir Accepté de présider le jury et **Mme BERGUEL** pour avoir bien voulu me faire Honneur d'examiner mon mémoire.*

Ma reconnaissance et gratitude envers tous les enseignants, les responsables et les agents du Département d'Agronomie de l'Université Abd Elhamide Ibn Badis de Mostaganem sans exception.

Je remercie tous les techniciens des laboratoires de recherches

En fin je tiens à exprimer, mes remerciements à toutes les personnes qui ont Participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à Toutes.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes parents

Pour Leur soutien, encouragement.

A mes frères et sœurs

Fares et Ibtissem

Et a toute la famille BENAICHOIR

A mes chers amis:

Islam , bilal , moh abaziz , moha marouf , abdenour , oussama , sidahmed , kiki

Et a tous les étudiants de notre promotion

« Protection des cultures »

NASSIM

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes parents

Pour Leur soutien, encouragement.

A mes frères et sœurs

Et a toute la famille DJOURDEM

A tous mes chers amis et collègues

Et a tous les étudiants de notre promotion

« Protection des cultures »

MOSTAFA

Liste des abréviations

ml : Millilitre

C° : Degré Celsius

% : Pourcentage

g : Gramme

t : Tonne

h : Heures

j : Jour

M.a : *Metarhizium anisoplae*

Ha : Hectar

Inpv : Institut National de la Protection des Végétaux

DSA : Direction des Services Agricoles.

OILB : Organisation International de la lutte biologique.

SOMMAIRE

Introduction	01
---------------------------	----

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES AGRUMES

I. Historique et répartition des agrumes dans le monde	02
I.1. La production des agrumes	02
I.1.a. Dans le monde	02
I.1.b. En Algérie	03
I.1.c. A Mostaganem	05
I.2. Taxonomie et Systématique	06
I.3. Description et cycle de développement des agrumes	07
I.3.a. Description botanique	07
I.3.b. Cycle de développement des agrumes	08
I.4. Les variétés des agrumes du genre <i>Citrus</i>	09
I.5. Maladies et ravageurs des agrumes	11

CHAPITRE 2 : GENERALITE SUR LES PUCERONS

I. Généralité sur les pucerons	13
II. Caractéristiques morphologiques et classification des pucerons	13
II.1. Description morphologique des aphides	14
II.2. Aspect biologique	15
III. L'espèce <i>Aphis spiraecola</i>	17
III.1. Description morphologique	18
III.2. Classification systématique	18
III.3. Cycle biologique	18
III.4. Les dégâts causés par <i>Aphis spiraecola</i> sur l'espèce végétale	19
IV- Lutte contre les pucerons	20
IV.1. Les moyens de lutte culturale	20
IV.2. Les moyens de lutte chimique	21
IV.3. La lutte prophylactique	21
IV.4. La lutte physique	22
IV.5. La lutte biologique	22
IV.5.a. Insecte prédateurs	23
IV.5.b. Arachnides prédateurs	24
IV.5.c. Les parasitoïdes	25
IV.5.d. Les champignons entomopathogènes	26

CHAPITRE III : *METARHIZIUM SP* DANS LA LUTTE BIOLOGIQUE

I. Le genre <i>Metarhizium</i>	29
I.1. Généralités	29
I.2. Taxonomie.....	29
II. Place du champignon <i>Metarhizium sp</i> dans la lutte biologique	30
II.1. <i>Metarhizium anisopliae</i>	30
II.2. <i>Metarhizium flavoviride</i>	30
III. Mode d'action des <i>Metarhizium</i>	30

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

I. Objectif	32
II. Présentation du site expérimental	32
II.1. Matériel végétal	32
II.2. Matériel animal	33
II.3. Matériel fongique	33
III. Conduite des essais	34
III.1. Conduite de l'essai " <i>in vitro</i> "	34
III.2. Conduite de l'essai " <i>in vivo</i> "	34

CHAPITRE 2 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Résultats et interprétations	37
I.1. L'effet " <i>in vitro</i> " de <i>Metarhizium anisopliae</i> var <i>acridum</i> sur la mortalité de <i>Aphis spiraecola</i>	37
I.2. L'effet " <i>in vivo</i> " de <i>Metarhizium anisopliae</i> var <i>acridum</i> sur la mortalité de <i>Aphis spiraecola</i>	39
II. Discussion	41
Conclusion	42

Résumé :

La lutte chimique contre *Aphis spiraecola* est une méthode rapide et simple pour empêcher le développement de ce ravageur, cependant, l'utilisation massive de ces produits chimiques présente des risques potentiels pour la santé de l'homme et l'environnement. Cette étude résume en une approche de lutte alternative basée sur l'utilisation d'un bio-insecticide.

Notre travail s'intéresse à tester l'effet de *Metarhizium anisopliae* contre le puceron de l'espèce *Aphis spiraecola* sur des plants d'agrumes traités par des concentrations croissantes de la souche de *Metarhizium* sp. Durant cette étude des plantes d'agrumes ont été infestées par *Aphis spiraecola*, ensuite traitées par *Metarhizium anisopliae*. Le dénombrement d'individus morts a démontré que la souche a présenté une réelle efficacité "*in vitro*" et "*in vivo*" à contrôler les adultes de *Aphis spiraecola*. Ce résultat a été confirmé par le calcul de la DL50, avec $10^{3,20}$ pour le test "*in vitro*" et $10^{3,62}$ pour le test "*in vivo*".

Mots clés : *Aphis spiraecola*, Bio-insecticide, *Metarhizium anisopliae*, agrumes.

Abstract

The fight against the aphid *Aphis spiraecola* necessitates research of several methods of controlling citrus, whether preventive or curative.

Chemical control is a quick and simple way to prevent the development of these pests, however, the massive use of these chemical products has potential risks for human health and the environment.

This study comes down to an approach of alternative struggle based on the use of bio-insecticide which is a natural product. Our work is focused on the effect of *Metarhizium anisopliae* against the aphid species *Aphis spiraecola* *in vivo* and *in vitro* on the culture of citrus.

During this study of citrus plants have been affected by *Aphis spiraecola*. These plants treated by this bio-insecticide, followed by a count of dead individuals. The tested product gave different effects.

The dose of the product given is important on the mortality of the pest and the effectiveness of the product.

Keywords : *Aphis spiraecola*, Bio-insecticide, *Metarhizium anisopliae*, citrus.

Introduction

L'agrumiculture présente un intérêt vital pour un grand nombre de pays de par son importance économique, notamment les revenus appréciables qu'elles génèrent et les emplois qu'elle engendre.

L'Algérie, figure parmi les grands pays méditerranéens producteurs d'agrumes, avec une superficie de 45000 Hectares. Mais la production nationale n'a cessé de régresser au cours des dernières années. En effet, elle est passée de 5.208.630 quintaux en 1975/1976 à 4.699.600 quintaux en 2001/2002 (M.A.D.R., 2003). La chute de la production est essentiellement due au vieillissement des vergers qui datent de l'époque coloniale et à la dégradation phytosanitaire due aux multiples attaques de bioagresseurs.

De tous les insectes ravageurs des agrumes, les pucerons constituent le groupe qui pose le plus de problèmes. D'après Fouarge (1990), les particularités biologiques et éthologiques de ces insectes, notamment leur potentiel biotique prodigieux et leur extraordinaire adaptation à l'exploitation maximale du milieu par leur polymorphisme, en font des déprédateurs majeurs des cultures.

Les dommages occasionnés par les pucerons sont de deux types. Les dégâts directs, correspondent à de multitudes prises de nourriture, ce qui engendre l'affaiblissement de la plante, l'avortement des fleurs, l'enroulement et une chute des feuilles réduisant la surface photosynthétique (Delorme, 1997). Les dégâts indirects interviennent d'une part par le développement de nombreuses espèces de champignons saprophytes provoquant des fumagines sur la couche de miellat excrété par les pucerons et d'autre part par la transmission de phytovirus. Selon Lecoq (1996), les pucerons possèdent de nombreuses caractéristiques morphologiques et biologiques qui en font des redoutables vecteurs de virus, causant de graves maladies telle que la Tristeza, une virose difficile à éradiquer (Grisoni, 1993 in Hali, 2004).

Toutefois, le recours à la lutte chimique a entraîné des conséquences néfastes sur l'environnement, la faune, les hommes et les animaux sans pour autant affecter la fréquence d'invasion. En plus, les pucerons ont la capacité de se propager à grande échelle par l'intermédiaire des ailés, colonisant ainsi d'autres cultures. De ce fait ils échappent aux effets des prédateurs et des parasites. Pour cela il faudrait trouver un parasite qui peut être transporté par l'insecte lui-même et disséminer au même temps que lui. Les meilleurs candidats sont les champignons. Dans le but de rechercher des champignons entomopathogènes capables de freiner les populations d'*Aphis spiraecola* nous nous sommes proposé, dans ce travail, de tester l'effet de la souche *Metarhizium anisopliae* isolée à partir du bio pesticide « Green muscle » sur la mortalité des populations d'*Aphis spiraecola*.

Partie bibliographique

Chapitre 1

Généralité sur les agrumes

I. Historique et répartition des agrumes dans le monde:

Les agrumes sont originaires des pays du Sud-Est Asiatique. Leurs cultures se confondent avec l'histoire des civilisations chinoise. En effet c'est avec le rayonnement de la civilisation Chinoise et Indoue que la culture des agrumes, s'est propagée à l'ensemble des pays du Sud-Est Asiatique, le Sud de Japon et l'archipel de Malaisie (Loussert, 1989).

I.1. La production des agrumes:

I.1.a. Dans le monde:

D'après (Loussert 1989) les agrumes sont actuellement les fruits les plus produits dans le monde. En 1981, la production mondiale d'agrumes a dépassé les 58 millions de tonnes, devant celles des bananiers (39MT) et des pommiers (36MT).

Il est à remarquer qu'en l'espace de deux décennies, la production mondiale d'agrumes s'est trouvée multipliée par 2,5 passant de 22,7 milliards de tonne en 1963 à 55,7 milliards de tonne en 1981, à 90 milliards de tonne en 1996.

Cette spéculation est cultivée dans plus de 100 pays à travers le monde où la superficie consacrée à cette culture dépasse largement les 3 millions d'hectares. La plupart est cultivée dans l'Hémisphère Nord, comptant pour environ 70% de la production totale. Les principaux pays producteurs d'agrumes sont le Brésil, les pays du bassin méditerranéen, la Chine, Les Etats-Unis et l'Inde (fig.1).

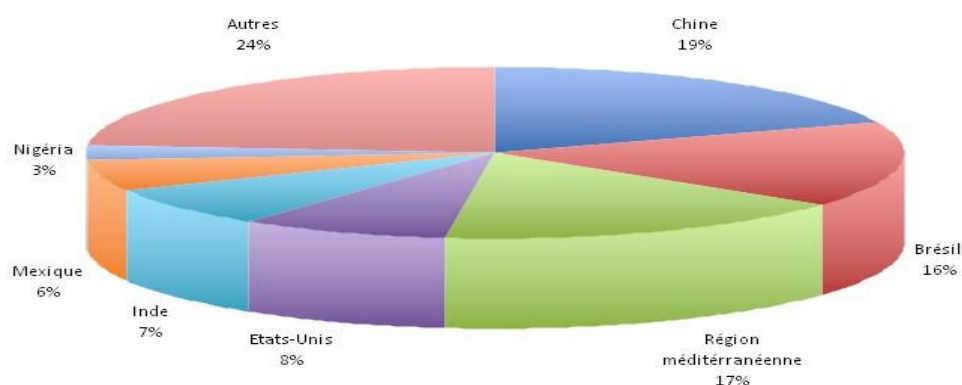


Figure n° 1: Répartition géographique de la production mondiale d'agrumes (moyenne sur la période 2009-2010) (Anonyme, 2010).

La croissance de la production mondiale des agrumes a été relativement linéaire au cours des dernières décennies du XXème siècle. La production annuelle totale d'agrumes s'est élevée à plus de 123 millions de tonnes sur la période 2009-2010. Les oranges constituent la majeure partie de la production agrumicole avec plus de la moitié (63%) pendant l'année 2010. L'amélioration de la production est principalement due à la croissance des terres

cultivées consacrées aux agrumes. La Figure n°2, représente l'évolution de la production mondiale des agrumes.

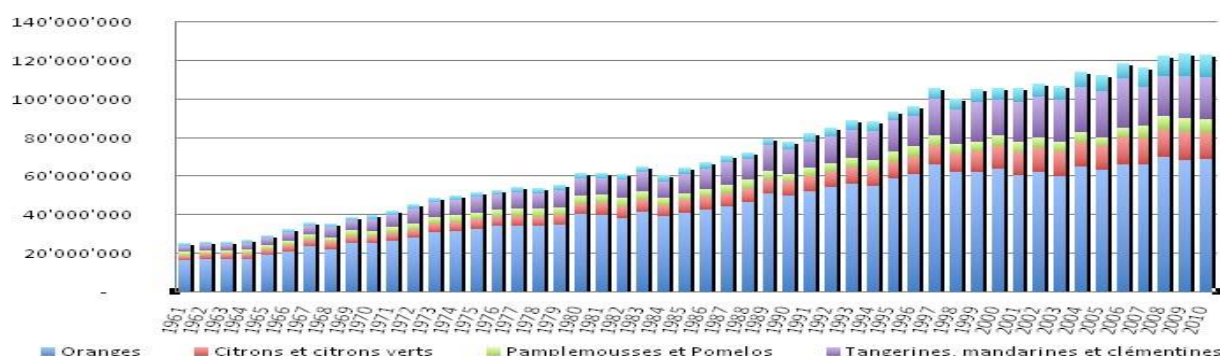


Figure n° 2 : Production totale mondiale des agrumes ainsi que par catégorie de produit de 1961 à 2010 en tonnes (Anonyme, 2010).

I.1.b. En Algérie :

Le programme Algérien de développement des agrumes occupe une place prépondérante dans la nouvelle politique agricole du pays, Considérant les vocations pédoclimatiques des différentes zones agricoles Algériennes (Guenouni et kacemi, 2013).

L'Algérie possède une collection variétale composée de 178 variétés d'agrumes constituant un patrimoine génétique inestimable. Dans cette partie, un aperçu est donné sur la situation de l'agrumiculture en Algérie ainsi que les perspectives futures. L'agrumiculture en Algérie occupe une superficie de 54.040 Ha, soit 11% des surfaces occupée par les arbres fruitières (Guenouni et kacemi, 2013).

Tableau 1 : La répartition de la superficie et de la production des cultures fruitières (Guenouni et kacemi, 2013).

Espèces	Surface totale (ha)	Production (T)
Agrumes	45 040	453 556
Olivier	165 600	363 381
Amandiers	31 990	256 020
Pépins	37 450	206 524
Noyaux	39 160	164 256
Vigne	56 360	178 530
Figuers	35 760	50 609
Total	411 330	1 672 877

Les principales cultures pérennes sont représentées par l'olivier, la vigne et les agrumes. Cette dernière représente 27% de la production fruitières totale (fig. 3).

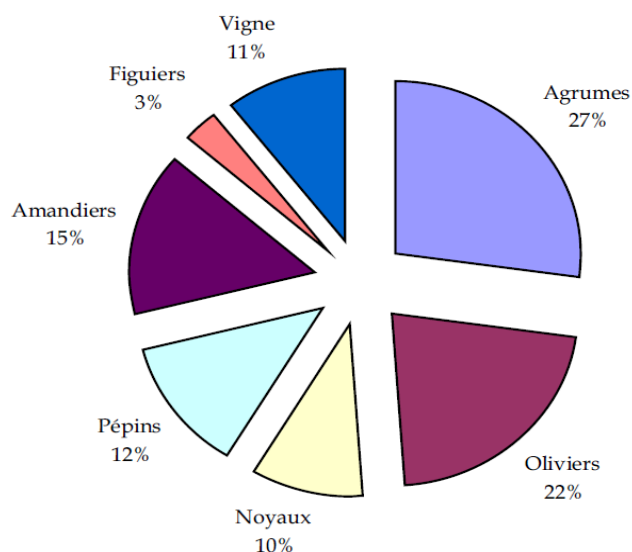


Figure n°3 : Production des agrumes par rapport aux autres cultures fruitières en Algérie (Guenouni et kacemi, 2013).

La répartition de la surface occupée par les agrumes dans les trois régions du nord d'Algérie est comme suit :

- Région du centre : 28 243 ha
- Région de l'ouest : 11 658 ha
- Région de l'est : 4 811 ha

D'après (Guenouni et kacemi, 2013), selon leurs exigences en eau et qualité des sols, les agrumes sont localisés essentiellement dans les plaines irrigables:

- La plaine de la Mitidja (44%).
- La plaine de Habra et Mascara (25%).
- Le périmètre de Bouna Moussa et la plaine de Safsaf (16%).
- Le périmètre de la Mina et le Bas Chéelif (14%).

➤ **Composition variétale et âge du verger agrumicole en Algérie**

Le verger agrumicole est constitué par divers groupes d'agrumes, avec spécialement celles appartenant aux oranges et clémentine (Guenouni et kacemi, 2013). La gamme variétale du groupe des oranges est la plus importante (voir tableau 2), avec une prédominance des variétés précoces, telle que le Washington Navel et le Thomson Navel (50% de la superficie couverte).

Par ailleurs, le rythme de plantation et renouvellement des vergers reste insignifiante, ceci, malgré les efforts de l'Etat en matière de soutien pour la filière Agrumicole (voir tableau. 3).

Tableau 2: Composition variétale des agrumes en Algérie (Guenouni et kacemi, 2013).

Groupe	Surface (ha)	En%
Oranges	28000	62,3
Clémentine et Mandarine	13700	30,4
Citrons	2800	6,2
Pomélos	150	0,4
Autres	350	0,7
Total	45000	100

Tableau 3: Structure d'âge du verger agrumicole Algérien (Guenouni et kacemi, 2013).

Tranche d'âge	Surface (ha)	En %
01 à 10	6 000	13,3
11 à 30	15 000	33,3
31 à 50	20 000	44,5
> 50	4 000	8,9
Total	45 000	100

I.1.c. A Mostaganem :

Différentes variétés de *Citrus* sont plantées sur 4570 hectares dans la région de Mostaganem; cependant, la production totale est de 1118300 tonnes en 2012-2013 toutes espèces confondues. Ces dernières années la wilaya de Mostaganem a connu une progression nette dans les superficies grâce aux subventions de l'état avec le programme FNDA et ET-TAHADI (DSA, 2015).

Tableau 4: production des agrumes par variété dans la wilaya de Mostaganem (DSA, 2015).

les groupes des agrumes	2008		2009		2010	
	Superficie (Ha)	Production (t)	Superficie (Ha)	Production (t)	Superficie (Ha)	Production (t)
Orange	3565,5	682915	3624,5	696806	3670,5	837200
Mandarine	13	3380	16,5	4450	16,5	4400
Clémentine	662	162190	658,5	167515	658,5	180000
Citronnier	247,5	52640	247,5	52830	247,5	65208
Total	4488	901125	4547	92160	4593	1086808
les groupes des agrumes	2011		2012		2013	
	Superficie (Ha)	Production (t)	Superficie (Ha)	Production (t)	Superficie (Ha)	Production (t)
Orange	3744	845627	3744	865187	3645,5	860175
Mandarine	16,5	4512	16,5	4715	16,5	4805
Clémentine	658,56	181542	658,5	176785	660,5	189230
Citronnier	274,5	63254	427,5	62841	247,5	64090
Total	4666,5	1095635	4666,5	1100528	4570	1118300

I.2. Taxonomie et Systématique :

Le terme « agrume » est originaire du latin médiéval *acumens* qui signifie: « tous les fruits possédant une saveur âcre ».

Les agrumes appartiennent à trois genres botaniques: *Citrus*, *Fortunella* et *Poncirus* (Anonyme, 1998) ; Anonyme, 2001).

Les huit espèces cultivées sont : *C. sinensis* (L.) Osb., L'oranger ; *C. aurantium* L., le bigaradier ; *C. reticulata* Blanco, le mandarinier ; *C. paradisi* Macf., le pomelo; *C. maxima* (Burn) Merr., le pamplemoussier, *C. limon* (L.) Burm., le citronnier, *C. aurantifolia* (Christm.)Swing., le limettier et *C. medica* (L.) le cédratier. Ces espèces renferment un grand nombre de variétés (Eunice, 2011).

Classification des agrumes est comme suit :

Règne :	Plantae
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Ordre :	Sapindales
Famille:	Rutaceae
Sous famille:	Aurantioideae
Tribu :	Citreae
Sous tribu:	Citrinea (Single et Rees, 1967; Praloran, 1971).

I.3. Description et cycle de développement des agrumes:

I.3.a. Description botanique:

Les agrumes sont de petits arbres ou arbustes atteignant 5 à 10 m assez souvent épineux et à feuillage dense persistant donnant des fruits de formes et de taille diverses.

Les feuilles sont simples ou composées, sans stipules, éparses ou opposées. Un de leurs caractères communs est la présence de glandes oléifères qui apparaissent par transparence comme des points translucides. Toutes les parties de la plante possèdent en outre des tissus

Sécrétant des huiles essentielles à odeur aromatique (Courboulex et Lorrain, 1998 in Matmati, 2005).

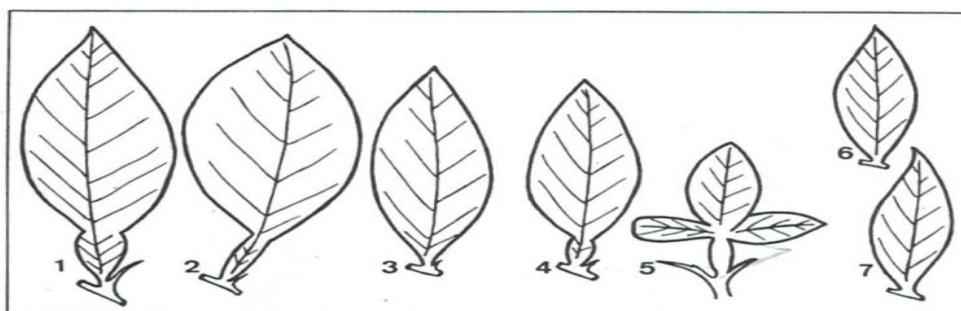


Figure n° 4: Représentation schématique de quelques Type de feuilles

- 1) Bigaradier 2) Oranger 3) Citronnier 4) Pamelo 5) Poncirus trifoliata 6) Mandarinier 7) Clémentinier (Guenouni et kacemi, 2013).

Les fleurs généralement régulières et hermaphrodites, sont formées par 4 ou 5 pétales (blanches), généralement libres, l'androcée est obdiloclée, les carpelles sont soudées en un gynécée à ovaire pluriloculaire supérieur parfois inférieur (Courboulex et Lorrain, 1998 cité par Matmati, 2005).



Figure n° 05 : inflorescence d'agrumes (Guenouni et kacemi, 2013).

Les fruits sont sphéroïdaux ou ovales, en les sectionnant on peut observer :

- Un épicarpe rugueux, robuste, jaune (flavedo), qui entoure et protège le reste du fruit. Cet épicarpe est riche en glandes lysogènes qui contiennent une huile aromatique essentielle

volatile d'une saveur citrine, composée de phéllandrène, limonane (Courboulex et Lorrain, 1998 in Matmati, 2005).

- Un mésocarpe parenchymateux, blanc (albedo), consistant, qui est relié étroitement à l'épicarpe, forme la peau ou l'écorce. Le mésocarpe contient quelques glycosides, comme la limanine et la citrine et les flavonoïdes qui déterminent la vitamine P, Le glucose et quelques acides organiques tels que l'acide citrique. (Courboulex et Lorrain, 1998 cité par Matmati, 2005).

- Un endocarpe membraneux qui constitue la chair, une pellicule radiale consistante le subdivise en loges, de dimensions variables selon le cultivar. Ces loges contiennent des cellules fusiformes, allongées, riches en sucres solubles, en quantité non négligeable de vitamine C, pectine, fibres et divers acides organiques sont présents tout comme les sels de potassium (Courboulex et Lorrain, 1998 cité par Matmati, 2005).

I.3.b. Cycle de développement des agrumes:

➤ **Croissance végétative:**

Les Citrus sont des arbres à feuillage persistants sauf pour *Poncirus trifoliata* qui perd son feuillage en hiver (Loussert, 1989 cité par Berrighi, 2007), Ils sont caractérisés par une émission régulière de feuillages durant l'année. Représentée par l'apparition des jeunes ramifications (rameau) dites poussées de sève au cours de trois périodes distinctes de l'année:

- **Première poussée de sève (poussé de printemps):**

De fin Février jusqu'au début Mai : les ramifications s'allongent et développent des jeunes feuilles de coloration vert-claire, sur ces nouvelles pousses apparaissent en Avril et Mai les organes fructifères. Cette poussée est la plus importante du point de vue masse végétative développée (Loussert, 1989 cité par Berrighi, 2007).

- **Deuxième poussée de sève (poussée d'été):**

De juillet à Aout : se développent de nouvelles pousses qui sont en général moins importantes que celles de printemps et d'automne (Loussert, 1989 cité par Berrighi, 2007).

- **Troisième poussée de sève (poussée d'automne):**

De Septembre à Novembre: elle assure le renouvellement du feuillage. Ces trois poussées sont le résultat de trois flux de sève qui commandent le développement végétative de l'arbre. (Loussert, 1989 in Berrighi, 2007).

➤ **Développement floral:**

Les principales étapes du développement floral sont: la floraison, la pollinisation et la fécondation.

• **La floraison:**

Elle s'étale de fin Mars au début Mai : chez certaines espèces, la floraison peut être échelonnée durant toute l'année. C'est le cas des limettiers et des cédratiers. Par ailleurs, (Praloran, 1971 cité par Berrighi, 2007), rapporte que la proportion des fleurs qui donnent des fruits atteignant la maturité est faible, en effet 1% des 60000 fleurs suffisent pour assurer une récolte de 100 kg/arbre.

• **Pollinisation**

Lors de la pleine floraison, les anthères des étamines s'ouvrent et laissent échapper les grains de pollen, ces derniers sont transportés par le vent ou par les insectes, particulièrement les abeilles. Le développement parthénocarpique du fruit est déclenché par la germination du grain de pollen sur le stigmate sans qu'il y ait une fécondation complète (Ghelamallah, 2005).

• **Fécondation:**

Les espèces et les variétés riches en pépins assurent la fécondation complète. Après que la germination du pollen est réalisé, le stigmate, le germe de pollen se développe dans le stylet et se termine par la fusion des deux gamètes (Anthérozoïde, Oosphère), c'est la phase ultime de la fécondation (Matmati, 2005).

➤ **Développement des fruits:**

Les étapes du développement sont: la nouaison, le grossissement et la maturation.

- **La nouaison :** C'est la première étape du développement du fruit juste après la fécondation (Ghelamallah, 2005).
- **Le grossissement :** Etape rapide (Mai -Juin) qui nécessite de l'eau et des éléments nutritifs (N) afin d'obtenir un bon calibre et une bonne qualité du fruit (Matmati, 2005).
- **La maturation :** Cette étape s'effectue pendant la période échelonnée entre Juillet et Septembre, le fruit poursuit leur développement en grosseur pour atteindre en Octobre son calibre définitif (Loussert, 1989 ; Praloran, 1971 cité par Berrighi, 2007).

I.4. Les variétés des agrumes du genre *Citrus* :

Le genre citrus constitue, avec ses 145 espèces dénombrées, le genre le plus important. C'est au sein de ce genre que se rencontrent les principales espèces cultivées qui sont :

I.4.a. Les orangers (*Citrus sinensis* L.)

Cette espèce est caractérisée par des feuilles lancéolées à pétiole étroitement ailé. Le fruit est subglobuleux à épiderme orange ou rougeâtre la pulpe est juteuse et sucrée acidulée. Les cotylédons et les embryons sont blancs (Bousbia, 2011).

I.4.b. Les Bigaradiers (*Citrus aurantium* L)

Ils se distinguent des orangers doux par leurs feuilles plus étroitement lancéolées et pointues à pétiole nettement ailé, leurs fruits est à peau rugueuse et à pûpe acide et amère (Bousbia, 2011). Cette espèce offre une bonne résistance à des parasites ce qui explique son utilisation comme porte- greffe des agrumes durant plus d'un siècle.

D'autres porte-greffes sont proposés en remplacement au bigaradier, mais ils ne donnent pas satisfaction dans toutes les situations, ce qui explique que le bigaradier reste encore utilisé dans certaines régions chez nous et notamment dans la zone allant de Chlef à Mohammadia (Belabbas, 2010).

I.4.c Les Pamplemoussiers (*Citrus grandis* L)

Ce sont des arbres qui peuvent atteindre et même dépasser 10 m de haut. Leurs feuilles sont grandes, ovales; à pétiole amplement ailé et pubescent. Les fleurs, sont de grandes dimensions, mesurent plus de 3 cm de diamètre. les fruits, de couleur jaune, à écorce épaisse, peuvent atteindre la taille de la tête d'un enfant, sont caractérisés par une pulpe grossière, un vide placentaire bien marqué et des pépins monoembryonnés (Bousbia, 2011).

I.4.d. Le pomélo (*Citrus paradial* Macf)

Elle est originaire des Caraïbes, c'est une espèce satellite du *Citrus grandis* dont elle serait issue par mutation gemmaire ou hybridation. Le grapefruit se distingue du pamplemousse par un ensemble de caractères faciles à reconnaître; feuilles à pétiole plus étroitement ailé et glabre; fruits produits en grappes, de taille nettement inférieure, à écorce plus fine; Pulpe tendre, juteuse, pépins polyembryonies (Bousbia, 2011).

I.4.e. Les Mandariniers (*Citrus reticulata* BL)

Ce sont des petit arbres plus ou moins épineux, à feuilles étroitement à largement lancéolées. Leurs fruits globuleux souvent aplatis aux deux pôles ont une peau fine, non adhérente, de couleur orange ou rouge. La chair sucrée, habituellement bien parfumée, est très appréciée. Les pépins se particularisent par la couleur verte des embryons (Bousbia, 2011).

I.4.f. Les Citronniers (*Citrus Limon* L)

Ce sont des arbustes épineux à grandes feuilles ovales, vert pale, avec un pétiole simplement marginé. Les jeunes pousses et boutons floraux sont lavés de pourpre. Les fruits ovoïdes, de couleur jaune, ont une pulpe fine, juteuse et acide.

I.4.g. Les Cédratiers (*Citrus media* L)

Ces arbres ont en commun avec le citronnier la couleur des fleurs et des bourgeons qui sont lavés de pourpre. Ils se distinguent des autres espèces par les pétioles non articulés de leurs grandes feuilles et l'épaisseur considérable de l'écorce des fruits volumineux (Bousbia, 2011).

I.4.h. Les Limettiers (*Citrus aurantifolia*)

Ce sont des arbustes épineux à petites feuilles elliptiques vert pale. Quelquefois, les boutons floraux sont légèrement lavés de pourpre, les fruits ovales, de petite taille ont une peau très fine, adhérente, de couleur jaune. La pulpe juteuse, très acide, se singularise par sa coloration verdâtre (Imbert, 2009).

I.5. Maladies et ravageurs des agrumes

Cette culture est particulièrement sujette aux attaques de ravageurs et de maladies d'ordre abiotiques et biotiques. La protection phytosanitaire des agrumes a évolué d'une façon considérable au cours des dernières années. En effet, la lutte chimique classique a été remplacée par un système de lutte intégrée. Cette évolution est due en grande partie à trois facteurs à savoir, la résistance croissante des ravageurs aux insecticides, les introduction multiples de nouveaux ravageurs et le désir du consommateur d'avoir des fruits contenant moins de résidus (Benhalima–Kamel et *al.*, 1994).

Tableau 5 : les ravageurs des agrumes (Bich, 2012).

Ravageurs	Nom		Dégâts	
	Scientifique	Commun		
Insectes	<i>Aonidiella aurantii</i>	Pou de Californie	Attaquent les feuilles, les rameaux et les fruits.	
	<i>Lepidosaphes beckii</i>	La cochenille moule		
	<i>Lepidosaphes glowerii</i>	La cochenille virgule		
	<i>Chrysomphalu dictyospermi</i>	Pou rouge de Californie		
	<i>Parlatoria ziziphi</i>	Pou noir de l'oranger		
	<i>Parlatoria pergandei</i>	Cochenille blanche		
	<i>Saissetia oleae</i>	Cochenille H		
	<i>Icerya purshasi</i>	La cochenille australienne		
	<i>Coccus hesperidum</i>	Cochenille plate		Développement de la fumagine, chute des feuilles et dépérissement des fruits.
	<i>Ceroplastes sinensis</i>	Cochenille chinoise		
	<i>Pseudococcus citri</i>	La cochenille farineuse		
	<i>Aphis spiraecola</i>	Puceron vert des citrus	Avortement des fleurs et déformation des très jeunes feuilles. Développement d'abondantes colonies de pucerons sur les parties jeunes des arbres.	
	<i>Aphis gossypii</i>	Puceron vert du cotonnier		
	<i>Toxoptera aurantii</i>	Puceron noir des agrumes		
		<i>Myzus persicae</i>	Puceron vert du pécher	Provoque des souillures importantes ainsi que le développement de la fumagine.
	<i>Aleurothrixus floccosus</i>	L'aleurode floconneux		
	<i>Dialeurodes citri</i>	L'aleurode des citrus	Provoque des nuisances et développe de la fumagine.	
	<i>Phyllocnistis citrella</i>	Mineuse des agrumes	Attaque les feuilles et les jeunes pousses.	
	<i>Ceratitis capitata</i>	Mouche méditerranéenne des fruits	Provoque la pourriture des fruits.	
Nématodes	<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	Nématode des agrumes	Croissance ralentie des arbres ; pas de symptômes spécifiques de cette espèce	
Acarieus	<i>Tetranychuscinnabarinus</i>	Acarie tisserand	Provoquent des nécroses, décoloration et chute des feuilles, des fruits et des bourgeons.	
	<i>Hemitarsonemuslatus</i>	Acarie ravisseur		
	<i>Aceriasheldoni</i>	Acarie des bourgeons		

Chapitre 2

Généralités sur les pucerons

I. Généralité sur les pucerons :

Les pucerons ont toujours été considérés comme l'un des groupes les plus nocifs aux plantes. Ils sont pris comme une source perpétuelle de frustration pour les agriculteurs et les jardiniers (Powell et *al.*, 2006 in Bouhadiba, 2014).

Ce sont des ravageurs communs des cultures et des plantes ornementales (Perera et *al.*, 2005). Ils sont considérés comme des vecteurs de nombreux virus de plantes tels que la Mosaïque; la jaunisse de la Sharka et le virus de Tristeza qui a détruit à lui seul environ 50 millions d'arbres pendant une durée de 40 à 50 ans (Tahiri, 2007 in Bouhadiba, 2014).

Pourtant, ils sont souvent contrôlés par un grand nombre d'espèces d'ennemis naturels, notamment les parasitoïdes ; nous comptons actuellement, environ 350 genres avec 3500 espèces décrites (Imenes et *al.*, 2002).

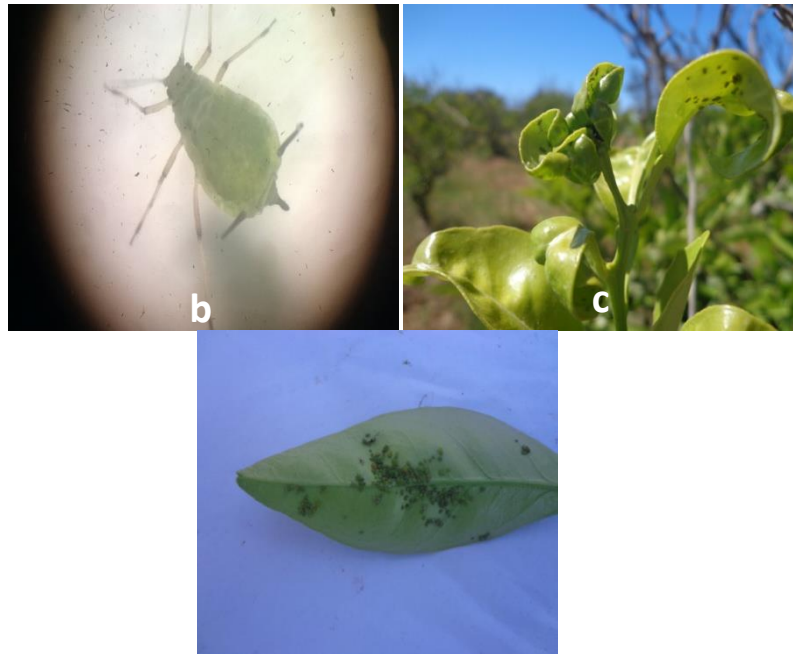


Figure n°6 : *Aphis spiraecola* sur feuilles d'agrumes (a: puceron aptère ; b: feuille enroulée ; c: colonie du puceron sur feuille d'agrumes) (Original, 2017).

II. Caractéristiques morphologiques et classification des pucerons:

Les pucerons ou aphides font partis de l'embranchement des arthropodes: corps segmenté et articulé squelette externe chitineux (Stary,1975).

Ce sont des insectes: leur corps, dont la longueur varie entre 2 et 5 mm, est divisé en 3 parties bien différenciées: tête, thorax et abdomen (Cherfaoui, 2010).

Ils font partie de la superfamille des Aphidoidea, de la famille des Aphididae (présence de deux cornicules sur l'abdomen) se situe dans l'ordre des Homoptères, chez la plupart des espèces de pucerons, coexistent des formes adultes ailées et aptères (Stary, 1975).

II.1. Description morphologique des aphides :

Les Aphides varient beaucoup en forme et en taille (Loukia, 1970 cité par Bouhadiba, 2014) mais on peut tout de même donner quelques traits généraux selon :

- Le corps est ovulaires à coupe globulaire, les téguments sont mous et présentent des soies de forme et de longueur très variables (Stary, 1975).
- La tête est généralement bien séparée du thorax chez les formes ailées et pas chez les aptères (Maameri, 2013). Sur celle-ci sont insérées les antennes qui comprennent 3 à 6 articles (le plus souvent 6). Le dernier article est généralement le plus long et comprend une partie basale légèrement renflée et une partie terminale qui peut être plus courte que la base ou considérablement plus longue, appelée processus terminal (Fraval, 2006).
- Les antennes peuvent être insérées directement sur le front ou sur des protubérances du vertex appelées tubercules frontaux-latéraux (Fraval, 2006). Certains articles antennaires possèdent des organes sensoriels. Les sensoria primaires existent chez toutes les formes à tous les stades, ils sont localisés à la partie distale des deux derniers articles (Fraval, 2006). En revanche, les sensoria secondaires sont situés généralement sur le 3^{ème} article et les suivants : nombreux chez les formes ailées et chez les mâles aptères, ils sont plus rares chez les virginipares aptères (Brun, 1973).
- L'abdomen porte généralement dans sa partie postérieure, une paire de cornicules de forme et de couleur très variable (Fraval, 2006).
- Le dernier segment abdominal (le 10^{ème}) forme la queue (ou coda) plus ou moins développée et de forme variable suivant les espèces qui sert à l'épandage du miellat (Sorensen, 2003).
- Les Tarses ont deux articles dont le dernier est pourvu d'une paire de griffes (Sorensen, 2003).

Les pucerons possèdent des éléments typiques de l'appareil buccal des insectes, mais transformés par leur spécialisation. La lèvre inférieure est transformée en trompe où se logent deux paires de stylets: les mandibules et les maxilles (Bouhroua, 1987). Ces derniers sont accolés, l'un à l'autre sur leur longueur, formant un faisceau, et coulissent les uns par rapport

aux autres en délimitant des canaux salivaires et alimentaires. Ils ont donc un système buccal de type piqueur-suceur (Fraval, 2006).

Malgré tous ces caractères communs, il existe d'importantes différenciations morphologiques entre familles, genres et espèces de pucerons (Cherfaoui, 2010). Les critères de différenciation, souvent plus nets chez les ailés que les aptères, portent sur la forme du front et des tubercules frontaux (zones d'insertion des antennes), la forme des cornicules, des stigmates abdominaux, ainsi que sur la forme et le nombre de rhinaries (Sensoria secondaires) et la pigmentation des différentes parties du corps (Fraval, 2006).

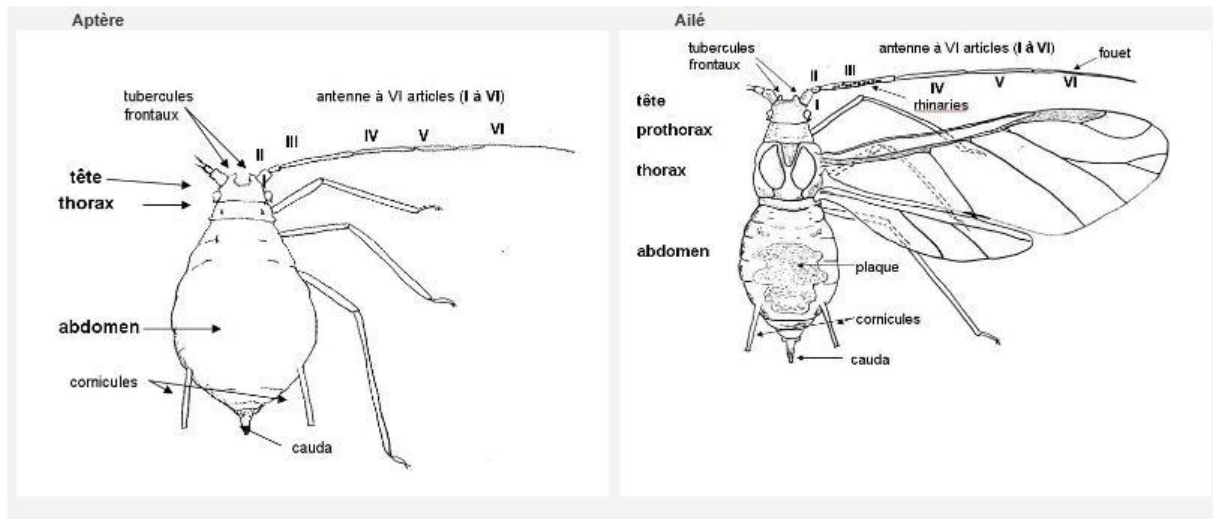


Figure n° 7 : Puceron aptère et ailé (INRA, 2013).

II.2. Aspect biologique :

Les pucerons sont des insectes à métamorphose incomplète (hétérométabole): le jeune puceron est semblable à l'adulte, son développement passe par quatre stades de croissances successifs, entre lesquelles, il se débarrasse de son exosquelette; c'est la mue (Rabasse, 1979). En effet, les pucerons se reproduisent par parthénogenèse qui est une forme de reproduction sans fécondation par les mâles (Rabasse, 1979 cité par Bouhadiba, 2014). Cependant, les femelles parthénogénétiques sont quelquefois ovipares, mais le plus souvent vivipares, c'est-à-dire qu'elles donnent directement naissance à de jeunes larves capables de s'alimenter et de se déplacer aussitôt produites (Bouhroua, 1987). Lorsqu'il y a fécondation, les femelles fécondées sont toujours ovipares (Maameri, 2013).

Dans les régions tempérées, les pucerons effectuent généralement un cycle annuel complet ou holocycle comportant la génération amphi-sexuelle (Leclant, 1999 cité par Abbou, 2012): l'œuf est pondu à l'automne et constitue pour l'espèce une forme de survie durant les

conditions climatiques défavorables de l'hiver. Au printemps cet œuf engendre une fondatrice aptère généralement, c'est une femelle parthénogénétique très féconde qui va donner des fondatrignes aptères et parfois ailées (Bouhroua, 1987). À partir de là, on peut avoir deux évolutions différentes selon les espèces :

- Certaines feront tout leur cycle sur des plantes de la même espèce ou apparentées : ce sont des types Monoéciques (Maameri, 2013).

À l'automne les insectes de la dernière génération à reproduction parthénogénétique sont appelés sexupares, qui donneront naissance à des mâles (sexupares andropares), à des femelles ovipares (sexupares gynopares) ou aux deux (sexupares amphotères)(Bouhroua, 1987). Après fécondation de la femelle ovipare, celle-ci pond ses œufs sur les parties lignifiées de la plante hôte (Laamari et *al*, 2011).

- Pour d'autres espèces, qui ne peuvent se reproduire sur la plante hôte où elles sont nées, ni sur des plantes voisines ou apparentées, elles émigreront sur des végétaux différents : ce sont des types dioeciques (Maameri, 2013).

Les insectes issus des générations qui se développent sur ces nouvelles plantes hôtes sont appelés virginogènes, ils sont aptères ou ailés (Laamari et *al*, 2011). Les formes à reproduction parthénogénétique sont appelées virginipares. Ensuite, ilss'envolent vers l'hôte primaire pour que les femelles ovipares et les mâles puissent engendrer l'œuf d'hiver(Bouhadiba, 2014).

En climat tempéré, la plupart des pucerons présentent un cycle complet ou holocycle, Sous d'autres climats, si les conditions le permettent, la phase de reproduction sexuée ne se fera pas (Laamari et *al*, 2011), il y aura une reproduction parthénogénétique exclusive : ces espèces sont dites anholocycliques. Dans ce cas-là, les pullulations de pucerons sont plus précoces, ceci dû aux hivers doux (Bouhadiba, 2014).

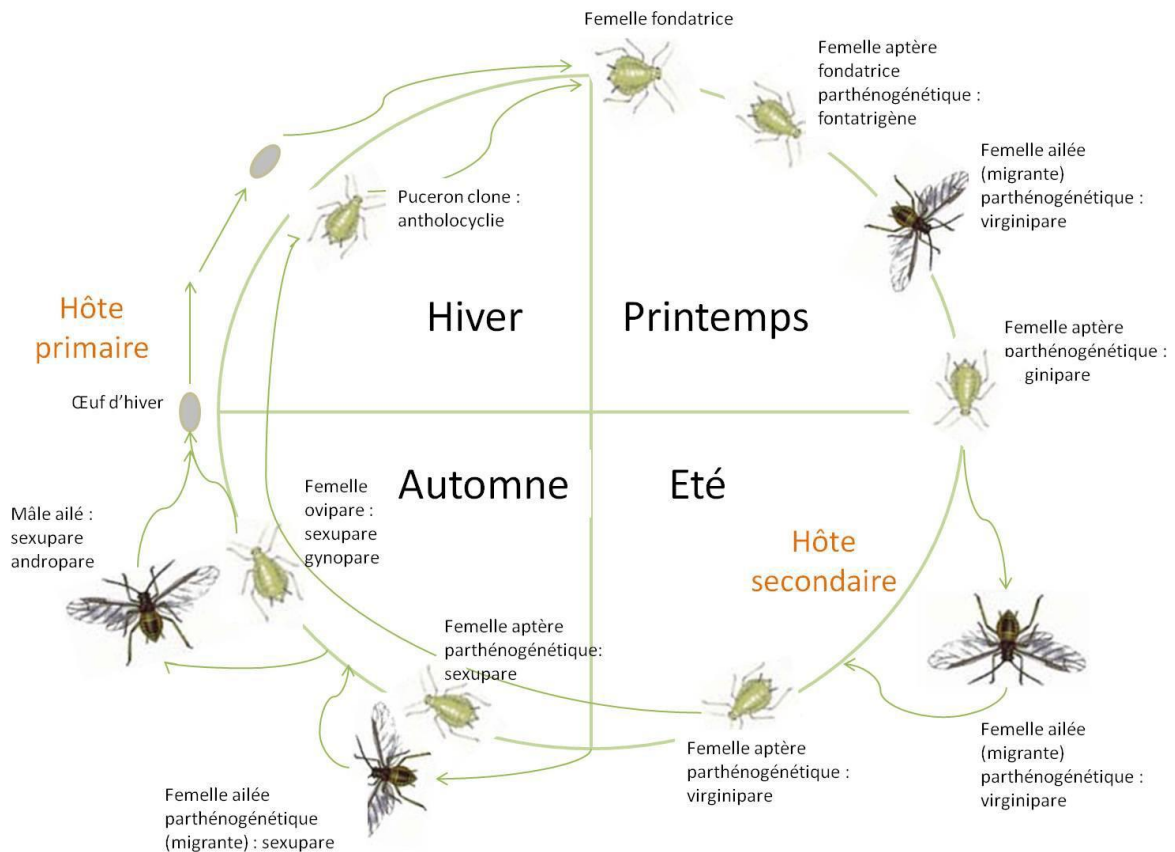


Figure n° 8 : Cycle biologique des pucerons (Leray, 2013).

III. L'espèce *Aphis spiraecola*:

Dénoté le puceron de la spirée ou encore, puceron vert de l'oranger. Originellement appelé *Aphis spiraecola* Patch, il a été rebaptisé *Aphis citricola* en 1975. Cette espèce est originaire d'extrême Orient, elle a été introduite en Amérique du nord en 1907, en Australie en 1926, en Nouvelle Zélande en 1931, dans la région méditerranéenne vers 1939 et en Afrique en 1961 (Backman et Eastop, 1984), il appartient à l'ordre des homoptères, et à la famille des Aphididea (Capinera, 2008 cité par Bouhadiba, 2014).

La répartition de cette espèce est influencée par les conditions climatiques qui interviennent également sur les pullulations, tels que les précipitations qui détruisent une forte proportion de pucerons ailés (Laamari et al., 2011). De même, l'espérance de vie des pucerons décroît également avec la température entre des limites définies (Cherfaoui, 2010). En effet, les températures extrêmes peuvent être un facteur létal important: ceci est très net à 30°C, température à laquelle aucun puceron ne pond plus de larve viable et à laquelle sa propre survie est minimale (Bouhadiba, 2014). Le froid est également un facteur limitant. Tous

ces facteurs sont très variables d'une espèce à une autre, ou d'une souche à une autre et d'une plante hôte à une autre. Mais on peut retenir qu'en pratique, à une température diurne de 20°C, le nombre de pucerons est susceptible de doubler en moyenne tous les trois jours, si toutes les conditions optimales de multiplication sont réunies (Bouhadiba, 2014).

III.1. Description morphologique :

Les virginipares aptères d'environ 2 mm de longueur ont la même couleur que les jeunes feuilles d'agrumes, à l'exception des pattes et des cornicules qui sont foncées, de teinte brunâtre à brun noir (Bouhadiba, 2014). Les virginipares ailées sont de couleur brun foncé à noir, sauf l'abdomen qui reste habituellement verdâtre. Les cornicules sombres qui vont en s'effilant et les antennes courtes permettent une distinction assez juste, mais pour confirmation, on peut vérifier le nombre des soies caudales et la longueur des soies fémorale (Bouhadiba, 2014).

III.2. Classification systématique

d'après Jourdan et Mille, 2006 in Bouabida, 2014, le puceron vert des agrumes est classé comme suit :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta

Ordre : Hemiptera

Famille : Aphididae

Sous famille : Aphidinae

Genre : *Aphis*

Espèce : *Aphis spiraecola* (Patch, 1914).

III.3. Cycle biologique :

Aphis spiraecola a été considérée d'une part comme une espèce holocyclique et d'autre part anholocyclique, cette dernière se reproduit dans plusieurs régions du monde et compte comme la plus fréquente (Lykouressis, 1990 in Bouhadiba, 2014).

III.4. Les dégâts causés par *Aphis spiraecola* sur l'espèce végétale:

L'enroulement des feuilles de *Citrus*: Les pucerons se nourrissent exclusivement aux dépend des plantes: ils sont phytophages (Stray, 1975). Les stylets permettent aux pucerons d'effectuer des piqûres dans les plantes et d'atteindre les faisceaux cribro-vasculaires du phloème, transporteurs de sève élaborée. Le trajet des stylets est généralement intercellulaire, quelquefois intracellulaire (Loukia, 1970).

Ce mode de nutrition a un certain nombre de conséquences sur la plante :

- La salive, sécrétée lors de l'insertion des stylets, provoque fréquemment une réaction du végétal. De plus, l'émission de salive ou le simple fait d'enfoncer les stylets dans la plante peut être une occasion de transmission de particules virales (Sylvester, 1988 in Abbou, 2012).

- Les pucerons prélèvent la sève élaborée et s'en nourrissent, les produits non assimilés ou transformés par l'insecte (principalement les hydrates de carbone) forment le miellat qui est rejeté sur la plante (Comeau, 1992 cité par Abbou, 2012). On peut donc définir 2 types de dégâts :

- Des dégâts directs associés aux ponctions de sève qui vont engendrer un affaiblissement général de l'arbre, la salive émise lors des piqûres d'alimentation va entraîner des réactions diverses: changement de couleur, enroulement des feuilles, crispation du feuillage, dessèchement de fleurs, induction de galles ou de chancres (Miles, 1989 in Abbou, 2012).

- Des dégâts indirects dus au miellat qui peut entraver l'activité photosynthétique de la plante, soit directement en bouchant les stomates, soit indirectement en permettant le développement sur celle-ci de champignons saprophytes tels que les fumagines de couleur noire (Maameri, 2013). L'enroulement des feuilles de *Citrus* est le phénomène le plus marqué, celui-ci est d'autant plus fort que la densité de population du puceron est élevée (Comeau, 1992 in Abbou, 2012). On assiste donc dès le printemps sur le feuillage tendre en cours de croissance, à un gaufrage des jeunes feuilles et à un allongement réduit du rameau (Argyriou, 1970).

En fin, Il existe de nombreuses maladies à virus susceptibles d'être transmises par les pucerons (Tahiri, 2007 cité par (Bouhadiba, 2014). Pour les agrumes, une virose est particulièrement redoutée par les agrumiculteurs: la Tristeza. Toutefois, cette maladie ne devrait pas avoir de répercussions grave à condition d'utiliser des portes greffes tolérants comme l'ont souligné (Bover et Cassin, 1968 in Bouhadiba, 2014).

IV- Lutte contre les pucerons:

Pour pallier aux effets néfastes des aphides dans l'agriculture, des chercheurs ont mis en évidence des méthodes de lutte contre ces redoutables ravageurs. Ces programmes ont pour objectif de réduire, réguler et contrôler les populations de ces insectes considérés comme les plus nuisibles, essentiellement par leur action vectrice de maladies virales.

L'homme se doit de maximiser sa production alimentaire. Pour ce faire, il doit éliminer ou réduire suffisamment l'abondance des espèces qui entrent en compétition avec lui, d'où est né le concept de la lutte intégrée.

La définition de la lutte intégrée donnée par l'OILB en 1978 est la suivante: « C'est un procédé de lutte contre les organismes nuisibles, qui utilise un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance » (Le Nail, 1980 *in* Doumandji-Mitiche et Doumandji, 1993).

Parmi ces procédés de lutte, il y a les moyens culturels, les moyens chimiques et les moyens biologiques.

IV.1. Les moyens de lutte culturale:

La taille donne non seulement la vigueur à la plante et donc une résistance aux maladies, mais permet aussi, l'élimination de certains foyers d'hivernation de ces ravageurs, se trouvant sur rameaux, branches et feuilles. Elle permet également d'éviter la création d'un microclimat favorable à la pullulation des pucerons.

Selon Nicolas (1992), le brossage des troncs et la pose d'un badigeon à l'argile pendant l'hiver, diminue fortement les risques d'attaque massive. Mais pour empêcher les fourmis de provoquer l'extension rapide des colonies, la pose d'un manchon contenant un répulsif sur le tronc des arbres permettra une bonne protection.

Aussi, les labours augmentent la résistance de la plante. En effet, une déficience dans l'aération des racines accroît le niveau des acides aminés des feuilles par conséquent la pullulation du ravageur, en l'occurrence les pucerons (Chaboussou, 1975).

Dans la lutte contre les aphides, l'élimination de la végétation spontanée s'avère très importante, car les pucerons colonisent la végétation spontanée des zones non labourées ou non binées. Ces plantes sauvages sont bien souvent la source des pucerons ailés qui vont s'installer dans les cultures réceptives.

IV.2. Les moyens de lutte chimique:

Dans le souci de maintenir un état sanitaire des vergers compatible avec les exigences économiques, des mesures de lutte, sous forme de traitements aphicides, sont effectuées chaque année à l'encontre de plusieurs pucerons.

Les traitements aphicides doivent viser à toucher et bien mouiller les colonies existantes. Pour atteindre les pucerons protégés par les feuilles enroulées, il faut utiliser un produit systémique ou faire une pulvérisation très fine (type brouillard) pénétrant bien dans la végétation.

Le choix de la matière active est un autre élément à retenir. Certes les produits spécifiques sont d'un coût plus élevé, mais ils ont l'avantage de ménager les auxiliaires. De même, il faut que les doses soient bien étudiées, de manière à éviter de tuer les ennemis naturels (Bayoun et *al.*, 1995).

Les produits les plus couramment utilisés sont le Karaté à une dose de 10L/ha, le Lannate à 9L/ha et le Cytrol Alpha à 7L/ha.

L'époque la plus favorable pour les applications insecticides contre les pucerons se situe au printemps (moment où les fondatrices vont donner plusieurs générations de femelles parthénogénétiques appelées fondatrigènes). Il est nécessaire d'intervenir dès l'apparition des premières colonies.

Le nombre d'applications varie selon les années, les régions et surtout selon l'importance des attaques.

IV.3. La lutte prophylactique :

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour limiter les pullulations de pucerons telles que :

- L'utilisation des variétés résistantes. Cette technique apparait aujourd'hui comme l'une des composantes majeures de la stratégie de lutte contre ces insectes (Verheij et Waaijenberg, 2008).

- L'utilisation de plants indemnes de toute infestation (Abbou, 2012).

- L'application modérée de la fertilisation azotée, puisque son utilisation excessive rend les plantes plus sensibles aux pucerons (Lette et *al.*, 2007 cité par Abbou , 2012).

- Destruction des mauvaises herbes, qui peuvent servir de refuge aux pucerons.

- La surveillance des populations de puceron par l'installation des pièges jaunes englués.

- La pratique d'une rotation appropriée des cultures avec enfouissement ou destruction des résidus de cultures après récoltes (Abbou, 2012).
- Le semis de plante relais, permet d'installer les auxiliaires plus tôt dans la culture (Soucy, 2010).
- Favoriser une irrigation adéquate, étant donnée qu'un excès d'eau favorise le développement des populations de pucerons (Asawalam et *al.*, 2007).

IV.4. La lutte physique

L'utilisation de choc thermique contre les pucerons constitue un moyen de lutte appréciable. En effet, des travaux ont expérimentés la fécondité des pucerons, sous l'effet d'une température de 30°C, il a été remarqué qu'à cette température la fécondité s'annule (Dereggi, 1972 in Abbou A, 2012). D'autres expériences menés par Rabasse (1976), en culture protégée ont montré que le choc thermique provoqué par la fermeture des ouvrants portant la température de 23°C à 34°C puis à 45°C en 2 heures et maintenue pendant 3 heures, entraîne la mort de 90% des populations aphidiennes.

IV.5. La lutte biologique

La lutte biologique telle qu'elle a été définie en 1971 par l'organisation internationale de lutte biologique (OILB) peut être considérée, dans son sens le plus strict, comme « l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour empêcher ou réduire les pertes ou dommages causés par des organismes nuisibles » (Abbou, 2012). Ce concept fait également référence à toute modification de l'environnement, dans le respect des règles écologiques de stabilité et d'équilibre, qui conduisent au maintien des organismes nuisibles en dessous d'un seuil économique (Maameri, 2013). La grande diversité des ressources biologiques en principe exploitables en lutte biologique donne lieu à diverses techniques utilisables (Cloutier et Cloutier, 1992).

Les auxiliaires qui se nourrissent de pucerons sont nombreux (Cherfaoui, 2010). On distingue les insectes, les arachnides et les champignons entomopathogènes. Le mode d'alimentation des insectes permet de les subdiviser en deux groupes : les prédateurs et les parasitoïdes (Abbou, 2012).

Selon Dajoz (1980), les insectes peuvent être utiles tels que les parasites et les prédateurs, dont le rôle n'est pas négligeable dans la régulation des espèces nuisibles.

Les prédateurs de pucerons sont des insectes polyphages, qui se nourrissent de nectar ou pollen, outre les pucerons, et parfois d'autres ravageurs (Malais et *al.*, 2006).

IV.5.a. Insecte prédateurs**▪ Les Coléoptères prédateurs**

Les coléoptères ont les ailes antérieures (élytres) épaisses et cornées, qui, à l'exception des staphylins, couvrent la totalité de l'abdomen. Les pièces buccales sont broyeuses. Les coléoptères ont une métamorphose complète avec quatre états bien caractérisés: œuf, larve, nymphe et adulte (Bouhroua, 1987 ; Abou, 2012). Les larves sont très différentes des adultes, mais ont, la plupart du temps, le même type de nourriture (Ronzon, 2006). Les prédateurs de puceron se rencontrent parmi les familles de coléoptères suivantes :

✓ Les coccinelles

Les coccinelles sont de petites tailles, très bombées et de forme circulaire. Les couleurs sont vives et les dessins très variables, 65% sont aphidiphage. Elles ne développent généralement qu'une génération par an, le stade larvaire dure un mois (Bouhroua, 1987; Maameri, 2013). En cas de forte attaque de pucerons, la coccinelle ne s'adapte pas. En revanche, elle est précoce au printemps et donc capable de combattre efficacement les premières pullulations de pucerons (Iperti, 1985 in Abbou, 2012).

✓ Les carabiques

Ce sont des prédateurs d'insectes vivant le plus souvent au niveau du sol. Les larves, vivant dans le sol, comme l'adulte sont carnivores (Ronzon, 2006 ; Maameri, 2013). Ils sont actifs la nuit. Les pattes, longues et fortes, sont adaptées à la course. Les adultes sont des chasseurs et consomment essentiellement des limaces, des escargots, des vers de taupin et des pucerons (Ronzon, 2006).

✓ Les staphylins

Ils sont de taille très variable. Les élytres ne couvrent qu'une faible partie de l'abdomen. En position de défense, l'abdomen se relève en forme d'arc de cercle (Ronzon, 2006).

✓ Les cantharides

Ils présentent des élytres mous. Les adultes colonisent les graminées et les ombellifères, se nourrissant de pucerons et autres ravageurs des cultures. Les larves, également prédatrices, vivent dans le sol (Rougon, 2004 cité par Abbou A, 2012).

▪ Les Diptères

Ils sont communément appelés mouches. Ils sont caractérisés par leur unique paire d'ailes antérieures, les postérieures étant transformées en balancier (Haltères) (Bouhroua, 1987). L'appareil buccal peut être piqueur ou suceur sous forme de trompe. Les diptères ont une métamorphose complète (œuf, larve, puppe, adulte). Les adultes sont floricoles. Les larves de diptères entomophages sont apodes (Abbou, 2012). Ces larves ont leur appareil buccal

constitué de stylets ou de crochets buccaux avec lesquels elles consomment leurs proies (Maameri, 2013). Les deux familles dont les larves sont prédatrices de pucerons sont :

✓ **Les syrphes**

Les adultes se nourrissent de pollen et de nectar. Leur corps est souvent rayé de jaune et noir, ressemblant à des petites guêpes (Abbou, 2012). Les syrphes se reconnaissent facilement à leur vol stationnaire et rapide. La voracité larvaire est de l'ordre de 500 pucerons en seulement 10 à 12 jours. Le bagage enzymatique de la larve est particulièrement riche, ce qui lui permet d'affronter des espèces de pucerons très diverses (Sarhou, 2006).

✓ **Les cécidomyies**

Les adultes chez ces espèces se nourrissent de pollen. Leur corps est fin. Ce sont de petites mouches de 2,5mm (Abbou, 2012). La larve est efficace en Été et à l'Automne. Elles est rouges et assez difficiles à voir. Son développement larvaire est de 3 à 6 jours. Une larve du genre *Aphidoletes* peut consommer de 7 à 20 pucerons par jour (Ronzon, 2006).

• **Les Névroptères**

Ces insectes se caractérisent par deux paires d'ailes disposées en toit au repos et qui comportent de nombreuses nervures. Ils ont une métamorphose complète. Les familles, dont les larves consomment des pucerons sont les *Chrysopes* et les *Hémérobés*. Une larve peut consommer 500 pucerons sur 15 à 20 jours. Les adultes sont floricoles (Ronzon, 2006).

✓ **Les chrysopes**

L'espèce la plus fréquente est la chrysope verte commune *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Elle est considérée comme la plus efficace et elle est largement utilisée en lutte biologique en Europe et en Amérique du nord (Tauber et al., 2000, Capinera, 2008).

✓ **Les hémérobés**

La morphologie de ces insectes rappelle celle des chrysopes, mais ils sont plus petits, trapus, et ont un corps légèrement velu et roux à brun. Ils fréquentent des biotopes variés, qui dépendent des espèces : bois, sous-bois, arbres à feuilles caduques ou permanentes. Les œufs des hémérobés, ovales et beige, ne sont pas fixés au support par un pédoncule comme chez les chrysopes, mais déposés directement sur le végétal. Les larves sont dotées de crochets plus courts et moins incurvés. Les larves et les adultes sont particulièrement voraces et consomment essentiellement des pucerons et des acariens. Il existe une à trois générations par an (Lacroix, 1912 in Abbou, 2012).

- **Les Héétéoptères**

Selon Ronzon (2006), les insectes de cet ordre sont plus connus sous le nom de punaises. Ce sont des insectes de forme et de taille très variée. Leurs pièces buccales sont constituées par un rostre articulé. Leurs ailes postérieures sont membraneuses et les ailes antérieures (hémélytres) sont sclérifiées de façon hétérogène. Les Héétéoptères n'ont pas de métamorphose au sens strict, et suivent une évolution progressive de la larve jusqu'à l'adulte. Certaines familles sont phytophages, d'autres carnivores. Les familles auxiliaires contre le puceron sont les Anthocorides (genre Orius ou Anthocoris), les Mirides et les Nabides.

IV.5.b. Arachnides prédateurs

Les Arachnides, prédateurs de pucerons sont :

- **Les acariens**

Les acariens, sont des ravageurs fréquents, mais quelques-uns sont prédateurs d'acariens, de thrips et de pucerons. Les prédateurs sont de la famille des Phytoséiidae, appelés également «Typhlodrome». Leur corps est en forme de poire et une coloration qui varie de blanc jaunâtre à rougeâtre selon les espèces ou selon leur nourriture. Les acariens sont souvent utilisés en lutte biologique (*Neoseiulus californicus* et *Phytoseiulus persimilis*) (Ronzon, 2006).

- **Les araignées**

Elles sont toutes, prédatrices polyphages. Les araignées présentent sur les cultures mesurent entre 1 et 15mm. Elles chassent ou tissent un piège. Leur rôle précis dans l'élimination des ravageurs est insuffisamment connu (Mandrin, 2004 cité par Abbou, 2012).

- **Les opilions**

Ils ressemblent aux araignées. Le corps n'est pas séparé (la limite entre la carapace et l'abdomen étant très difficile à localiser). Ils ne produisent pas de soie. Ils sont généralement nocturnes et se nourrissent de petits animaux vivants ou morts (Ronzon, 2006).

IV.5.c. Les parasitoïdes

Les parasitoïdes se différencient des prédateurs en présentant une phase libre: les stades œuf, larve et nymphe sont parasites tandis que l'adulte est libre (Abbou, 2012). Il s'agit d'insectes appartenant à l'ordre des diptères dont les familles Bombylidae et Tachinidae, ainsi que des Hyménoptères (Ichneumonidae, Chalcidoïdae, Serphoïdae, Braconidae) (Boualem et al., 2014). Ils peuvent être ectoparasites (à l'extérieur de leur hôte) ou endoparasites (à

l'intérieur de leur hôte). Ils sont solitaires (un individu par hôte) ou grégaires (plusieurs individus par hôte) (Pintureau, 2001).

- **Les Hyménoptères**

Les hyménoptères parasitoïdes constituent un groupe très vaste et très diversifié, qui compte près de 200 000 espèces décrites (Hassel et Waage, 1984). Ces parasitoïdes jouent un rôle très important dans la régulation des populations de leurs hôtes, puisqu'ils représentent 82% des auxiliaires utilisés avec succès en lutte biologique (Van Lenteren, 1983).

Les hyménoptères ont quatre ailes transparentes (Boualem et *al.*, 2014). Leurs pièces buccales sont de type broyeur ou de lécheur avec des mandibules toujours fonctionnelles (Maameri, 2013). Ils ont une métamorphose complète. De nombreuses espèces sont carnivores à l'état larvaire et nectarivores à l'état adulte (Villemant, 2006 cité par Abbou A, 2012).

Les familles qui parasitent le puceron appartiennent au sous ordre des Apocrites : Ichneumonidae, Brachonidae et Aphelinidae (Boualem et *al.*, 2014). Ces hyménoptères pondent un œuf dans le corps du puceron, ce sont des endoparasitoïdes, La larve se développe à l'intérieur, ce qui entraîne sa mort. La nymphose a lieu dans la momie du puceron, puis l'adulte s'écoule en y forant un trou (Reboulet, 1999 ; Maameri, 2013). Ils sont inféodés à un ou quelques hôtes: ils sont donc très spécifiques.

Une spécificité d'hôte élevée, une durée de génération courte, une bonne synchronisation phénologique avec son hôte et enfin une fertilité élevée lui confèrent une efficacité potentielle intéressante en lutte biologique (Freuler et *al.*, 2001).

- **Les diptères**

Principalement les tachinaires qui sont des mouches parasitoïdes. Il existe de nombreuses espèces avec différents modes de ponte. Chez certains, les œufs sont déposés sur le feuillage et ingérés par l'hôte (Bouhroua, 1987; Maameri, 2013). Chez d'autres, la ponte a lieu sur l'hôte directement à l'intérieur de ce dernier. Enfin, il existe des espèces qui pondent sur le sol. Après éclosion, les larves de très petite taille devront rechercher une hôte (chenille, par exemple) par leurs propres moyens (Vincent et Codere, 1992).

IV.5.d. Les champignons entomopathogènes

De nombreuses espèces de champignons microscopiques peuvent engendrer des maladies, appelées mycoses. Ces champignons sont principalement du genre *Beauveria* et du genre *Entomophthora* (famille des entomophthorales) (Abbou, 2012). Ce dernier attaque notamment les pucerons. Leur impact dépend du climat et du milieu de culture : à

température adéquate ($> 20^{\circ}\text{C}$) et d'humidité relative ($> 85\%$). Les entomophthorales peuvent créer une véritable épizootie (Reboulet, 1999). Le puceron est tué par une toxine qu'émet le champignon, Le mycélium envahit la cavité du puceron, qui devient alors une momie. Le champignon fructifie et contamine l'ensemble de la colonie par ses spores. Il y a sporulation et projection de conidies qui infectent d'autres individus. Dans ce cas, il est important que l'hygrométrie soit élevée (Chaubert, 1992). Selon Sauvion (1995), les entomophthorales sont utilisés comme de bio-pesticides potentiels pour la lutte contre les pucerons.

Chapitre 3

***Métarhizium sp* dans la lutte biologique**

Introduction

Les champignons sont des eucaryotes avec des noyaux, des organites bien définis et une paroi cellulaire chitineuse. Ils se présentent parfois sous forme de cellules individuelles, comme les levures mais le plus souvent sous forme de filaments (hyphes) constituant le mycélium et dans lesquels sont rangées les cellules. Leur reproduction se fait par formation de spores sexuées ou asexuées.

Parmi lesquels, plus de 700 espèces de microchampignons sont entomopathogènes (Starnes et al., 1993). Ces derniers, jouent un rôle important dans la régulation naturelle des populations d'insectes (Wraight et Roberts, 1987 ; Ferron, 1978).

Les champignons entomopathogènes

Ils appartiennent au sous-taxon des *Mastigiomycotina*, *Zygomycotina*, *Ascomycotina* et *Deuteuromycotina*. Le plus grand nombre de pathogènes se trouvent dans la classe des Zygomycètes, mais les plus utilisées en lutte biologique proviennent des Deuteromycètes (Fungi imperfecti). Les espèces des genres *Beauveria*, *Metharizium*, *Verticillium*, *Erynia*, *Hirsutella*, *Entomophthora* et *Entomophaga* sont les plus utilisées en lutte biologique (Wraight et Roberts, 1987 ; Goettel, 1992).

Les microchampignons entomopathogènes sont des agents de lutte très intéressants du fait de leur aptitude à infecter l'hôte par ingestion ou par simple contact rendant tous les stades, œuf, larves et adulte sensibles. (Carruthers et Soper, 1987). Ils peuvent être produits en masse à moindre coût, et peuvent être appliqués avec les méthodes conventionnelles. (Fargues, 1972 ; Roberts et Cambell, 1977; Gardner et al., 1977; Ignoffo et Hosterrerr, 1977; Hall et Papierok, 1982; Ramoska, 1984; Riba et Marcandier, 1984 ; Khachatourians, 1986 ; Silvy et Riba, 1999).

Modes d'action des champignons entomopathogènes

Des mycoses se manifestent par des envahissements superficiels, exocuticulaires ou endocuticulaires, n'entraînant pas de troubles sérieux. Mais presque tous les champignons entomopathogènes infectent leurs hôtes en pénétrant par la cuticule grâce à diverses enzymes libérées pendant la germination des spores (Ainsworth, 1983 ; Nicolai et Jorgen, 2007). En effet, ces derniers envahissent la cavité générale. Une fois dans l'hémocèle, le champignon se multiplie rapidement par bourgeonnement ou scission des hyphes, ce qui produit des cellules de type levure, disséminées dans tout le corps de l'insecte. Les filaments mycéliens entourent les trachées et provoquent la mort par asphyxie ou par inanition, lorsque le mycélium a

colonisé la plupart des organes. Parfois, l'hôte est tué par des toxines et, dans ce cas, le mycélium se développe dans le cadavre (saprophyte). Les hyphes, qui poussent très rapidement, absorbent des substances nutritives et de l'eau, ce qui déshydrate complètement l'insecte et le momifie (Greathead et *al.*, 1994).

Le passage des filaments mycéliens à travers la cuticule de l'insecte se fait indifféremment de l'extérieur vers l'intérieur du corps ou vice-versa (Balachowsky, 1951 et Greathead et *al.*, 1994).

I. Le genre *Metarhizium*

I.1. Généralités

Metarhizium sp est l'agent de la muscardine verte chez les insectes qui débute par le durcissement du corps, avec coloration du tégument jaunâtre. Après la mort, les insectes se couvrent du mycélium blanc, réparti en touffes chez les larves et les imagos. Au bout d'un certain temps, le champignon fructifie et le cadavre devient vert (Amouriq, 1973). Cette espèce secrète des enzymes très toxiques pour les acridiens (Duranton et *al.*, 1987). *Metarhizium anisopliae* était le premier pathogène utilisé délibérément pour le contrôle d'insecte ravageur par le Russe Eli Metchnikoff (1880) (le père de la lutte microbiologique) dans les années 1880 (Starnes et *al.*, 1993).

I.2. Taxonomie

-Règne	:	Mycota
-Embranchement	:	Eumycota
-Sous Embranchement	:	Deuteromycotina
-Classe	:	Hyphomycetese
-Sous classe	:	Deuteromycetes
-Ordre	:	Moniliales
-Famille	:	Phialosporaceau
-Genre	:	<i>Metarhizium</i>
-Espèce	:	<i>Metarhizium anisopliae</i> et <i>Metarhizium flavoviride</i> .

II. Place du champignon *Metarhizium sp* dans la lutte biologique

Le champignon *Metarhizium* est présent dans la plupart des sols du globe et utilisé contre les insectes ravageurs (Luong, 1992).

II.1. *Metarhizium anisopliae*

La maladie causée par cet entomopathogène débute par le durcissement du corps, avec apparition de coloration jaunâtre. Après la mort, les insectes se couvrent du mycélium blanc, réparti en touffes chez les larves et les imagos. Au bout d'un certain temps le champignon fructifie et le cadavre devient vert (Amouriq, 1973). Cette espèce secrète des enzymes très toxiques pour les acridiens (Duranton et al., 1987).

II.2. *Metarhizium flavoviride*

L'agent de la muscardine verte *M. flavoviride* est un champignon microscopique qui peut être aisément identifié par la forme des conidies. Elles sont ovales, vertes, mesurent 6µm de longueur pour 2 à 3µm de diamètre et sont produites en chaînes, les conidiophores sont relativement courts irrégulièrement ramifiés ou non et arrangés en groupes compacts formant une masse de spores (Greathead et al., 1994).

La pénétration du champignon se fait par les hyphes à travers le tégument. Elle peut se faire aussi par la pénétration des spores à travers les stigmates et par le tube digestif.

III. Mode d'action des *Metarhizium*

La phase d'adhésion: Les interactions entre les spores des champignons et la cuticule des insectes, incluent des phénomènes plus actifs. Les spores transportées mécaniquement se fixent sur la cuticule de l'insecte en produisant une couche de mucus adhésif (St Leger et al., 1989).

La phase de germination: Le champignon puise les éléments nutritifs dans le milieu environnant. Au niveau de la cuticule, les conidies donnent naissance à un tube germinatif. Sa longueur varie selon la composition de la cuticule (St Leger et al., 1989 ; Bidoshka et al., 1997).

La phase de pénétration: La stratégie de pénétration de l'entomopathogènes à travers la cuticule de l'insecte est assurée par la formation d'un apprésorium: c'est un hyphe de pénétration qui dégrade la cuticule de l'insecte après une action enzymatique (Bidoshka et al., 1997). Une fois la cuticule hydrolysée des hyphes se développent dans l'hémocèle en blastopores. L'hémolymphe des insectes est complexe avec une composition de nitrogène et

de carbone, source de nutriments pour les champignons. Au niveau de l'hémolymphe le champignon secrète des toxines sous le nom de destruxine cyclodepeptidase. Elle serait impliquée dans un mécanisme cellulaire bloquant le contrôle de la synthèse du calcium en provoquant une paralysie suivie de la mort (Bidoshka et *al.*, 1997).

Partie expérimentale

Chapitre 1

Matériels et méthodes

Matériel et méthodes

I. Objectif :

Notre travail a pour but de tester, l'efficacité de la souche représentant la matière active du biopesticide « Green muscle », en l'occurrence *Metarhizium anisoplae* sur les adultes du puceron des agrumes *Aphis spiraecola*.

II-Présentation du site expérimental

L'étude a été réalisée au laboratoire de protection des végétaux de l'Université de Mostaganem et au niveau du laboratoire de la station INPV de Mostaganem.



Figure n° 9 : Localisation de la station INPV de wilaya de Mostaganem.

II.1.Matériel végétal

Notre étude a exigé l'utilisation de feuilles d'agrumes pour le test "in vitro", et de plants d'agrumes pour l'étude "in vivo".

Les feuilles d'agrumes ont été récoltées à partir du verger agrumicole située à la station expérimentale de l'université de Mostaganem.

Les plants de bigaradier qui ont servi à réaliser le test "in vivo", proviennent d'une pépinière située dans la région de Debdaba, Mostaganem.



Figure n°10 : les plants de bigaradiers utilisés pour le test "in vivo" (Originale, 2017).

II.2. Matériel animal :

L'espèce *Aphis spiraecola* a été retenue pour cette étude car c'est l'espèce aphidienne la plus importante et la plus dominante relevée sur les agrumes. Elle est considérée comme une espèce holocyclique et d'autre part anholocyclique, cette dernière se reproduit dans plusieurs régions du monde et compte comme la plus fréquente (Lykouressis, 1990).

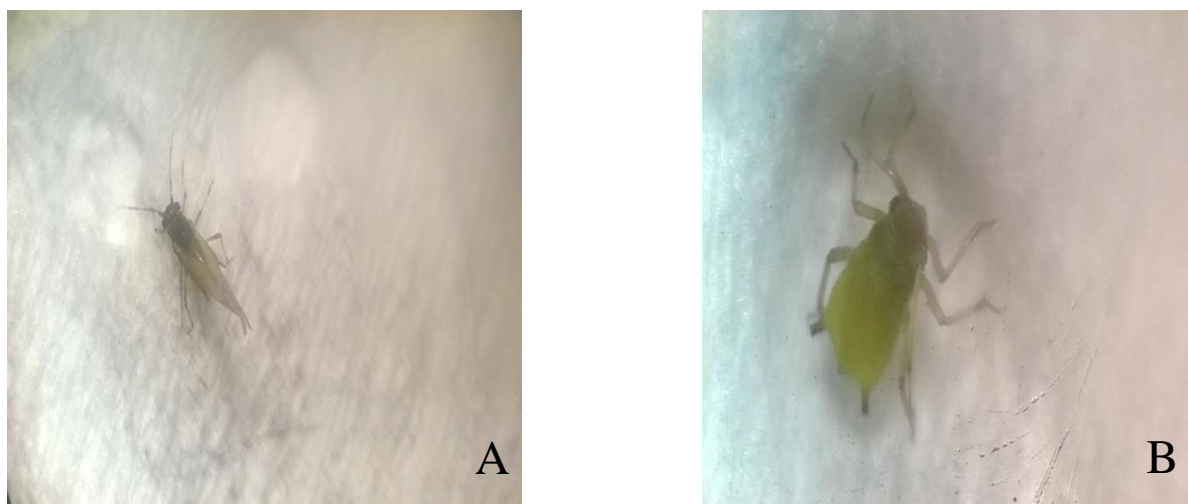


Figure n°11 : puceron adulte : A : Puceron ailé ; B : Puceron aptère (Originale, 2017).

II.3. Matériel fongique:

Le champignon utilisé pour le test, la souche *Metarhizium anisopliae* var *acidum* a été isolé à partir du bio insecticide « Green muscle » provenant de l'Institut Nationale de la Protection des Végétaux.

III. Conduite des essais

III.1. Conduite de l'essai "in vitro"

Des boîtes de pétris, dont le fond est recouvert d'une couche de papier absorbant humide ont été préparées. Dans chaque boîte on dépose une feuille d'agrumes pour permettre le bon développement des insectes durant la période d'observation. 20 pucerons adultes sont déposés dans chaque boîte.

L'inoculation des pucerons (vivants et non parasités) a été effectuée par pulvérisation d'une suspension conidienne du champignon retenu.

Cinq doses de suspensions de spores sont préparées pour lesquelles on ajoute une goutte de Tween 80. A savoir: 10^6 , 10^5 , 10^4 , 10^3 et 10^2 spores/ml.

Pour chaque concentration testées, 20 pucerons adultes non parasités, sont déposés dans quatre boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre. Ces boîtes contiennent chacune une feuille de *Citrus* saine.



Figure n°12 : Dispositif expérimental de l'étude de l'effet "in vitro" de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la mortalité de *Aphis spiraecola*.

III.2. Conduite de l'essai "in vivo"

Pour le test "in vivo", cinq plants de bigaradier sont déposés chacune à l'intérieur d'une cage. Ces derniers sont infestés de pucerons sains, non parasités ; à raison de 20 pucerons par plant. Chaque plant est traité par une dose unique de la solution conidienne de *Metarhizium anisopliae* var *acridum*



Figure n°13 : Dispositif expérimental de l'étude de l'effet "in vivo" de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la mortalité de *Aphis spiraecola*.

Un comptage quotidien des individus morts, est effectué pour estimer le taux de mortalité pour chaque concentration. Chaque feuille infestée est ausculté sous une loupe binoculaire pour le comptage des individus mort, en parallèle nous avons retenue un témoin pour la comparaison des données.

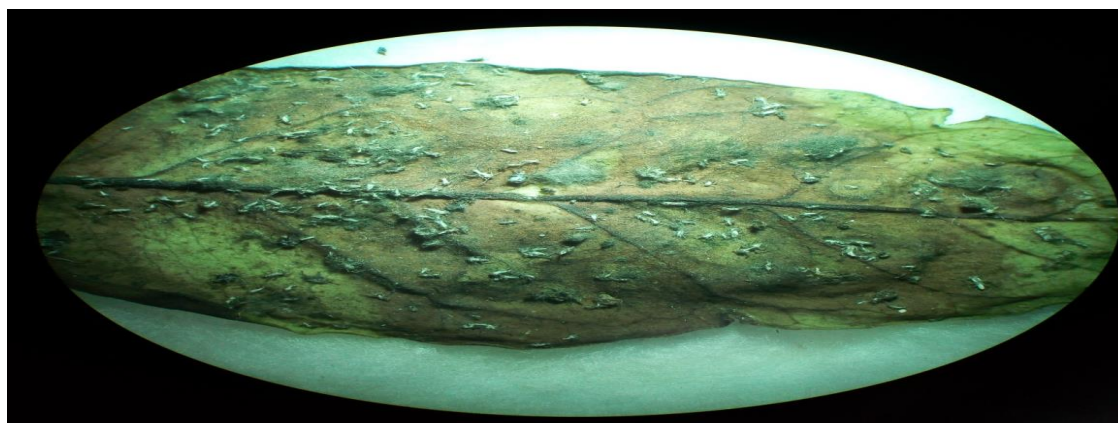


Figure n°14 : Des adultes de puceron sous l'effet de traitement (original, 2017).

À chaque contrôle, les insectes morts sont éliminées avant la sporulation du pathogène pour éviter la transmission horizontale de l'infection.

La mortalité corrigée est calculé selon la formule de Schneider et Oreilli:

$$\text{Mortalité corrigée (MC \%)} = \frac{M_2 - M_1 * 100}{100 - M_1}$$

M_2 : Pourcentage de mortalité dans le lot traité.

M_1 : Pourcentage de mortalité dans le lot témoin.

Pour évaluer l'efficacité du champignon testé sur les pucerons, le pourcentage de mortalité est transformé en probits, la régression du logarithme de la dose en fonction des probits des mortalités a permis de déterminer la dose létale pour 50% de la population testé (DL 50). Cette dernière est la référence pour déterminer la toxicité aigue d'un produit.

Chapitre 2

Résultats et discussions

Résultats et Discussion

I. Résultats et interprétations

La Fig. 15, représente L'aspect macroscopique et microscopique de l'isolat *M. anisopliae* var *acridum*

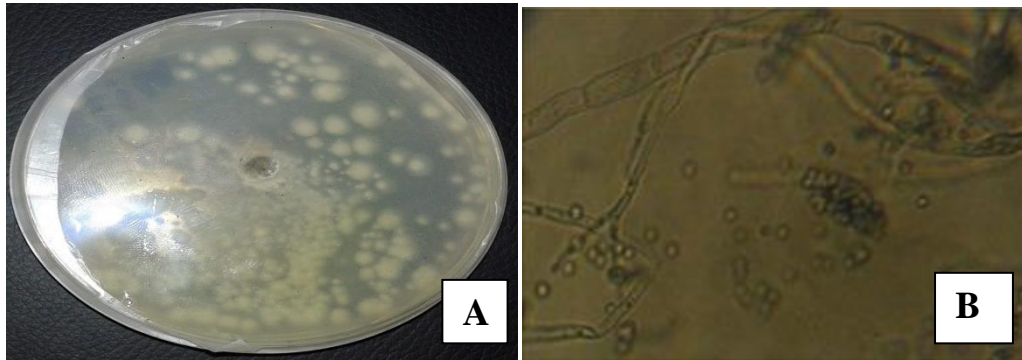


Figure n° 15 : Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) de *Metarhizium anisopliae* (a) (X40) (Originales, 2017).

Cette espèce est connue pour son pouvoir entomopathogène sur les criquets. La couleur des colonies est verte. Leur aspect microscopique, montre que leur fructification se fait sous forme de phialides ; ces derniers donnent naissance aux conidies ou phialospores.

Les phialides peuvent être uniques, en paires ou plusieurs, produites à partir d'une chaîne basale, elles sont compactes en colonnes longues ovoïdes voire cylindriques.

En masse les phialides présentent une coloration vert-olive. Les conidies sont de forme allongée plus ou moins cylindrique.

I.1. L'effet "in vitro" de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la mortalité de *Aphis spiraecola*.

La figure 16, représente la mortalité des pucerons verts sous l'effet des différentes doses de *Metarhizium anisopliae* var *acridum*.

Les résultats obtenus montrent que ce champignon a réussi avec 10^6 spores/ml à éliminé 100 % de la population dans une période de 07 jours, avec 10^5 spores /ml en 08 jours, et en 09 jours pour 10^4 spores /ml. Les autres doses n'ont pas réussi à éliminer la totalité de la population aphidienne du lot. L'analyse de variance, a montré que les doses de la solution de spores ont un effet significatif sur la mortalité des pucerons, dans le temps comparativement au témoin.

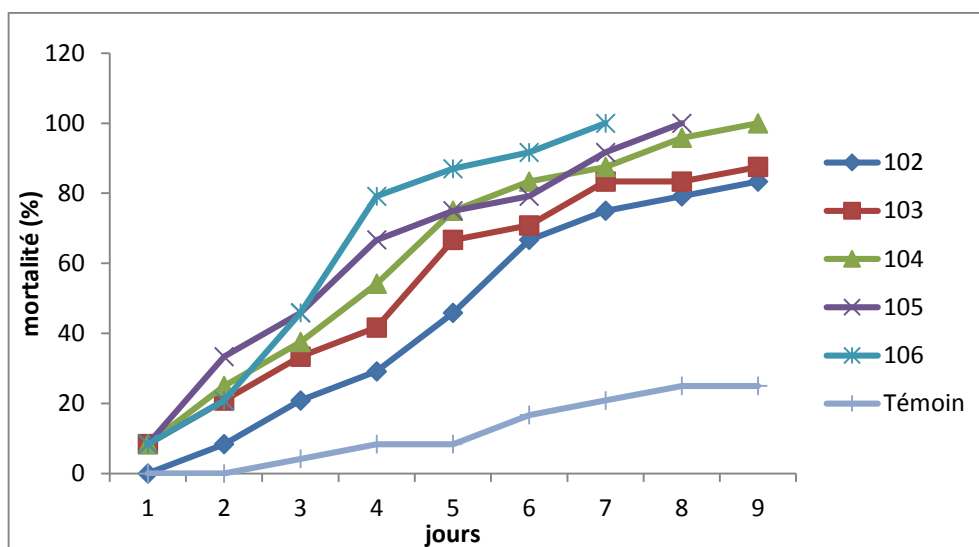


Figure n°16 : Effet "in vitro" des différentes concentrations de *M. anisopliae* var *acridum* sur la mortalité des adultes de *Aphis spiraecola*.

La figure 17, représente la relation proportionnelle qui existe entre les différentes doses et le taux de mortalité de l'isolat testé. Il existe une corrélation positive entre les doses de de *M. anisopliae* var *acridum* et la mortalité des pucerons verts des agrumes *Aphis spiraecola* avec un coefficient de corrélation de 0,7. On remarque également que la DL50 est de $10^{3.20}$ spores/ml.

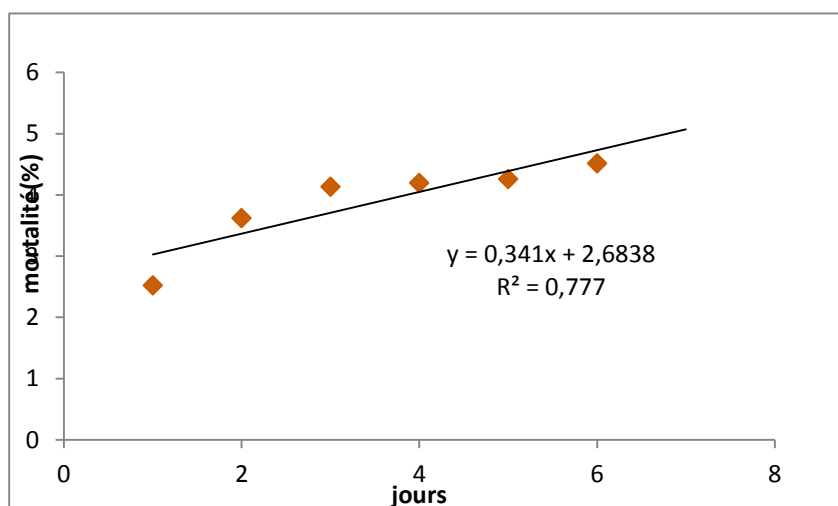


Figure n°17 : Taux de mortalité des pucerons verts des agrumes (*Aphis spiraecola*) sous l'effet de *M. anisopliae* var *acridum* enregistré le sixième jour du traitement.

I.2. L'effet "in vivo" de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la mortalité de *Aphis spiraecola*.

Les résultats de la mortalité des pucerons verts des agrumes suite à leur inoculation par *M. anisopliae* var *acridum* sont représentés en annexe et la Figure 18. D'une manière générale, nous avons enregistré des mortalités dans l'ensemble des lots traités. On remarque, que la mortalité augmente en fonction des doses du champignon testé.

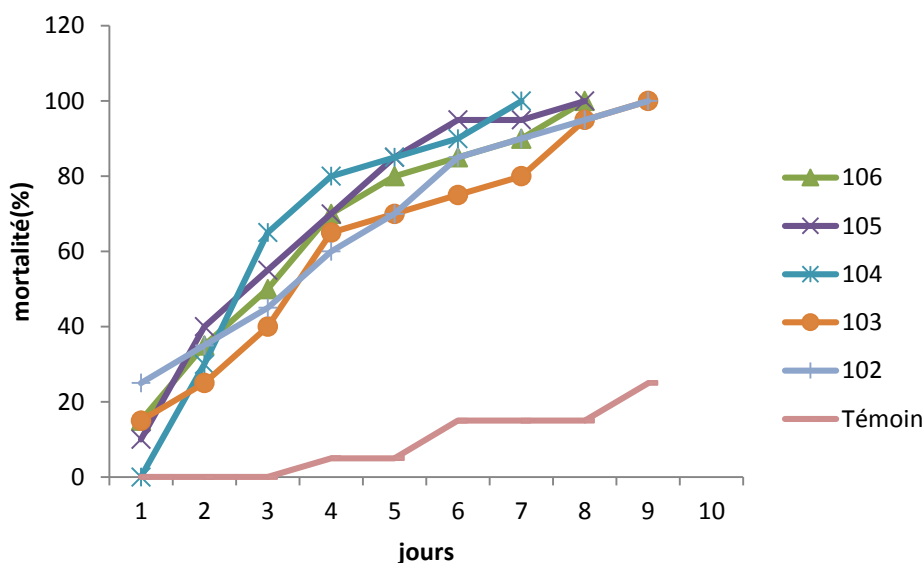


Figure n° 18: Effet des différentes concentrations de *M. anisopliae* var *acridum* sur la mortalité des adultes de *Aphis spiraecola*.

Les résultats obtenus montrent que ce champignon a réussi avec 10^6 spores/ml à éliminé 100 % de la population dans une période de 6 jours, avec 10^6 et 10^5 spores/ml en 8 jours, avec 10^4 spores /ml en 07 jours, et en 9 jours pour 10^3 et 10^2 spores /ml.

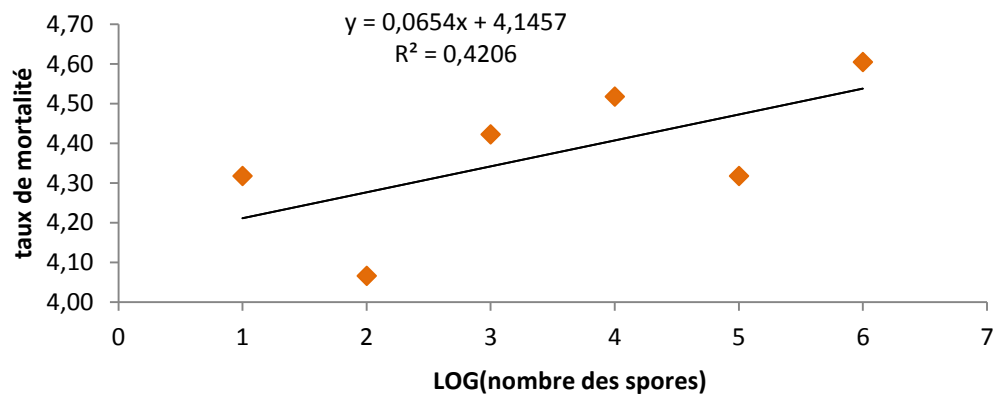


Figure n° 19 : Taux de mortalité des pucerons verts des agrumes (*Aphis spiraecola*) sous l'effet de *M. anisopliae* var *acidum* enregistré le sixième jour du traitement

La figure 12, représente la relation proportionnelle qui existe entre les différentes doses et le taux de mortalité de la souche testée. Cette dernière démontre une corrélation positive entre les doses de *M. anisopliae* var *acidum* et la mortalité des pucerons verts des agrumes avec un coefficient de corrélation de 0,420. On remarque également que la DL50 est de $10^{3,62}$ spores/ml. Ce qui démontre l'efficacité de cette espèce à contrôler ces populations aphidiennes.

II. Discussion

Dans la recherche active de microorganismes, et particulièrement des champignons entomopathogènes capables de freiner les populations de puceron vert (*Aphis spiricolae*), nous avons testé l'efficacité d'un isolat de *Metarhizium anisopliae* var *acridium* isolé à partir du produit pesticide Green muscle.

Vincent et Coderre (1992), attestent que les espèces de *Metarhizium* sp, sont connues pour leur grande pathogénicité, et leurs capacités étonnantes à contrôler les populations d'insectes d'ordres différents.

D'après les résultats obtenus il semble que *M. anisopliae* var *acridum* est très efficace du moment qu'il a réussi à contrôler les populations aphidienne avec les plus faible concentrations (10^3 et 10^2).

Ce résultat a été confirmé par le calcul de la DL50. Cette valeur a été de $10^{3,20}$ pour le test "in vitro" et $10^{3,62}$ pour le test "in vivo".

A la lumière de ces résultats, nous pouvant affirmer que *Metarhizium anisopliae* var *acridum* par son mode d'action a encore une fois pu détourner efficacement la stratégie de défense d'un insecte pour le quel il n'a pas été formulé, et représente de ce fait un agent potentiel de lutte microbiologique contre cet insecte (Crous, et al., 2007).

Nous avons établi que *Aphis spiraecola*, est comme la majorité des insectes, sensible aux microorganismes tels que, les champignons, les bactéries et les virus (Scholte et al., 2004).

En conditions naturelles, le développement des colonies de pucerons est fréquemment menacé par l'infection des champignons entomopathogènes qui sont leur première cause de mortalité (Remaudiere et al., 1981). La mortalité des insectes peut être causée par les uns ou toutes les actions suivantes:

- L'action des toxines libérées, l'obstruction physique de la circulation,
- invasion des organes et la destruction des tissus de l'insecte,
- Déficiences nutritionnelles (Ramoska, 1984 ; Riba Et Marcandier, 1984 ; Khachatourians, 1986 ; Poinar Et Thomas, 1985 ; Cloutier, 1992).

Mais les champignons peuvent aussi infecter les insectes indépendamment de leur mode de nutrition. Dans ce cas, le développement de l'infection est relié à la dose utilisée (nombre de spores), soit à l'état physiologique de l'hôte, soit aux conditions abiotiques (Ferron, 1978).

Conclusion générale

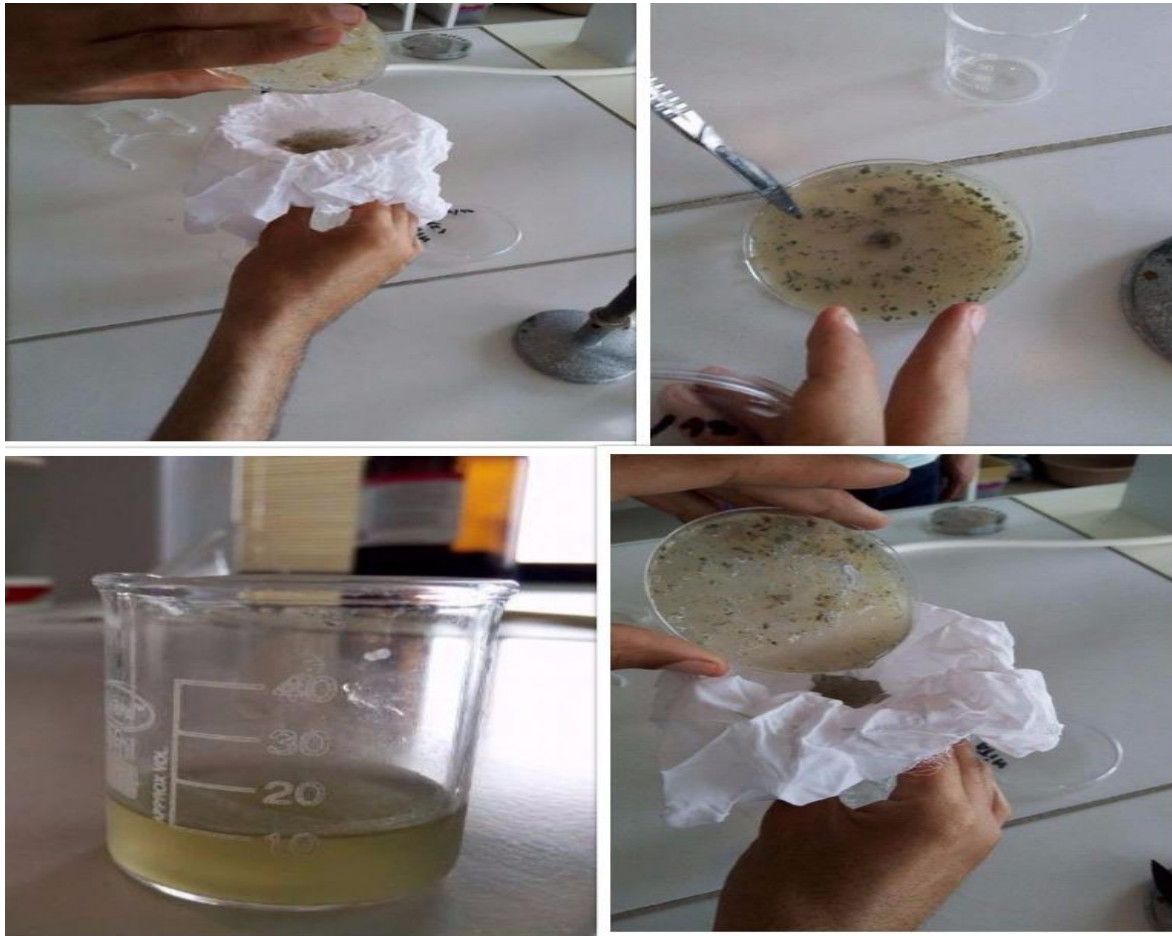
L'agrumiculture en Algérie est souvent sujette à d'importantes attaques, de l'espèce aphidiennes; *Aphis spiraecola* (puceron vert des agrumes). Face a ce problème, la lutte chimique ne donne pas les résultats escomptés, combinée à son effet néfaste pour l'environnement et le consommateur, la recherche de méthodes alternatives, devient la préoccupation majeure de nombreux chercheurs.

Le présent travail représente une contribution dans la recherche de champignon capable de freiner le développement des populations des pucerons citricoles.

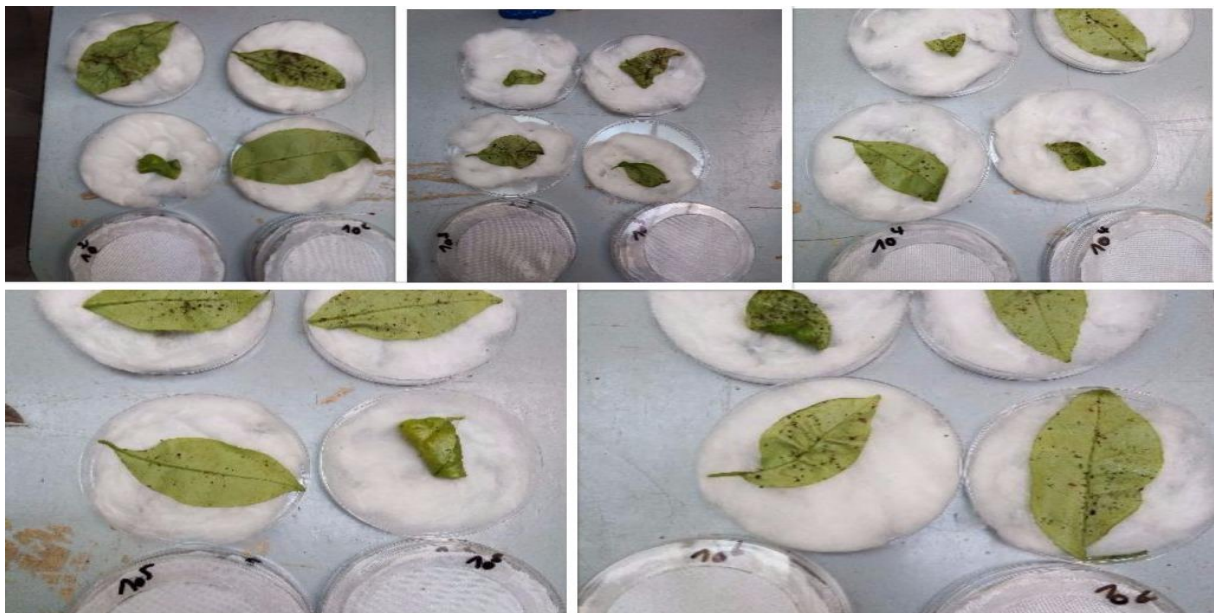
Les résultats du test de pathogénicité, par pulvérisation des adultes avec une solution conidienne de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* attestent que ce dernier est capable d'infecter le puceron vert des agrumes et causer jusqu'à 100 % de mort dans un temps relativement court (06 jours) avec une DL50 de $10^{3,20}$ pour le test "in vitro" et $10^{3,62}$ pour le test "in vivo".

En fin ce travail, doit être reconduit dans les mêmes conditions de laboratoire, pour une éventuelle confirmation des résultats, avant d'être expérimenté en plein champs, pour certifier son efficacité réelle, dans les conditions naturelles. Dans le but d'instaurer un programme de lutte biologique acceptable du point de vue environnemental et efficace pour le contrôle des populations aphidienne des agrumes.

Annexe n°1 : les étapes de la préparation de solution (Laboratoire de l'université de mostaganem 2017).



Annexe n°02 : feuilles d'agrumes en pulvirisation (essai *in vitro*)



Annexe n°3 : Poser le puceron sur le feuillage.



Annexe n°4 : aperçu montrant la disposition de puceron sur le feuillage de Bigaradiers (essai *in vivo*. original 2017)



Annexe n°5 : Des plantes de Bigaradiers en pulvérisation (Laboratoire de l'université de Mostaganem 2017).



Annexe n°6 : Comptage quotidienne d'individus morts traité par *Metarhizium anisoplae* (essai *in vivo*).

JOURS DOSES	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2
J1	10	8	6	4	4
J2	5	4	3	4	4
J3	3	4	3	4	3
J4	2	2	3	3	3
J5		2	3	3	3
J6			2	1	2
J7				1	2

Annexe n°7 : Comptage quotidienne des témoins de puceron traité par l'eau distillé

JOURS	10 PUCERON
J1	1
J2	1
J4	1
J5	1
J6	2
J7	2

Annexe n°8 : Taux de mortalité des pucerons traités par *Metarhizium anisoplae* var *acridum* (essai *in vitro*).

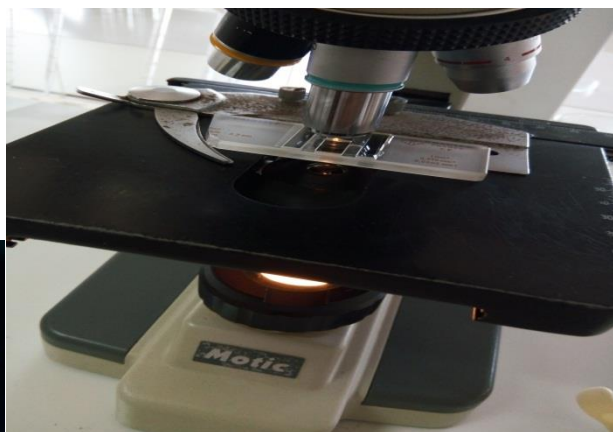
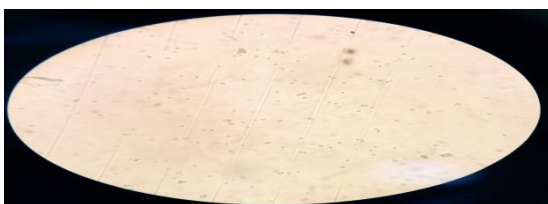
<i>In vitro</i>	1j	2	3	4	5	6	7	8	9
10^2	4.16	8.33	12.5	20.83	29.16	37.5	45.83	66.66	79.16
10^3	8.33	20.83	33.33	41.66	54.5	70.83	75	89.33	87.5
10^4	8.33	25	37.5	54.16	75	83.33	87.5	95.83	100
10^5	20.83	33.33	45.83	58.33	66.66	79.16	91.66	100	
10^6	25	45.83	62.5	79.16	87	91.66	100		
Témoin	0	0	4.16	8.33	8.33	16.66	20.83	25	25

Annexe n°9 : Taux de mortalité des pucerons traités par *Metarhizium anisoplae* var *acridum* (essai *in vivo*).

<i>In vivo</i>	1j	2	3	4	5	6	7	8	9
10^6	29.16	50	66.66	75	91.66	100			
10^5	29.16	37.5	50	58.33	70.83	83.33	87.5	100	
10^4	12.5	33.33	37.5	45.83	66.66	83.33	87.5	100	
10^3	12.5	29.16	33.33	45.83	62.5	79.16	83.33	87.5	100
10^2	8.33	16.66	20.83	29.16	37.5	45.83	58.33	75	87.5
Témoin	0	0	4.16	8.33	12.5	16.66	25	29.16	33.33

Annexe n°10 : calcul du nombre des spores a l'aide de la cellule Malassez.

Nombre de spores = 18.41×10^6 spore/ml



References bibliographiques

- Abbou A., 2012** : Etude du complexe parasitaire de *myzus persicae* sulzer (Homoptera : Aphididae) sur le poivron sous serre.
- Anonyme., 2010** : Secrétariat de la CNUCED d'après les données statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Argyriou, 1970.** Les Aphides nuisibles aux agrumes en Grèce et leurs ennemis naturels.
- Asawalam E.F., Emeasor K.C. et Okezie J.C, 2007:** Control of pests of some Capsicum annum species (pepper) cultivars using soil amendment in Umudike- Nigeria. EJEAFICHE 6 (4): 1975-1979.
- Berkani A., Mouats A., Dridi B., 1996** : Observation sur la dynamique des populations de la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrilla* STAINT (*Lepidoptera* ; *Gracillariidae*) en Algérie.
- Berrighi L., 2007** : Etude de la dynamique des populations de la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrilla* STAINT (*Lepidoptera* ; *Gracillariidae*) dans la commune de Mazagran (Mostaganem)
- Blackman D.R.L. et Eastop V.F., 1985:** Aphids on the world's crops: An identification guide. New York, 466 p.
- Boualem. M et Cherfaoui. K., 2012** : etude bioecologique de deux especes de pucerons : *myzus persicae* s. Et *aphis spiraecola* p. Avec l'inventaire de leur complexe parasitaire dans la region de Mostaganem (Algerie). 8eme Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture - 21.22 et 23 octobre 2012 – Montpellier.
- Boualem. M , Maameri. E , Abbou. A , Ghelamallah. A. 2014** : Etude bioecologique de deux pucerons *Myzus persicae* et *Aphis gossypii* et leurs ennemis naturels sur poivron sous serre. 10eme Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture - 21.22 et 23 octobre 2014 – Montpellier.
- Bouhadiba R., 2014** : Etude de l'effet insecticide de *Mentha piperita* et de *Nerium oleander* sur *Aphis spiraecola*
- Bouhadiba. R, Boualem.M et Benoured. F., 2015** : Etude de l'effet de *Mentha pipérite* et de *Nerium oleander* sur *Aphis spiricola*. Seminaire International de la protection des végétaux : Gestion Intégrée pour agriculture durable, le 23, 24 et 25 Fev 2015. Univ Mostaganem, Algérie.
- Bouhroua Rachid Tarik., 1987** : Bioécologie des pucerons en cultures maraichères et incidence de leurs ennemis naturels dans la région de fouka (wilaya de Tipaza). Mémoire

d'ingénieur agronome, spécialité : protection des végétaux. INA el harrach, Alger, 1987, 104 pages.

Brun., 1973 : Les ravageurs animaux et les moyens de lutte en agrumiculture. Revue SOMIVAC N° 68

Capinera J.L., 2008: Encyclopedia of entomology. 4444 p.

Cherfaoui. K., 2010: Etude bioécologique de deux espèces de pucerons : *Myzus persicae* s. et *Aphis spiraecola* p. Avec l'inventaire de leur complexe parasitaire dans la région de Mostaganem (Algerie).

Cloutier et Cloutier C., 1992 : Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures In « lutte biologique » pp 62 : 649 p.

Courboulex et Lorrain., 1998 : Les agrumes –M. Courboulex & H. de Lorrain – Edditions Rustica.

Dajoz, R., 1980 : Ecologie des insectes forestiers. (Ecologie fondamentale et appliquée) Ed. Gautier, Paris, 489 p.

Devonshire A.L., Field L.M., Foster S.P., 1998: The evolution of insecticide resistance in the peach-potato aphid, *Myzus persicae*. Philos Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 1998 ; (353) : 1677-84.

DSA, 2015 : Données statistiques de la direction des services agricoles de Mostaganem.

Elattir H., Skiredj A., ElFadl A., 2005 : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département d'horticulture. Site Internet : www.legume-fruit-maroc.com, 2005. Consulté le 30 mai 2007.

Fraval A., 2006 : Les pucerons – 2e partie, Insectes N° 142, Office pour les insectes et leur environnement, France, 3e trimestre 2006 : 27-30, site web : www.inra.fr/opieinsectes/pdf/i142fraval3.pdf.

Ghelamallah.A., 2005 : Etude bio écologique du complexe parasitaire inféodé a *Phylocnistis citrella* Stainton dans la région de mostaganem. Mémoire d'ingénieur agronome, spécialité : protection des végétaux. Université de Mostaganem. 65 pages.

Guenaoui, 1988 : Lutte intégrée en culture protégées : contribution à l'étude des interactions entre *Aphis gossypii* Glover (Hom : Aphididae) et son endoparasite *Aphidius colemani* Viereck (Hym : Aphidiidae). Essai de lutte biologique sur concombre. Thèse Docteur-Ingénieur en science agronomique. ENSA, Rennes. 1 p.

Hassel M.P. et Waage J.K., 1984 : Host parasitoïde population interactions. Annu. Rev. Entomol., (29): 89-114.

Imenes S.D.L. , Bergmann F.C., Peronti A.L.B.G., Ide S., Martin J.E.R., 2002 : Aphids (Hemiptera: Aphididae) and their parasitoids (Hymenoptera) on *Ixora* spp (Rubiaceae) in the states of Bahia and Sao Paulo, Brazil-formal records interactions. Arq. Inst. Biol., Sao Paulo, V. (69), N°4 : 55-64.

INRA.,2013 : Institut nationale de recherches agronomiques

Iperti G., 1985 : Ecobiologie des coccinelles aphidiphages: les migrations. Impacts de la structure des paysages agricoles sur la protection des cultures, Poznan, les colloques de l'INRA, N°36, Paris : 100-107.

Laamari M, Tahar Chaouche S, Benferhat S, Abbès Sara, Merouani H, Ghodbane S, Khenissa N & Stary Petr. 2011. Interactions tritrophiques: plante-puceron-hymé-noptère parasitoïde observées en milieux naturels et cultivés de l'Est algérien. Entomologie faunistique – Faunistic Entomology 2011 (2010) 63 (3), 115-120.

Lacroix J., 1912 : Contribution à l'étude des Névroptères de France (première liste). La feuille des jeunes naturalistes, 5ème série, 42ème année, N°496

Leray E, 2013 : protection intégrée sous abri froid : Contrôle des ravageurs des cultures sous tunnel par l'utilisation de plantes réservoirs, p 04.

Loukia C, Argyriou .,1970. Les Aphides nuisibles aux agrumes en Grèce et leurs ennemis naturels. Annls.inst. Phytopath. Benaki. NS, 9 : 114- 117

Loussert R., 1989 : Techniques agricoles méditerranéennes, les agrumes, l'agriculture Lavoisier, Paris . Vol I et II.

Lucas E., 1993 : Evolution de l'efficacité de prédation des coccinelles, *Coccinella septempunctata* L, et *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera : Coccinellidae) en tant qu'auxiliaires de lutte biologique en vergers de pommiers. Université de Québec. 94 p.

Maameri Esmaa., 2013 : Etude du complexe parasitaire de deux espèces de pucerons *Myzus persicae* et *Aphis gossypii* sur le poivron sous serre). Mémoire d'ingénieur agronome, spécialité : protection des végétaux. Université de Mostaganem. 76 pages.

Malais M.H. et Ravensberg W.J., 2006: Connaître et reconnaître, la biologie des ravageurs des serres et de leurs ennemis naturels. Koppert B.V., Pays-Bas, Reed Business. 290 p.

Matmati L., 2005 : Implication des composés phénoliques dans les phénomènes de défense naturelle des Citrus aux attaques de *Phyllocnistis citrilla* STAIN (Lepidoptera ; Gracillariidae) en Algérie.

Parloran J C., 1971 : Les agrumes, Paris, maison neuve et la rousse ; 565p.

Pintureau B., 2001 : Lutte biologique contre les organismes nuisibles à l'agriculture - 25/04/2006.

- Rabasse J.M., 1979 :** Note préliminaire sur l'utilisation des chocs thermiques en lutte intégrée contre *Myzus persicae* Sulz. En serre. Bull.O.I.L.B. /S.R.O. (4) : 99-103.
- Rafalimanana H.J., 2003 :** Evaluation des effets d'insecticides sur deux types d'Hyménoptères auxiliaires des cultures, l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.) et des parasitoïdes de pucerons : études de terrain à Madagascar et de laboratoire en France. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'institut national agronomique paris- grignon. 183 p.
- Reboulet J.N., 1999 :** Les auxiliaires entomophages – reconnaissance, méthodes d'observation, intérêt agronomique. Ed. ACTA. 136 p.
- Riba G. et Silvy C., 1989 :** Combattre les ravageurs des cultures. Enjeu et perspective. INRA. Station de recherche de lutte biologique la minière. 230 p.
- Ronzon B., 2006 :** Biodiversité et lutte biologique, Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée, pour prévenir contre le puceron de la salade. Extrait d'un mémoire de fin d'étude sur les bandes fleuries, qui sont utilisées comme réservoir d'insectes auxiliaires : 18-22.
- Sarthou J.P., 2006 :** Dossier : la biodiversité dans tous ses états. Alter Agri N°76 : 4-14.
- Sauvion N., 1995 :** Effet et modes d'action de deux lectines à mannose sur le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* (Harris). Potentiel d'utilisation des lectines végétales dans une stratégie de création de plantes transgéniques résistantes aux pucerons. Thèse pour obtenir le grade de docteur en Analyse et Modélisation des systèmes biologiques. Institut National des sciences Appliquées de Lyon : 3-19.
- Sekkat A. et Boutaleb J. A., 1993 :** Mise en évidence de la résistance de *Myzus persicae* (Sulzer) sur pêcher et sur poivron au Maroc in "Conférence Internationale sur les ravageurs en Agriculture", Montpellier, France. V. II et III: 873-880.
- Sorenson J.T., 2003 :** Aphids. , 32 p.
- Soucy J.B., 2010 :** Les pucerons : stratégies de contrôle. 22 p.
- Stary P, Leclant F, Lyon JP., 1975 :** Aphidiidés et Aphides (Hom) de Corse. Les Aphidiidés. Ann. Soc. Entomol. Fr (N.S) 11-745-762.
- Freimoser, f.M 2003 :** EST analysis of two subspecies of *Metarhizium anisopliae* reveals a plethora of secreted proteins with potential activity in insect hosts.
- Tauber M.J., Tauber C.A., Daane K.M., Hagen K.S., 2000:** Commercialization of predators : Recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: Chrysoperla). Am. Entomol. (46) : 26-38.
- Touahria N., 2010 :** Etude de l'efficacité de deux insecticides (Avaunt et Tracer) sur *Tuta absoluta* Meyrick (*Lepidoptera ; Gelechiidae*).