

Université Mustapha Stambouli
Mascara



جامعة مصطفى اسطمبولي
معسكر

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences agronomiques

THÈSE de DOCTORAT

Spécialité : Protection des végétaux

Intitulée

Contribution à l'étude bio-écologique de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* en vue de l'optimisation de son contrôle dans la région de Mohammadia

Présentée par : BAKHTAOUI Zoubeyda

Devant le jury :

Président	BELABID Lakhdar	Professeur	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Examineur	BOUNGAB Karima	Professeur	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Examineur	RHIGHI Assia Fatiha	Professeur	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Examineur	BOUALEM Malika	M.C.A	Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem
Directeur de thèse	ELOUISSI Mouffok	Professeur	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Co-directeur de thèse	LAZREG Fatiha	M.C.A	Université Mustapha Stambouli – Mascara

Année Universitaire : 2021-2022

REMERCIEMENTS

*Je remercie Dieu le Tout Puissant **ALLAH** de m'avoir donné les ressources morales, physiques, matérielles et intellectuelles pour accomplir cette thèse.*

Il m'est tout d'abord agréable de remercier mon directeur de thèse, M. ELOUISSI M, professeur à l'université Mustapha Stambouli de Mascara. Malgré ses responsabilités, sa disponibilité et sa patience n'ont jamais manqué. Je lui suis reconnaissante de m'avoir appuyé à maintes reprises, pour toute la confiance qu'il m'a accordée, en acceptant de me diriger dans ce travail. Ses compétences en dynamique des populations ont été d'un précieux apport pour ce travail. Je lui suis énormément reconnaissante pour les nombreuses lectures de ce manuscrit et pour le temps qu'il a consacré pour m'aider.

Mes remerciements vont aussi à ma codirectrice de thèse, Mme. LAZREG F, Maître de Conférences A à l'université Mustapha Stambouli de Mascara à qui j'exprime toute ma gratitude pour m'avoir apporté ses connaissances en microbiologie et de m'avoir aidé à réaliser toutes les manipulations des tests d'entomopathogénicité. J'ai ainsi eu la chance de bénéficier de son soutien et de ses encouragements pendant les durs moments de doute et de découragement. Sa disponibilité, sa confiance, sa générosité, sa gentillesse m'ont marqué à jamais.

Mes sincères remerciements s'adressent également à M. BELABID L, Professeur et doyen de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury.

Je tiens à remercier vivement M^{me}. BOUNGAB K et M^{me}. RHIGHI A F., Professeurs à l'université Mustapha Stambouli de Mascara ainsi que M^{me}. BOUALEM M., Maître de Conférences A à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, d'avoir eu l'amabilité d'accepter de faire partie du jury de cette thèse. C'est un honneur et un immense plaisir de présenter ce travail devant vous.

Je remercie M. ELOUISSI Abd El Kader, pour toutes les analyses statistiques qu'il nous a réalisées, pour le temps qu'il nous a consacré et pour toutes les explications fournies à ce propos.

Je tiens à remercier M. HARIZIA Abd El Kader, pour le produit Nutrel « hydrolysate de protéines » qu'il nous a aidé à procurer, ainsi de m'avoir accordé l'accès dans le Laboratoire de Recherche en Géo-environnement et Développement des Espaces « LRGEDE ».

Mes remerciements s'adressent aussi, à M. MEBANI O, directeur de la SRPV de Mascara pour tous les pièges et phéromones qu'il nous a fournies.

Cette thèse n'aurait pas sa valeur sans l'accompagnement, l'aide et les orientations du staff de l'ITAFV de Mohammadia-Mascara, à leur tête, je tiens à remercier M. DERI l'Ex-directeur, M. DRAOUI, l'actuel directeur de l'ITAFV de Mohammadia, mes vifs remerciements s'adressent aussi à M^{me}. Benfetta K ingénieur agronome responsable du département d'expérimentation à l'ITAFV - Mohammadia pour ses efforts d'assistance et d'orientation tout au long de la période d'étude, merci également à Naouel, Salima, Sabrina Salima et à M. ZITOUNI.

Je voudrais rendre hommage à la mémoire de notre chère NASSIMA Ex : ingénieure agronome à l'ITAFV - Mohammadia, Qu'Allah vous accueille dans son vaste paradis.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous les membres des équipes du Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique « LRSBG » de l'université de Mascara.

Une grande part de mes remerciements s'adresse aux membres de ma famille pour leur soutien moral, Douaâ et encouragement, particulièrement mes très chers parents, à qui je dois ce que je suis, un grand merci s'adresse à mes chères sœurs Asma et Sarra Ibtissem, et mes très chers frères Djamal, Boudjemaa et Mohamed El Kabir.

Je ne pourrais passer sous silence l'apport de mes collègues doctorantes qui m'ont soutenu et ont partagé avec moi les meilleurs et les pires des moments, merci à Amel, IKram, Iman, Naouel, Nezha et Rima.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes chères amies, en particulier Fatima, Asma & Nadjet qui ont toujours su me soutenir, me motiver et m'encourager pour me faire avancer, je leur souhaite plein de courage et surtout beaucoup de bonheur avec leurs familles. Merci également à Rima et Houda pour tout leur encouragement et aide.

Mes remerciements vont aussi à M^{me}. BEKKOUCHE A, pour ses conseils précieux, sa gentillesse et son encouragement.

Je voudrais exprimer ma gratitude et remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, en particulier M^{me}. MOKKADEM K, mon professeur d'école primaire pour son soutien moral et ses encouragements.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
ملخص	iii
Liste des abréviations	iv
Index des tableaux	v
Index des figures	vi
Introduction générale.....	1

PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur les espèces fruitières étudiées

1. Les agrumes	4
1.1. Position systématique	4
1.2. Importance économique	4
1.2.1. Dans le monde	4
1.2.2. En Algérie	4
1.3. Les variétés étudiées	5
1.3.1. Oranger, <i>Citrus sinensis</i> L.	5
1.3.1.1. Thomson	6
1.3.2. Clémentinier	6
2. Le figuier, <i>Ficus carica</i> L.	6
2.1. Position systématique	6
2.2. Importance économique dans le monde	7
2.3. La culture du figuier en Algérie	8
2.4. Les variétés étudiées	9
2.4.1. La variété Tameriout	9
2.4.2. La variété Achtoui	9
3. Le poirier <i>Pyrus communis</i> L.	9
3.1. Position systématique	10
3.2. Importance économique	10
3.2.1. Dans le monde	10
3.2.2. Situation du poirier en Algérie	11

3.3. Les variétés étudiées	11
3.3.1. Castell	11
3.2.2. Blanquilla	11

Chapitre II : Généralités sur la mouche méditerranéenne des fruits; *Ceratitis capitata*

1. Position systématique	12
2. Origine et distribution géographique	12
3. Plantes hôtes	14
4. Description morphologique	15
4.1. L'œuf	15
4.2. La larve	15
4.3. La puppe	16
4.4. L'adulte	16
5. Biologie et cycle de développement de <i>C. capitata</i>	17
5.1. Oviposition et incubation	18
5.2. Développement larvaire	18
5.3. La nymphose	19
5.4. Emergence des adultes	19
5.5. Nombre de générations	19
6. Facteurs influençant le comportement de <i>C. capitata</i>	20
6.1. Les facteurs climatiques	20
6.1.1. La température	20
6.1.2. L'humidité relative	21
6.1.3. La lumière	21
6.1.4. Le vent	21
6.2. Les facteurs édaphiques	22
6.3. Les facteurs biotiques	22
6.3.1. L'hôte	22
6.3.2. La compétition larvaire	22
6.3.3. Les ennemis naturels	23
7. Plantes hôtes et dégâts de <i>C. capitata</i>	23
7.1. <i>Ceratitis capitata</i> et les agrumes	24

7.1.1. Comportement de <i>C.capitata</i> sur les agrumes	25
7.2. <i>Ceratitidis capitata</i> et les fruits d'été	25
7.2.1. Comportement de <i>C.capitata</i> sur les principaux fruits d'été.....	25
8. Moyens de lutte	26
8.1. Mesures prophylactiques	26
8.2. Lutte culturale et méthodes sanitaires	27
8.3. Lutte chimique	27
8.4. Lutte biotechnique	28
8.4.1. La confusion sexuelle	28
8.4.2. Le piégeage de masse	28
8.4.3. Le contrôle autocide	28
8.5. La lutte biologique	29
8.5.1. La lutte par les bactéries entomopathogènes	29
8.5.2. Lutte par les champignons entomopathogènes	29
8.6. Les huiles essentielles et extraits de plantes	30
8.6.1 Les huiles essentielles	30
8.6.2. Les extraits aqueux	30

Chapitre III : Généralités sur les champignons entomopathogènes

1. Introduction.....	32
2. Mode d'action	32
2.1. L'adhésion	33
2.2. La germination	33
2.3. La pénétration, multiplication et la dissémination	33
3. Espèces sélectionnés pour les tests d'entomopathogénicité	34
3.1. <i>Metarhizium anisopliae</i>	34
3.2. <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	35
3.3. <i>Verticillium lecanii</i> (<i>Lecanicillium lecanii</i>)	36

Chapitre IV : Les bioinsecticides d'origine végétale

1. Généralités sur les biopesticides d'origine végétale	38
2. Avantages et inconvénients	39
3. Critères du choix des plantes	39

4. Plantes retenues pour les tests bioinsecticides	40
4.1. Le ricin, <i>Ricinus communis</i> (Euphorbiaceae)	40
4.2. Le romarin, <i>Rosmarinus officinalis</i> Linnée, 1753	40
4.3. <i>Lavandula stoechas</i> Linnée, 1753	40

PARTIE II : PARTIE EXPÉRIMENTALE
MATERIEL ET METHODES

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique	41
2. Répartition zonale	41
2.1. La plaine d'El habra et la Macta	41
2.2. Les monts de Béni-chougrane	41
2.3. La Plaine de Ghriss	41
2.4. Les monts de Saida	42
3. Présentation des vergers d'étude	42
3.1. La ferme de démonstration (ITAFV)	42
4. Caractéristiques climatiques	43
4.1. Les températures	44
4.2. Les précipitations	44
4.3. Les vents	45
4.4. L'Humidité	46
4.5. Synthèse climatique	47
4.5.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953)	47
4.5.2. Climagramme d'EMBERGER	47
4.6. Relief et sol	48

Chapitre II : Étude entomologique de *C. capitata*

1. Introduction et objectif de l'étude	49
2. Étude de la dynamique des populations et monitoring des adultes de <i>C. capitata</i>	49
2.1. Traitement des données et analyses statistiques	50
3. Evaluation de l'efficacité des deux pièges et l'estimation des dégâts de <i>C. capitata</i>	51

3.1. Traitement des données et analyses statistiques	51
4. Etude de l'infestation par <i>C. capitata</i> en fonction des fruits chutés	51
4.1. Estimation des dégâts en fonction du nombre de piqûres/fruit	51
4.2. Estimation des dégâts en fonction du nombre de pupes	51
5. Etude de la biologie de <i>C. capitata</i> en fonction des variétés fruitières étudiées	52
5.1. Durée de pupaison	52
5.2. Taux d'émergence	52
5.3. Sex-ratio	52
5.4. Longévité	52
5.5. Traitement des données et analyses statistiques	52

Chapitre III : Évaluation de l'effet insecticide des champignons entomopathogènes isolés

1. Objectif de l'étude.....	53
2. Isolement et caractérisation morphologique	54
2.1. Isolement à partir des cadavres de <i>Geotrogus deserticola</i>	54
2.2. Isolement à partir du sol	54
2.3. Caractérisation morphologique des isolats obtenus	55
3. Purification et conservation des isolats de champignons entomopathogènes	55
4. Caractérisations biologiques des isolats obtenus	55
4.1. Effet de milieu de culture sur la croissance mycélienne des isolats obtenus	55
4.2. Effet des températures sur la croissance mycélienne	56
4.3. Effet du pH sur la croissance mycélienne	56
5. Evaluation du taux de sporulation	56
6. Test de la viabilité : Culture sur lame	57
7. Test de lutte biologique	57
7.1. L'obtention de la suspension sporale	57
7.2. Contamination par contact	57
7.3. Correction de la mortalité par la méthode d'Abbott	59
7.4. Analyse statistique	59

Chapitre IV : Évaluation de l'effet bioinsecticide de quelques plantes médicinales sur la cératite

1. Collection des plantes médicinales <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et <i>L. stoechas</i>	60
2. Préparation des extraits aqueux	60

2.1. Dosage de polyphénols totaux	61
2.2. Dosage des flavonoïdes	61
3. Effet bioinsecticide des extraits aqueux à l'égard des larves et des pupes de la cératite	61
3.1. Test par contact sur les larves	61
3.2. Test par inhalation sur les pupes	62
3.3. Traitement statistique	63

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre I : Étude entomologique de *C. capitata*

1. Relevés climatiques	64
2. Dynamique des populations de <i>C. capitata</i> dans les trois vergers d'études	65
3. Évaluation de l'efficacité de 2 types de pièges pour le suivi des populations de <i>C. capitata</i> ...	71
4. Infestation des fruits par <i>C. capitata</i>	73
4.1. Taux de fruits piqués	73
4.2. Nombre de piqûres/fruit	74
4.3. Nombre moyen de pupes/fruit	75
5. Influence de la variété fruitière sur quelques paramètres biologiques de la cératite	78
5.1. Durée de pupaison	78
5.2. Taux d'émergence	79
5.3. Sex-ratio	81
5.4. Longévité des adultes	82

Chapitre II : Essai d'efficacité des champignons entomopathogènes sur *C. capitata*

1. Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes	84
1.1. Caractérisation morphologique de <i>Metarhizium anisopliae</i>	84
1.2. Caractérisation morphologique de <i>Verticillium lecanii</i>	84
1.3. Caractérisation morphologique de <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	84
2. Caractérisation biologique des isolats de champignons entomopathogènes	86
2.1. Effet du milieu de culture sur la croissance mycélienne	86
2.2. Effet du pH sur la croissance mycélienne de <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> sur milieu PDA.....	86
2.3. Effet des températures sur la croissance mycélienne de <i>M. anisopliae</i> et <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> sur milieu PDA.....	87

2.4. Effet de milieu de culture sur la sporulation des isolats des champignons entomopathogènes.....	88
2.5. Viabilité des spores de <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> sur milieu PDA	89
3. Discussion.....	90
4. Effet bioinsecticide des suspensions conidiennes de <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> à l'égard des stades immatures de <i>C. capitata</i>	91
4.1. Taux de mortalité larvaire	91
4.2. Susceptibilité des pupes de <i>C. capitata</i>	93
5. Discussion	95

Chapitre III : Essais d'efficacité des extraits aqueux de trois plantes médicinales sur *C. capitata*

1. Teneur en polyphénols totaux des extraits aqueux de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et <i>L. stoechas</i>	100
2. Teneur en flavonoïdes des extraits aqueux de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i>	100
3. Etude de la toxicité de l'extrait de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i> sur les larves de <i>C. capitata</i>	101
3.1. Taux de mortalité larvaire	101
3.1.1. Effet de l'extrait aqueux de <i>R. communis</i>	101
3.1.2. Effet de l'extrait aqueux de <i>R. officinalis</i>	101
3.1.3. Effet de l'extrait aqueux de <i>L. stoechas</i>	102
3.2. Taux de larves transformées en pupes	103
3.2.1. Effet de l'extrait aqueux de <i>R. communis</i>	103
3.2.2. Effet de l'extrait aqueux de <i>R. officinalis</i>	104
3.2.3. Effet de l'extrait aqueux de <i>L. stoechas</i>	105
3.3. Taux d'émergence	105
3.4. Taux de mortalité de pupes issues de larves traitées	106
3.5. Calcul des doses létales et sublétales.....	107
4. Etude de la toxicité de l'extrait de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i> sur les pupes de <i>C. capitata</i>	107
4.1. Test par inhalation sur les pupes	107
4.1.1. Taux d'émergence d'adulte de <i>C. capitata</i>	107
4.1.2. Taux de mortalité de pupes saines issus de test par inhalation	108
4.1.3. Calcul des doses sublétales et létales.....	109
5. Discussion	110

Conclusion générale	116
Références bibliographiques	120
Annexes	

En Algérie, les cultures fruitières subissent des dégâts considérables, provoqués par un phytophage redoutable, la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wied (Diptera: Tephritidae). Le présent travail est une contribution à l'étude de ce ravageur, il s'intéresse à plusieurs aspects et a été entamé par l'étude de la dynamique des populations de la cératite sur trois espèces fruitières : agrumes, figues et poires dans la région de Mohammadia-Mascara sur 56 semaines entre 2018 et 2019. Les résultats obtenus ont montré que le taux d'infestation de cette espèce est important. Sur les agrumes, la valeur maximale d'adulte par piège par jour (APJ) atteinte a été de 216.5 en octobre; la valeur maximale d'APJ atteinte sur les figues a été 79 en septembre et la valeur maximale d'APJ enregistrée sur les poires a été de 104,65 en septembre. Selon les variations saisonnières de *C. capitata* trois périodes principales d'activité de la mouche méditerranéenne des fruits peuvent être distinguées, une période printanière qui se chevauche avec l'activité de la période estivale et une période finale automnale.

Le deuxième volet de ce travail s'est axé sur l'étude de l'efficacité de deux types de pièges pour le suivi des populations de la cératite, le gobe mouche appâtés avec l'hydrolysate de protéines et le piège Réamol GF appâtés au trimedlure qui ont montré une similarité d'efficacité en terme de capture d'adulte pour le monitoring de ce ravageur. Les pièges Flycatcher (gobe mouche, McPhail) ont capturé un total de 4 041 d'adultes de *C. capitata* ; les pièges Delta (Réamol GF) ont capturé 3 117 adultes au total.

La troisième partie a été consacrée à l'étude des infestations des fruits et l'étude de la biologie de *C. capitata* en fonction des variétés fruitières étudiées. L'estimation des infestations en fonction du nombre de piqûres/fruit révèle que l'orange Thomson est la plus piquée avec 2.39 piqûres/fruit. L'estimation du nombre de pupes/fruit révèle que la figue Tameriout est la plus infestée avec 1,2 pupes/fruit. Les variétés d'agrumes Clémentine et Thomson ont enregistrées les taux de pupes/fruit les plus faibles. En outre, la durée de pupaison, le taux d'émergence, la sex-ratio et la longévité des adultes de la cératite varient de façon significative selon la variété fruitière.

Pour la dernière étape et dans le cadre des tests biologiques, nous avons évalué l'effet bioinsecticide des extraits aqueux de *Ricinus communis*, *Rosmarinus officinalis* et de *Lavandula stoechas* et ce en optant pour des tests par inhalation sur les pupes et des tests par contact sur les larves du troisième stade. Nous avons aussi évalué la pathogénicité de *Metarhizium anisopliae* spp, *Verticillium lecanii*, et *Paecilomyces fumosoroseus* à l'égard des larves et des pupes de la cératite.

Lors du test par contact sur les larves, les extraits aqueux de *Ricinus communis*, *Rosmarinus officinalis* et de *Lavandula stoechas* ont donné des taux de mortalité de l'ordre de 43.33, 23.33 et 13.33% respectivement à la dose 40µl. A cette même concentration, nous avons eu le taux de larves transformées en pupes le plus faible ainsi que la diminution d'émergence des adultes de la cératite issues de larves traitées. Pour le test par inhalation sur les pupes saines non traitées, l'extrait de *R. communis* s'est révélé plus efficace que les extraits de *R. officinalis* et de *L. stoechas*. En effet avec 40µl de l'extrait de *R. communis*, nous avons eu un taux d'émergence de l'ordre de 33.33%. Par rapport à un témoin qui présente 100% d'émergence.

Il ressort des résultats obtenus que *M. anisopliae* ait provoqué les pourcentages les plus élevés de mortalité du troisième stade larvaire avec 56,67% à 1×10^8 conidies/ml. Le taux de mortalité semblait augmenter avec la concentration. Les trois espèces fongiques étaient pathogènes pour les pupes de *C. capitata*, la mortalité moyenne des pupes après leur immersion dans des suspensions conidiennes était significativement plus élevée que celle des témoins. *M. Anisopliae* a montré le taux de mortalité le plus élevé de l'ordre de 80 % à 1×10^8 conidies/ml.

Mots clés : *C. capitata*, dynamique des populations, variété fruitière, piqûres, pupes, bioinsecticide, extrait aqueux, entomopathogène, suspension conidienne.

In Algeria, fruit crops suffer considerable damage caused by a dreaded phytophagous, the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* Wied (Diptera: Tephritidae). The present work is a contribution to the study of this pest; it focuses on several aspects and was initiated by the study of the population dynamics of *C. capitata* on three fruit species: citrus, figs and pears in the region of Mohammadia-Mascara over 56 weeks between 2018 and 2019. The results obtained showed that the infestation rate of this species is significant. On citrus, the maximum adult per trap per day (ATD) value reached was 216.5 in October; the maximum APJ value reached on figs was 79 in September and the maximum APJ value recorded on pears was 104.65 in September. According to the seasonal variations of *C. capitata*, three main periods of activity of the Medfly can be distinguished, a spring period which overlaps with the activity of the summer period and a final autumn period.

The second part of this work focused on the study of the effectiveness of two types of traps for monitoring populations of *C. capitata*, the flycatcher baited with protein hydrolysate and the Reamol GF trap baited with trimedlure, which showed similar effectiveness in terms of capturing adults for monitoring this pest. The Flycatcher traps (McPhail) caught a total of 4,041 adults of *C. capitata*; the Delta traps (Reamol GF) caught a total of 3,117 adults.

The third part was devoted to the study of fruit infestations and the study of the biology of *C. capitata* according to the studied fruit varieties. The estimation of infestations according to the number of bites/fruit revealed that Thomson orange was the most bitten with 2.39 bites/fruit. Estimation of the number of pupae/fruit reveals that the Tameriout fig is the most infested with 1.2 pupae/fruit. The citrus varieties Clementine and Thomson recorded the lowest pupae/fruit. In addition, pupation time, emergence rate, sex ratio and longevity of *C. capitata* adults varied significantly by fruit variety.

In the last step and the framework of the biological tests, we evaluated the bioinsecticidal effect of aqueous extracts of *Ricinus communis*, *Rosmarinus officinalis* and *Lavandula stoechas*, using inhalation tests on pupae and contact tests on third instar larvae. We also evaluated the pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* spp, *Verticillium lecanii*, and *Paecilomyces fumosoroseus* towards *C. capitata* larvae and pupae.

In the larval contact test, aqueous extracts of *R. communis*, *R. officinalis* and *L. stoechas* gave mortality rates of 43.33, 23.33 and 13.33% respectively at 40µl. At the same concentration, we had the lowest rate of larvae transformed into pupae as well as the lowest emergence of *C. capitata* adults from treated larvae. For the inhalation test on healthy untreated pupae, the *R. communis* extract was more effective than the *R. officinalis* and *L. stoechas* extracts. Indeed with 40µl of *R. communis* extract, we had an emergence rate of about 33.33%. Compared to the control which shows 100% emergence.

From the results obtained, it appears that *M. anisopliae* caused the highest percentages of mortality of the third larval stage with 56.67% at 1×10^8 conidia/ml. The mortality rate seemed to increase with the concentration. All three fungal species were pathogenic to *C. capitata* pupae; the average mortality of pupae after immersion in conidial suspensions was significantly higher than that of controls. *M. Anisopliae* showed the highest mortality rate of about 80% at 1×10^8 conidia/ml.

Keywords: *C. capitata*, population dynamics, fruit variety, stings, pupae, bioinsecticide, aqueous extract, entomopathogens fungi, conidial suspension.

في الجزائر ، تعاني محاصيل الفاكهة من أضرار جسيمة ناجمة عن ذبابة فاكهة البحر الأبيض المتوسط ، *Ceratitidis* (*capitata* Wied (Diptera: Tephritidae). وقد بدأ من خلال دراسة ديناميكيات عشيرة *C. capitata* على ثلاثة أنواع من الفاكهة: الحمضيات والتين والكمثرى في منطقة المحمدية-معسكر على مدى 56 أسبوعاً بين عامي 2018 و 2019. وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن معدل الإصابة بهذا النوع كبير. على الحمضيات ، بلغت قيمة APJ القسوى 216.5 في أكتوبر. كانت قيمة APJ القسوى التي تم الوصول إليها على التين 79 في سبتمبر وكانت أقصى قيمة APJ المسجلة على الكمثرى 104.65 في سبتمبر. وفقاً للتغيرات الموسمية لـ *C. capitata* ، يمكن التمييز بين ثلاث فترات رئيسية لنشاط Medfly ، وهي فترة الربيع التي تتداخل مع نشاط فترة الصيف وفترة الخريف النهائية.

ركز الجزء الثاني من هذا العمل على دراسة فعالية نوعين من المصائد لرصد تجمعات *C. capitata* ، مصيدة الذباب مع طعم البروتين ومصيدة Reamol GF ذات الطعم الفيريمون trimedlure ، والتي أظهرت فعالية مماثلة من حيث التقاط البالغين لرصد هذه الآفة. اصطادات مصائد الذباب (McPhail) ما مجموعه 4041 من البالغين من *C. capitata*. اصطادات مصائد دلتا (Reamol GF) بما مجموعه 3117 من البالغين.

خصص الجزء الثالث لدراسة تفشي الفاكهة ودراسة بيولوجيا *C. capitata* حسب أصناف الفاكهة المدروسة. وقد أظهر تقدير الإصابات حسب عدد اللدغات / الفاكهة أن برتقال Thomson كان الأكثر تعرضاً للمضغ بـ 2.39 لدغة / فاكهة. يظهر تقدير عدد الشرائق / الثمار أن تين Tameriout هو الأكثر إصابة بـ 1.2 شرنقة / فاكهة. سجلت أصناف الحمضيات Thomson و Clémentine أقل عدد من الخوادر / الفاكهة. بالإضافة إلى ذلك ، تفاوتت فترة التشرنق ومعدل الظهور ونسبة الجنس وطول العمر عند البالغين من *C. capitata* بشكل كبير حسب صنف الفاكهة.

في الخطوة الأخيرة وإطار الاختبارات البيولوجية ، قمنا بتقييم تأثير المبيدات الحشرية الحيوية للمستخلصات المائية من *Ricinus communis* و *Rosmarinus officinalis* و *Lavandula stoechas* ، باستخدام اختبارات الاستنشاق على الشرائق واختبارات التلامس على يرقات الطور الثالث. قمنا أيضاً بتقييم الأمراض لكل من *Metarhizium* و *Paecilomyces fumosoroseus* و *lecanii Verticillium anisopliae spp capitata* تجاه يرقات و عذارى *C. capitata*.

في اختبار التلامس مع اليرقات ، أعطت المستخلصات المائية لـ *R. communis* و *R. officinalis* و *L. stoechas* معدلات وفيات بلغت 43.33 و 23.33 و 13.33٪ على التوالي عند 40 مايكرو لتر. في نفس التركيز ، كان لدينا أقل معدل ليرقات تم تحويلها إلى خادرة وكذلك أقل ظهور لحشرات *C. capitata* البالغة من اليرقات المعالجة. لاختبار الاستنشاق على الشرائق السليمة غير المعالجة ، كان مستخلص *R. communis* أكثر فعالية من مستخلص *R. officinalis* و *L. stoechas*. في الواقع ، مع 40 مايكرو لتر من مستخلص *R. communis* ، كان لدينا معدل ظهور يبلغ حوالي 33.33٪ مقارنة بالسيطرة التي تظهر ظهور 100٪.

من النتائج التي تم الحصول عليها ، يبدو أن *M. anisopliae* تسبب في أعلى نسب النفوق في المرحلة اليرقية الثالثة بنسبة 56.67٪ عند 1×10^8 كونيديا / مل. يبدو أن معدل الوفيات يزداد مع التركيز. كانت جميع الأنواع الفطرية الثلاثة مسببة للأمراض لـ *C. capitata* pupae. كان متوسط معدل وفيات الشرائق بعد الغمر في المعلقات الكونية أعلى بكثير من تلك الموجودة في الضوابط. أظهر *M. Anisopliae* أعلى معدل وفيات بحوالي 80٪ عند 1×10^8 كونيديا / مل.

الكلمات المفتاحية: *C. capitata* ، ديناميات ، صنف الفاكهة ، اللسعات ، العذارى ، مبيدات الحشرات الحيوية ، المستخلص المائي ، الفطريات الممرضة للحشرات ، المعلق الكونيدي.

Liste des abréviations

A2 : Les organismes nuisibles A2 sont localement présents dans la région OEPP

AChE: Acetylcholinesterase

ANOVA : Analyse de la Variance

APJ: Adultes par piège par jour

APPPC: Asian and pacific plant protection commission

CABI : Centre for Agriculture and Biosciences International

CPPC : Caribbean plant protection commission.

DL50: Dose Létale qui tue 50% de la population

EPF: Entomopathogenic fungi

FAO stat: Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Statistic Database

HE: Huile Essentielle

ITAFV: Institut Technique des Arbres Fruitiers et de la Vigne

ITIS: Integrated Taxonomic Information System

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

NAPPO: North America plant protection organisation

OEPP : Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes

PDA: Potato Dextrose Agar

SDAY: Sabouraud Dextrose Agar Yeast

SIT: Sterile Insect Technique

UVB: Ultra-violet B

Index des Tableaux

Tableau 1 : Répartition des vergers agrumicole par zone géographique régionale en Algérie (MADRP, 2018).....	5
Tableau 2 : Répartition par espèce des superficies et des productions des agrumes en Algérie entre 2015 et 2017 (MADRP, 2018).....	5
Tableau 3 : Production de figues dans le monde et dans quelques pays (tonnes/an) (FAO, 2022).....	8
Tableau 4 : Production des figues dans quelques wilaya en Algérie (MADRP, 2019).....	9
Tableau 5 : Occupation actuelle des terres et les cultures au niveau de l'ITAF Mohammadia.....	43
Tableau 6 : Caractéristiques des vergers d'étude.....	43
Tableau 7 : Températures moyenne, minimales et maximales (en °C) dans la station de l'ITAF de 2018-2019.....	44
Tableau 8 : Nombre d'adultes de <i>C. capitata</i> capturés par mois avec le piège gobe mouche et le piège Delta dans le verger d'agrumes.....	71
Tableau 9 : Nombre d'adultes de <i>C. capitata</i> capturés par mois avec le piège gobe mouche et le piège Delta dans le verger de figues.....	72
Tableau 10 : Nombre d'adultes de <i>C. capitata</i> capturés par mois avec le piège gobe mouche et le piège Delta dans le verger de poires.....	72
Tableau 11 : Toxicité de <i>M. anisopliae</i> , <i>V. lecanii</i> et <i>P. fumosoroseus</i> au troisième stade larvaire et au stade nymphal de <i>Ceratitis capitata</i>	93
Tableau 12 : Toxicité de <i>R. communis</i> , <i>L. stoechas</i> et <i>R. officinalis</i> au troisième stade larvaire et au stade nymphal de <i>Ceratitis capitata</i>	107
Tableau 13 : Toxicité de <i>R. communis</i> , <i>L. stoechas</i> et <i>R. officinalis</i> aux pupes de <i>Ceratitis capitata</i> lors du test par inhalation.....	109

Index des figures

Figure 1 : Carte de distribution de certaines des principales espèces de mouches des fruits dans le monde (Malacrida et <i>al.</i> , 2006).....	13
Figure 2 : Œuf de <i>C. capitata</i> vu à la loupe binoculaire (G X 800) (Bachi, 2018).....	15
Figure 3 : Larve de <i>Ceratitidis capitata</i> . La tête est à gauche. (Credit: Jeffery Lotz, Florida Department of Agriculture and Consumer Services-Division of Plant Industry).....	15
Figure 4 : Nymphes de <i>C. capitata</i> sous loupe binoculaire (G X 40) (Original, 2021)	16
Figure 5 : A : femelle de <i>C. capitata</i> ; B : abdomen et ovipositeur de la femelle sous loupe binoculaire (GX40) (Original, 2021).....	17
Figure 6 : Vue latérale du mâle de <i>C. capitata</i> sous loupe binoculaire (GX40) (Original, 2021).....	17
Figure 7 : Piqûres de <i>C. capitata</i> sur clémentine (Original, 2018).....	23
Figure 8 : Piqûres de <i>C. capitata</i> sur des fruits de poires, variété Blanquilla à gauche et Delbard à droite (Original, 2018).....	24
Figure 9 : Répartition géographique de la wilaya de Mascara.....	42
Figure 10 : Plan parcellaire de l'ITAFV-Mohammadia, avec 6a : verger d'agrumes ; 5 : Verger de figuiers et 2 : verger de poiriers.....	43
Figure 11 : Variations des moyennes mensuelles des pluviométries 2018-2019.....	45
Figure 12 : Les moyennes de vent annuelles de 2018-2019 dans la station l'ITAFV.....	46
Figure 13 : Les moyennes de l'humidité annuelles de 2018-2019 dans la station l'ITAFV....	46
Figure 14 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953) (période 1990-2010) de la station de l'ITAFV Mohammadia.....	47
Figure 15 : Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude	48
Figure 16 : Piège Delta sur Oranger (A) ; Piège McPhail sur Figuier (B) (Original, 2018).....	50
Figure 17 : Dispositif expérimental pour récupération des larves L3 et des pupes de la cératite (original, 2021).....	51
Figure 18 : Spécimens de <i>Geotrogus deserticola</i> utilisés pour l'isolement des souches fongiques (Original, 2019).....	54
Figure 19 : Isolement à partir du sol selon la méthode suspension-dilution (Original, 2019).	55
Figure 20 : Dispositif expérimental du test par contact des entomopathogènes à l'égard des larves de <i>C. capitata</i> (Original, 2021).....	58

Figure 21 : Dispositif expérimental du test par contact des entomopathogènes à l'égard des pupes de <i>C. capitata</i> (Original, 2021).....	58
Figure 22 : Test par contact des extraits aqueux à l'égard des larves L3 de la cératite (Original, 2021).....	62
Figure 23 : Test par inhalation des extraits aqueux à l'égard des pupes de la cératite (Original, 2021).....	63
Figure 24 : Température, humidité et pluviométrie mensuelles moyennes à Mohammadia pour la période d'étude.....	64
Figure 25 : Disponibilité des hôtes étudiés et leur période de maturation à Mohammadia.....	65
Figure 26 : Fluctuation du vol des adultes de <i>C. capitata</i> pendant la période d'activité dans les trois vergers d'étude. Les flèches indiquent les dates des traitements insecticides.....	66
Figure 27 : Captures moyennes en mouche par piège par jour (APJ) de <i>C. capitata</i> sur les 3 vergers d'étude à Mohammadia pour la période d'étude.....	66
Figure 28 : Captures moyennes par mois en fonction des facteurs de climat durant la période d'étude, (A) température moyenne ; (B) humidité et (C) précipitation	69
Figure 29 : Taux de fruit piqués selon les variétés fruitières étudiées	74
Figure 30 : Nombre moyen de piqûres/fruit selon la variété fruitière	74
Figure 31 : Nombre moyen de pupes par fruit selon les variétés fruitières étudiées	75
Figure 32 : Durée moyenne de pupaison selon les variétés.....	78
Figure 33 : Taux moyen d'émergence d'adulte selon les variétés fruitières étudiées	79
Figure 34 : Sex-ratio moyen des adultes de <i>C. capitata</i> selon les variétés étudiées	81
Figure 35 : Longévité des mâles et des femelles de <i>C. capitata</i> selon les variétés	83
Figure 36 : Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes	85
Figure 37 : Croissance mycélienne moyenne de <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> sur milieux, PDA, SDAY et Czapeck après 8 jours d'incubation.....	86
Figure 38 : Croissance mycélienne moyenne de <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> sur le milieu PDA en fonction du pH après 8 jours d'incubation.....	87
Figure 39 : Croissance mycélienne moyenne de <i>M. anisopliae</i> , <i>V. lecanii</i> et <i>P. fumosoroseus</i> sur le milieu PDA en fonction de la température après 8 jours d'incubation.....	88
Figure 40 : Sporulation moyenne de <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> sur milieu PDA après 8 jours d'incubation.....	89
Figure 41 : Germination moyenne de <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> et <i>V. lecanii</i> sur milieu PDA après 24 h d'incubation (culture sur lame).....	90

Figure 42 : Pourcentage moyen de mortalité de troisième stade larvaire de <i>Ceratitis capitata</i> traité avec différentes concentrations de <i>M. anisopliae</i> , <i>V. lecanii</i> , et <i>P. fumosoroseus</i>	92
Figure 43 : Taux de pupes malformées de <i>C. capitata</i> en fonction des différentes doses des suspensions conidiennes de <i>M. anisopliae</i> , <i>V. lecanii</i> et <i>P. fumosoroseus</i> après 48 heures de traitement	93
Figure 44 : Pourcentage moyen de mortalité des pupes issues de larves traités de <i>C. capitata</i> traité avec différentes concentrations de <i>M. anisopliae</i> , <i>V. lecanii</i> , et <i>P. fumosoroseus</i>	94
Figure 45 : Pourcentage moyen de mortalité des pupes de <i>C. capitata</i> traité avec différentes concentrations de <i>M. anisopliae</i> , <i>V. lecanii</i> , et <i>P. fumosoroseus</i>	95
Figure 46 : Effet de <i>M. anisopliae</i> sur les pupes de <i>C. capitata</i> issues de larves traitées, (A, B, C, D, G) : pupes malformés ; (E, F) : émergence du champignons sur les cadavres des pupes (Original, 2021).....	97
Figure 47 : Effet de <i>P. fumosoroseus</i> sur les larves et sur les pupes issues de larves traités, (A, B, C, D) : malformation des pupes ; (E, F) : émergence du champignon sur cadavres des pupes et (G) : émergence du champignon sur cadavre de larve (Original, 2021).....	98
Figure 48 : Effet de <i>Verticillium lecanii</i> sur les larves L3 et les pupes de <i>C. capitata</i> , (A) : malformation de la pupa ; (B) : larve L3 morte ; (C, D) : l'émergence de champignon sur les cadavres des pupes de <i>C. capitata</i> (Original, 2021).....	98
Figure 49 : Polyphénols totaux de l'extrait de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i> ..	100
Figure 50 : Flavonoïdes totaux de l'extrait de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i> ..	100
Figure 51 : Taux de mortalité larvaires de <i>C. capitata</i> en fonction des doses testées de l'extrait de <i>R. communis</i>	101
Figure 52 : Taux de mortalité larvaires de <i>C. capitata</i> en fonction des doses testées de l'extrait de <i>R. officinalis</i>	102
Figure 53 : Taux de mortalité larvaires de <i>C. capitata</i> en fonction des doses testées de l'extrait de <i>L. stoechas</i>	103
Figure 54 : Taux de larves transformées en pupes en fonction des doses testées de l'extrait aqueux de <i>R. communis</i>	104
Figure 55 : Taux de larves transformées en pupes en fonction des doses testées de l'extrait aqueux de <i>R. officinalis</i>	104
Figure 56 : Taux de larves transformées en pupes en fonction des doses testées de l'extrait aqueux de <i>L. stoechas</i>	105
Figure 57 : Taux d'émergence d'adulte de <i>C. capitata</i> issues de larves traitées en fonction des doses testées des extraits de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i>	106

Figure 58 : Taux de mortalité de pupes de <i>C. capitata</i> issues de larves traitées en fonction des doses testées des extraits de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i>	106
Figure 59 : Taux d'émergence d'adultes de <i>C. capitata</i> issues de test par inhalation sur les pupes en fonction des doses testées des extraits de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i>	108
Figure 60 : Taux de mortalité de pupes saines de <i>C. capitata</i> issues de test par inhalation en fonction des doses testées des extraits de <i>R. communis</i> , <i>R. officinalis</i> et de <i>L. stoechas</i>	109
Figure 61 : Effet de l'extrait aqueux de <i>R. communis</i> sur les larves de la cératite, (A, B, C) : pupes malformés issus de larves traitées ; (D, E, F) : larves mortes vidées de leurs organes (Original, 2021).....	113
Figure 62 : Effet de l'extrait aqueux de <i>L. stoechas</i> sur les larves de la cératite, (A, B) : larves mortes; (D, C) : larves mortes vidées de leurs organes (Original, 2021).....	114
Figure 63 : Effet de l'extrait aqueux de <i>R. officinalis</i> sur les larves de la cératite, (A, B) : larves mortes; (D, C) : larves mortes vidées de leurs organes (Original, 2021).....	115

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a prévu que la population mondiale atteindrait huit milliards d'habitants en 2030, ce qui entraînerait une augmentation considérable de la demande alimentaire. Comme l'indique le rapport de la FAO intitulé "Agriculture : Towards 2015/30", la productivité des cultures devrait être 70 % plus élevée en 2030 que la production actuelle (FAO 2003). La production agricole est considérée comme une source importante répondant aux besoins nutritionnels essentiels, en plus de son impact social et économique, créant des emplois et diversifiant les revenus dans de nombreux pays en développement (FAO 2003 ; Muriithi et *al.*, 2006 ; Eksi et *al.*, 2016).

Néanmoins, ces productions, et en particulier la production fruitière, sont confrontées à plusieurs ravageurs qui causent de graves dommages, parmi lesquels les mouches des fruits *Tephritidae* qui représentent un groupe d'insectes d'importance économique majeure, et qui s'attaquent à différents types de cultures et causent des dommages considérables aux cultures agricoles.

Le genre *Ceratit* MacLeay comprend les espèces de ravageurs les plus importantes qui attaquent une large gamme de fruits non apparentés (Meyer, 2000), parmi lesquels la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratit capitata* Wiedemann, communément appelée mouche des fruits ; cet espèce est considérée comme l'un des ravageurs les plus nuisibles à la production fruitière dans le monde.

Signalée pour la première fois en Algérie en 1858 (Bodenheimer, 1951), *C. capitata* trouve dans les régions côtières et les oasis des conditions climatiques et une diversification des espèces fruitières favorables à son extension.

Sa polyphagie, son adaptabilité et son fort potentiel de reproduction inquiètent beaucoup les producteurs (Castillo et *al.*, 2000). La mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratit capitata*, est considérée comme le cas le plus extrême de polyphagie dans le genre *Ceratit*, avec plus de 300 plantes hôtes différentes appartenant à 154 genres dans 57 familles considérées comme des plantes hôtes appropriées d'espèces cultivées qui présentent un intérêt économique considérable (Liquidó et *al.*, 2014).

Les dégâts causés par la cératite sont de deux types : d'un part, les dommages provoqués par les piqûres des femelles causées par les tentatives de ponte, qui donnent aux fruits un mauvais aspect extérieur ; d'autre part, les dommages causés par les larves qui provoquent la pourriture des fruits et ouvrent la voie aux moisissures (Cayol et *al.*, 1994). Ainsi, la mouche méditerranéenne des fruits constitue un obstacle à la production et à l'exportation des fruits en Algérie (Stancic, 1986 ; Oukil et *al.*, 2002).

Plusieurs méthodes de contrôle sont recommandées contre ce ravageur. Cependant, la lutte contre les mouches dépend en grande partie des produits chimiques organophosphorés, notamment le malathion et les pyréthriinoïdes mélangés à des appâts à base d'hydrolysats de protéines (Martinez-Ferrer et *al.*, 2012). De même, les traitements du sol à l'aide d'insecticides contre les larves et les pupes sont utilisés comme méthodes de lutte (Stark et Vargas 2009).

Néanmoins, l'utilisation excessive de pesticides chimiques de synthèse pour la protection des cultures entraîne plusieurs effets indésirables sur la santé humaine, l'environnement (Perry et *al.*, 1998) et aussi sur l'insecte lui-même qui développe une résistance (Vontas et *al.*, 2011).

Ces dernières années, les chercheurs ont concentré leurs efforts pour trouver l'approche de lutte la plus efficace comme alternative aux produits de lutte chimique (Papanastasiou et *al.*, 2017). La lutte autocide ou la technique d'insectes stériles SIT, par le lâcher de mâles stériles, a été appliquée avec succès, particulièrement dans le sud du Mexique où elle a permis de réduire les populations de cette mouche à des seuils économiquement acceptables (Riba et Silvy, 1989).

En Algérie, de nombreux travaux de recherche ont été menés pour maîtriser la bio-écologie de *C. capitata* et pour rechercher d'autres méthodes de lutte que la lutte chimique. Parmi ces travaux, nous citons ceux de Oukil (1995, 2002), Ali-Ahmed-Sadoudi (2007, 2011 et 2012), Boudjelida & Soltani (2011), Bachi & Ali-Ahmed-Sadoudi (2017, 2018), Bachi (2018), Salah (2020) et Chergui (2021).

C'est pour ces raisons que nous apportons notre contribution à la recherche de méthodes de lutte culturale et biologique capables de réduire les populations de la mouche méditerranéenne des fruits à des seuils économiques.

Il s'agirait de rechercher parmi les espèces fruitières les plus sensibles dans la région de Mohammadia (W. Mascara) en étudiant l'effet des espèces fruitières sur les fluctuations des adultes de la mouche méditerranéenne des fruits, également d'évaluer l'efficacité de deux types de pièges, le piège de type Gobe mouche et le piège Réamol GF (piège Delta), en plus d'une étude de quelques paramètres biologiques de *C. capitata* en fonction de la variété.

Cette étude vise également d'évaluer l'activité insecticide de trois champignons entomopathogènes. Par ailleurs, nous avons testé l'activité insecticide des extraits aqueux de plantes aromatiques méditerranéennes le romarin *Rosmarinus. officinalis* et de la lavande *Lavandula. stoechas* et l'extrait d'une Euphorbiaceae, le ricin *Ricinus. communis*.

Le mémoire est structuré d'une manière classique :

- **Une synthèse bibliographique** comportant quatre chapitres : le premier est consacré à la description des espèces fruitières étudiées ; le deuxième est réservé à la description systématique et comportementale de la mouche méditerranéenne des fruits *C. capitata*; dans le troisième chapitre, nous traitons les champignons entomopathogènes en mettant l'accent surtout sur leur cycle biologique et leur mode d'action. Le quatrième et dernier chapitre de cette partie est consacré aux effets bioinsecticides d'origine végétale.
- La seconde partie est réservée à **l'approche expérimentale** scindée en deux parties :
 - **Matériels et Méthodes** : réservée aux matériels et différentes méthodologies adoptées; précède d'une présentation de la région et de la station d'étude avec ses caractéristiques.
 - **Résultats et discussions** : où sont regroupées les différentes expérimentations discutés de façon à pouvoir tirer les conclusions qui en découlent :
 - ✓ Une étude entomologique avec la dynamique des populations de la cératite ;
 - ✓ Des essais d'efficacité concernant trois (3) champignons entomopathogènes : *Metarhizium anisopliae* ., *Verticillium lecanii* et *Paecilomyces fumosoroseus* ;
 - ✓ Des résultats concernant des essais préliminaires de l'utilisation des extraits aqueux de quelques plantes médicinales leur effet bio insecticide vis-à-vis de *C. capitata* ;

Enfin, une **conclusion générale** et les **annexes** clôturent ce document.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur les espèces fruitières étudiées

Chapitre 1 : Généralités sur les espèces fruitières étudiées

1. Les agrumes

1.1. Position systématique

Les agrumes appartiennent à la famille des Rutacées qui comportent trois principaux genres : *Poncirus*, *Fortunella* et *Citrus*. Dans ce dernier genre, Tanka (1961) a mentionné 156 espèces, alors que Swingle et Reece (1967) ont mentionnés 16. Les huit espèces les plus importantes économiquement et commercialement sont : *Citrus. sinensis* (L.) (Oranger doux), *Citrus. reticulata* (Lindl.) (Mandarinier), *Citrus paradisi* (Macfad) (Pamplemoussier), *Citrus. grandi* (L.) (Pomelo), *Citrus limon* (L.) (Citronnier), *Citrus. aurantifolia* (Christm.) (Limettier), *Citrus. aurantium* (L.) (Bigaradier) et *Citrus. medica* (L.) (Cédratier) (Swingle et Reece 1967).

1.2. Importance économique

1.2.1. Dans le monde

Les agrumes sont cultivés dans plus de 130 pays, sur une superficie de plus de 7.6 million d'hectares, principalement dans les régions tropicales et subtropicales où les conditions édapho-climatiques sont optimal (Peña et al., 2009 ; Ollitrault & Navarro, 2012) avec une production de plus de 158 millions de tonnes en 2020 (FAO stat,2020).

La Chine occupe la 1^{ère} place en production d'agrumes avec 26% de la production mondiale, suivi par les pays méditerranéens qui produisent plus de 44 millions de tonnes en 2020 soit 28% de la production mondiale (FAO stat, 2020).

La production agrumicole mondiale a connu une forte augmentation depuis les années 80, chose qui coïncide avec le développement des techniques modernes de production et de transport qui ont réduit les coûts et amélioré la qualité (Spreen, 2001). Les oranges représentent la partie majeure de la production des agrumes (47%), suivies par les clémentines et mandarines (24%), le citron (13%) (FAO stat, 2020).

1.2.2. En Algérie

L'introduction et la plantation des agrumes en Algérie n'a commencé que pendant la conquête musulmane (Scora, 1975 ; Peña et al., 2009). Pendant la période coloniale, l'agrumiculture a pris de l'ampleur, surtout avec la création d'une nouvelle espèce issue d'une

hybridation entre l'oranger doux et le mandarinier par le père Clément Rodier dont porte le nom la nouvelle espèce d'agrumes connue sous le nom de clémentine (Duarte et al., 2016). Après l'indépendance, l'Algérie exportait près de 25% de sa production soit 100.000 tonnes (ITAFV, 2004).

Actuellement, l'agrumiculture représente seulement 8% de la superficie arboricole totale (MADR, 2019). Les vergers d'agrumes sont constitués essentiellement d'oranger (72.7%) (Tableaux 1-2) et sont localisés dans la partie nord du pays, dans les zones irrigables. En effet, le verger agrumicole algérien se localise principalement dans la plaine de la Mitidja (Tableau1) en raison de son exigence en eau et qualité de sol (Karboa, 2001). Actuellement, l'agrumiculture a reconnu un développement remarquable dans le sud du pays avec de nouvelles exploitations dans la région de Ghardaïa avec 1289 ha en 2019 (MADR, 2019).

Tableau 1. Répartition des vergers agrumicole par zone géographique régionale en Algérie (MADR, 2018).

Zone	Superficie (ha)	Production (tonnes)
Nord-ouest	24.262 (35.3%)	487.506,4 (36.3%)
Nord-centre	35.987 (52.4%)	729.145,1 (54.2%)
Nord-est	6.899 (10.1%)	119.098,8 (8.9%)
Sud	1.530 (2.2%)	8.609,6 (0.6%)

Tableau 2. Répartition par espèce des superficies et des productions des agrumes en Algérie entre 2017 et 2019 (MADR, 2019).

Année Espèce	Superficie (ha)			Production (qx)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Oranger	49 942	50 837	51 729	10 139 513	11 341 943	11 995 351
Clémentinier	11 855	13 038	14 330	2 054 473	2 172 109	2 487 839
Mandarinier	2 559	2 518	2 520	452 217	455 533	464 695
Citronnier	4 234	4 516	4 816	777 572	787 979	870 166
Pomelo	88	93	92	18 970	16 700	16 915
Total	68 678	71 001	73 487	13 442 745	14 774 263	15 834 931

1.3. Les variétés étudiées

1.3.1. Oranger, *Citrus sinensis* L.

C'est l'espèce la plus importante du genre *Citrus*, tant par le nombre de variétés qu'elle renferme, que par l'importance de ses productions (Loussert, 1989). Ses fruits sont riches en sucre (45 Kcal/100 g), en vitamine C, en calcium, en potassium et en magnésium (Mioulane, 1996). La variété étudiée est :

1.3.1.1. Thomson

Cette variété fait partie des oranges blondes Navel, caractérisées par une maturation précoce, une peau fine lisse et brillante. Ses fruits ont une chair plus grossière et moins juteuse (Loussert, 1989). La production de cette variété s'échelonne de la mi-Novembre à Janvier (Mioulane, 1996).

1.3.2. Clémentinier

Son origine est toujours controversée. Pour certains, tels que Trabut (1926) et Rebour (1945), il serait issu d'un croisement, au hasard, entre le mandarinier commun et le bigardier Granito. Cet hybride a été découvert à Misserghin (Oran) par le père Clément. Pour d'autres, tels que Tanaka (1961), Chapot (1963) et Weber (1967), il s'agirait d'une variété de mandarinier probablement originaire d'extrême Orient du fait de sa ressemblance avec certains mandariniers (Loussert, 1987). Le bassin méditerranéen est la principale zone de production de clémentines. L'Espagne, le Maroc et l'Algérie en sont les grands pays producteurs (Loussert, 1987).

Cette espèce est caractérisée par sa précocité et ses qualités gustative très appréciées par les consommateurs. La peau est brillante, de couleur orange à rougeâtre, finement granulée, ayant une épaisseur qui varie selon les clones de 2,5 à 4,5 mm. La pulpe est riche en jus, tendre et parfumée. Les fruits sont d'un poids moyen de 60 g (Loussert, 1987).

2. Le figuier, *Ficus carica* L.

Le figuier est un arbre pouvant atteindre 12 à 15 m de hauteur. Il fait partie de la famille des Moracées qui se caractérise par la présence d'un lait blanc ou incolore, encore appelé latex, qui s'écoule au niveau de toute blessure de la plante. Le fruit ou figue est constitué par le sycone devenu charnu après fécondation (Bretaudeau & Faure, 1992). La figue est un fruit juteux, caractérisé par une saveur douce, bonne et sucrée. C'est un fruit réputé pour ses caractéristiques diétético-nutritionnelles particulièrement intéressantes (Vidaud, 1997).

2.1. Position systématique

Le figuier appartient à l'ordre des Urticales, famille des Moracées, et fait partie du genre *Ficus*. Les botanistes font remonter l'origine du figuier domestique au caprifiguier, son ancêtre sauvage. Au II^{ème} siècle av. J.C, Caton l'Ancien en dénombant cinq espèces, la figue Marquise, l'Africaine, l'Herculanum, le Sagonte et la Tellane noir. Ces variétés n'ont pas cessé de se multiplier en d'autres espèces grâce au greffage. Aujourd'hui les spécialistes dénombrent plus de 800 espèces de figuiers réparties dans les régions tropicales et humides (El Bouzidi, 2002).

Il y a 750 espèces connues de figuiers pour toutes les zones chaudes du monde, la plus largement et mieux décrite agronomiquement étant le figuier ordinaire *Ficus carica domestica* L.

Tous les *Ficus* ont au moins 3 points communs (Roger, 2002) :

- Leur système de reproduction sexué (fleurs mâles et femelles) est enfermé dans une gaine végétale appelée « sycone » ou, communément, figue ;
- Ils sont dioïques. Les fleurs mâles et femelles existent à la fois sur les pieds mâles et les pieds femelles, mais seules certaines fleurs mâles des arbres mâles possèdent du pollen fonctionnel ;
- Les mécanismes de fécondation sont subordonnés à la présence d'un insecte spécifique à chaque espèce appartenant au genre *Ficus*. Dans le cas de *F. carica* L., il s'agit du Blastophage (*Blastophaga psenes*, hyménoptère).

2.2. Importance économique dans le monde

Selon les statistiques de la FAO (2020), la superficie totale des plantations du figuier dans le monde est 281 522 ha, produisant annuellement plus d'un million de tonnes de fruits dont la Turquie, l'Egypte, l'Algérie, le Maroc, l'Iran, la Syrie et l'Espagne produisent 76% de la quantité globale, la Turquie seule produit environ 29% de la production totale.

Les USA font désormais partie de ce groupe grâce à la Californie qui est aujourd'hui un important producteur de figue avec 40.000 ha et 4.3 millions d'arbres productifs.

Le tableau 3 représente la répartition et l'évolution de la production mondiale des figues.

Tableau 3. Production de figues dans le monde et dans quelques pays (tonnes/an) (FAO stat, 2020).

Année Pays	2016	2017	2018	2019	2020
Monde	1 062 515	1 158 070	1 222 372	1 303 329	1 264 943
Turquie	305 450	305 689	306 499	310 000	320 000
Egypte	183 794	194 202	221 369	215 450	201 212
Algérie	120 348	128 684	109 214	114 092	116 143
Maroc	59 881	137 934	128 380	153 472	144 246
Tunisie	22 500	25 800	27400	27 000	19 600

Selon les données du tableau 3, la production mondiale des figues est fluctuante d'une année à l'autre mais elle reste autour d'un million de tonnes par année. Cette fluctuation peut être expliquée par l'effet des changements climatiques, la conduite de la culture (travail de sol, fertilisation.....), les incendies, l'effectif des réimplantations et les maladies.

2.3. La culture du figuier en Algérie

La culture de figuier s'étend sur une superficie de 39 026 ha avec une production estimée à 116 143 tonnes, soit un rendement d'environ 2.98t/ha. L'Algérie occupe la quatrième place mondialement en production de figues fraîches qui représente environ 12.54% de la production mondiale de figue (FAO, 2020).

Le verger figuicole algérien avec près de 5 millions d'arbres se maintient encore parmi les principales espèces fruitières du pays et constitue environ 10% du patrimoine arboricole. Le figuier est classé en troisième place après l'olivier 33% et le palmier 20% et devant les agrumes qui représentent 9.1% (Ferradji et *al.*, 2011).

En Algérie, la culture de figuier occupe une superficie importante qui s'étale sur les régions littorales, steppiques et saharienne (Tableau 4) grâce à son adaptation édaphoclimatique. Cependant elle est concentrée essentiellement en Kabylie.

Tableau 4. Production des figues dans quelques wilayas en Algérie (MADR, 2019).

Wilaya	Superficie (ha)	Nombre d'arbre	Production (qx)	Rendement (kg/arbre)	Production de figues sèches (qx)
Bejaia	9 547	732 378	93 695	13,0	15 049
Biskra	566	370 614	55 064	17,0	2 778
Bechar	60	19 730	2 420	12,5	0
Blida	680	114 908	71 489	71,3	100
Bouira	1 840	245 464	22 594	9,9	929
Tamanrasset	42	4 250	746	26,1	0
Tizi-Ouzou	5 837	807 331	106 151	14,5	10 968
Alger	111	38 280	3 310	24,4	0
Djelfa	234	85 500	10 600	20,3	0
Sétif	5 045	597 363	124 076	21,4	10 683
Médéa	898	137 959	47 700	36,0	0
Mostaganem	1 277	214 556	49 971	26,0	0
M'sila	363	46 300	10 800	27,3	0
Mascara	578	64 345	12 400	26,2	80
Oran	360	51 773	9 534	22,2	58
El-Bayadh	77	27 544	6 100	23,1	0
Boumerdès	985	119 925	24 238	22,1	0

2.4. Les variétés étudiées

2.4.1. La variété Tameriout

La variété de figue Tameriout, appelée aussi figue de Bougie. Une excellente variété commerciale, mais sensible à la sécheresse atmosphérique et à la chaleur, elle se place en premier rang de celles de variété cultivées surtout en Kabylie. Les fruits sont vert blond, à chair rouge, très sucrée, parfumée, sont très bons en frais et excellents en sec. Cette variété est cultivée dans le Guergour et la vallée de la Soumman. Poids d'un fruit sec 13 à 19g (Mauri, 1939).

2.4.2. La variété Achtoui

C'est une variété unifère, très tardive car ses fruits mûrissent à partir de fin Août-début Septembre jusqu'à Octobre. L'ostiole est demi ouvert. Les fruits sont d'un vert clair à vert cuivré selon le degré de maturité. Ils sont de forme allongée. La peau de la figue est fine avec de légères nervures. La chaire est rouge et la cavité est absente (Mauri, 1939).

3. Le poirier *Pyrus communis* L.

Le poirier (*Pyrus communis* L.) est un arbre fruitier de la famille des rosacées. Il est cultivé pour son fruit, la poire. Originaire d'Europe et d'Asie, il est cultivé et naturalisé dans tous les continents. De taille moyenne, il peut atteindre 10 à 15 m de haut et vivre jusqu'à deux siècles (Durand, 1912). C'est un proche parent du cognassier (*Cydonia oblonga* Mill.) qui est souvent utilisé comme porte-greffe pour la culture du poirier.

Le poirier est une espèce qui se développe dans des zones climatiques où la température hivernale reste en dessous de 7°C. Ses besoins en froid sont de l'ordre de 1200 à 1500 heures de température inférieures à 7,2°C. En phase dormance, le poirier peut supporter sans en souffrir des températures allant jusqu'à -26°C (De ravel d'escalopon, 1967). Cependant, les températures au-dessus de 27°C et au-dessous de 12°C et la faiblesse d'hygrométrie réduisent le calibre des fruits (Walali & Skiredj, 2003).

3.1. Position systématique

Selon la Classification ¹APG III (2009), le poirier appartient à l'ordre des Rosales, famille des Rosaceae. Il existe plus 68 espèces de *Pyrus* différentes, parmi ces derniers six espèces sont les plus cultivés à travers le monde, il s'agit de *Pyrus communis*, le poirier commun, originaire d'Europe et d'Asie de l'Ouest; le plus largement cultivé dans les zones tempérées du monde. Ses formes sauvages sont *Pyrus communis* L. subsp. *pyraster* (L.) en Europe et *P. communis* susp. *caucasica* (Fed) Browicz dans le Caucase ; *Pyrus pyrifolia*, espèce sauvage disparue, originaire de la vallée moyenne du Yangzi jiang, progénitrice de cultivars des poires chinoises ou des nashi ; *Pyrus ussuriensis*, progénitrice des cultivars de poires de l'Oussouri ; *Pyrus bretschneideri*, originaire du Hebei, dont sont dérivés les cultivars de poires blanches chinoises ; *Pyrus sinkiangensis* Y.T. Yu., poirier du Xinjiang ; *Pyrus pashia* P. Don. cultivé en Inde du Nord, Népal et Chine méridionale (Zohary *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2018; Bell & Itai, 2009).

3.2. Importance économique

3.2.1. Dans le monde

La production mondiale de poires est passée d'une superficie totale de 1.582.926 ha en 2015 à 1.292.709 en 2020. Cependant cette diminution en verger de poirier n'a pas affecté la production mondiale, plus de 24 millions de tonnes ont été enregistrés en 2015 et 23 millions de tonnes en 2020 (FAO. stat, 2020).

La Chine est le premier pays producteur. Avec plus de 16 millions de tonnes, elle a fourni 63% de la production mondiale en 2020, L'Italie est le deuxième pays producteur de poires (4% de la production mondiale) et premier producteur en Europe avec 26% de la production européenne. Les USA occupent la troisième place avec une production de 609.628 de tonnes en 2020. L'Afrique du Sud, 8ème mondial, est le 1^{er} pays producteur Africain avec presque la moitié de la production de poires de l'Afrique (0,34 million de tonnes) (FAO.stat, 2020).

¹ La classification APG III (2009) est la troisième version de la classification botanique phylogénétique des angiospermes établie par l'Angiosperm Phylogeny Group.

3.2.2. Situation du poirier en Algérie

La production nationale de poires s'est sextuplée en 20 ans. Elle est passée de 30000 tonnes en 1986 à 189000 tonnes en 2006, soit une augmentation de 530%. Cette augmentation est due à l'extension des surfaces et la hausse des rendements. Les surfaces ont augmenté de 160 % pour atteindre 22720 ha en 2008. Quant au rendement, l'augmentation est de l'ordre de 177 % durant la même période.

Ces différentes tendances sont à l'augmentation des surfaces qui à partir de 1998, se confond avec le démarrage du programme de mise en valeur des terres (MVT) par la concession agricole². A partir de 2003, cette augmentation s'associe avec l'avènement du programme de MVT dans le cadre du P.N.D.A³.

Il est à noter que bien avant ces deux programmes, un autre a été lancé en 1983, c'est la MVT par l'APFA⁴. Toutefois, l'application de ce programme sur le terrain est venue très tardivement vers la fin des années 80. Notons aussi que jusqu'à 2008, les trois programmes étaient en cours d'exécution en même temps. Actuellement, c'est la MVT par la concession agricole qui reste applicable.

La culture de poirier en Algérie s'étend actuellement sur une superficie de 22 651 ha avec une production estimée à 2 234 673 qx, soit un rendement d'environ 110,4 qx/ha (MADR, 2019). L'Algérie occupe la quatorzième place mondialement en production de poires qui représente environ 9% de la production mondiale de poire (FAO stat, 2020).

3.3. Les variétés étudiées

3.3.1. Castell

Aussi connue sous le nom de Sanjuanera ou San Juan, c'est une variété à haute productivité avec de petites poires coniques, jaune verdâtre et rose. La viande est blanche, sucrée et juteuse. Ils sont récoltés au début de l'été (ITAFV-Mohammadia).

3.3.2. Blanquilla

On l'appelle aussi blanche d'Aranjuez ou poire d'eau, elle produit des poires allongées, de forme oblongue, et de couleur vert clair. Sa pulpe est blanche, douce et aromatique. Le temps de les récolter est vers la fin de l'été (ITAFV-Mohammadia).

² Le décret exécutif N° 97-483 du 15 décembre 1996.

³ Plan National de Développement Agricole - Décision du ministre de l'agriculture n° 599 du 08 juillet 2000.

⁴ Accession à la Propriété Foncière Agricole - Loi n° 83-18 du 13 août 1983

**Chapitre II : La mouche méditerranéenne
des fruits, *Ceratitis capitata* Wied**

Chapitre 2 : La mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* Wied

1. Position systématique

Ceratitis capitata est une espèce qui a été décrite sous plusieurs noms depuis le 19^{ème} siècle (Fellah, 1996). Elle a reçu le nom de *Ceratitis capitata* en 1824 par Wiedmann, *Petalophora capitata* (Macepi, 1825), *Ceratitis flexuoso* (Walk, 1856) et *Paradalapsi asparagi* (Bezzi, 1924).

Selon Balachowsky & Mesnil (1935), le nom qui a été retenu est *Ceratitis capitata* Wiedmann 1824. Selon ITIS et Dyck et al. (2005), la position systématique de *Ceratitis capitata* est comme suit :

- Royaume : *Animalia*
- Phylum : *Arthropoda*
- Classe : *Insecta*
- Ordre : *Diptera*
- Sous-ordre : *Brachycera*
- Division : *Cyclorrhapha*
- Groupe : *Schizophora*
- Super famille : *Trypetidae*
- Famille : *Tephritidae*
- Genre : *Ceratitis*
- Espèce : *Ceratitis capitata* Wiedemann (1824)

2. Origine et distribution géographique

La mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann est originaire d'Afrique (Thomas et al., 2001; CABI, 2014 ; Eksi et al., 2016). Elle est considérée comme largement répandue dans toute la région Afro-tropicale (Meyer et al., 2002), et comme l'un des plus importants de ces ravageurs du point de vue des espèces envahissantes. Elle s'est répandue sur de nombreux autres continents, étant un ravageur cosmopolite causant des millions de dégâts (Figure 1) (Annexe 1).

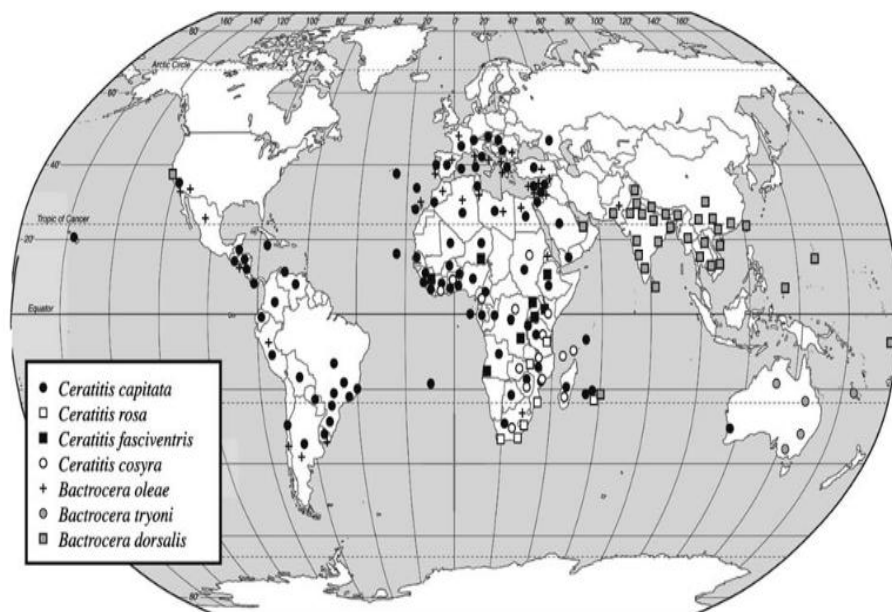


Figure 1 : Carte de distribution de certaines des principales espèces de mouches des fruits dans le monde (Malacrida et al., 2006).

Actuellement, la cératite peut être transportée d'une partie du monde à un endroit éloigné en quelques heures, ce qui complique grandement les efforts visant à la contenir dans sa répartition actuelle. Une fois établie, les efforts d'éradication peuvent être extrêmement difficiles et coûteux. En plus de la réduction du rendement des cultures, les zones infestées entraînent des dépenses supplémentaires pour des mesures de contrôle coûteuses et des processus de triage des fruits et légumes frais et transformés. (Thomas et al., 2001).

Le principal risque est causé par l'importation de fruits contenant des larves, soit dans le cadre de la cargaison, soit par la contrebande de fruits dans les bagages des passagers des compagnies aériennes par courrier (CABI, 2014).

C. capitata a atteint toutes les masses terrestres tropicales et tempérées chaudes. Sa présence, même sous forme de populations adventives temporaires, peut entraîner de sévères contraintes supplémentaires pour l'exportation des fruits vers des zones non infestées d'autres continents. A cet égard, *C. capitata* est l'un des organismes de quarantaine les plus importants pour les zones tropicales ou tempérées chaudes dans les régions où il n'est pas encore établi (CABI, 2014). *C. capitata* est un organisme de quarantaine A2 de l'OEPP (site Internet de l'OEPP), et revêt également une importance de quarantaine dans le monde entier (CPPC, NAPPO, APPPC).

En Afrique du Nord, *C. capitata* est présent sur tout le littoral et la zone sublittoral de la Tunisie au Maroc (Balachowsky & Mesnil, 1935). Il est particulièrement abondant dans le bassin méditerranéen (Bovey et al., 1948). Sa présence en Algérie remonte à 1898 pour Bovey et al. (1948) et à 1859 pour Bodenheimer (1951).

Les pays européens comme l'Espagne, l'Italie et la France n'ont pas échappé à l'invasion de ce diptère. Les régions d'Amérique centrale et du Sud ont également une forte présence de ce Diptère. En Australie, cette mouche a été introduite accidentellement à Hawaii vers 1907 (Vargas et al., 1983).

3. Plantes hôtes

C. capitata est une espèce très polyphage ; elle peut attaquer plus de 260 fruits, fleurs, légumes et noix différents. Elle préfère les fruits succulents, à peau fine et mûrs. Son mode de relation avec ses hôtes d'une région à l'autre semble dépendre largement sur la disponibilité des fruits (White et Elson-Harris, 1994).

Selon Delassus et al. (1931), les agrumes ne sont pas les seules plantes attaquées par la cératite en Algérie. C'est un ravageur important des agrumes et des fruits à noyau (Sadoudi Ali-Ahmed, 2007). En effet, Laamari et Talbi (2015) ont souligné son émergence sur le pommier dans la région de Batna. Mostefaoui et al. (2020) ont également signalé l'émergence de ce ravageur sur le piment sous serre dans la zone sub-saharienne de la région du Souf.

Les larves de *C. capitata* peuvent être observées sur une large gamme de fruits non apparentés. Il s'agit notamment des pêches (*Prunus persica*), des abricots (*Prunus armeniaca*), des kakis (*Diospyros kaki*), des prunes (*Prunus domestica*), des poires (*Pyrus communis*), des figes (*Ficus carica*) et également des cultures maraîchères, du café.....etc. Une liste exhaustive d'hôtes est fournie par Weems (1981).

La connaissance des plantes hôtes dans un pays permet souvent de prédire celles qui peuvent être infestées dans une zone nouvellement infestée, mais ce qui peut être un hôte préféré dans une partie du monde peut être un mauvais hôte dans une autre (Thomas et al., 2001).

4. Description morphologique

4.1. L'œuf

Les œufs de la cératite sont minces et courbés (Figure 2), ils mesurent environ 1 mm de long ; ils sont lisses et d'une couleur blanche brillante (Thomas et *al.*, 2001). Ils sont regroupés pendant l'oviposition sous la peau du fruit à une profondeur de 2 à 5 mm.



Figure 2 : Œuf de *C. capitata* vu à la loupe binoculaire (G X 800) (Bachi, 2018).

4.2. La larve

Les larves passent par trois stades larvaires, le 1^{er} stade larvaire est transparent et mesure environ 1mm de long, et le squelette cephalo-pharyngien n'est pas mélanisé. Au deuxième stade, les larves deviennent partiellement transparentes et présentent la couleur de la nourriture ingérée. Leur taille est variable et la base des crochets buccaux est mélanisée (Weems, 1981).

Le troisième stade larvaire pleinement développé mesure environ 7 à 9 mm de long (Thomas et *al.*, 2001), avec un corps entièrement blanc opaque ou de la couleur de la nourriture ingérée. La taille exacte de la larve dépend du régime alimentaire. A ce stade, les crochets buccaux sont totalement pigmentés (Figure 3).



Figure 3 : Larve de *Ceratitis capitata*. La tête est à gauche. (Crédit : Jeffery Lotz, Florida Department of Agriculture and Consumer Services-Division of Plant Industry).

La larve de la cératite se distingue des autres larves de mouches des fruits par ses spiracles antérieures, ou thoraciques, qui portent de petits tubules en forme de doigts, au nombre de 7 à 11, généralement 9 à 10.

Le dernier stade se distingue également des autres par son comportement. La larve effectue une série de petits sauts et quitte ainsi le fruit hôte (Dridi, 1993).

4.3. La puppe

Les pupes sont cylindriques, ressemblent à un grain de blé gonflé, mesurent 4 à 4,5 mm de long et 2 mm de diamètre (Orts et Giraud, 2006). Leur couleur est claire pour les jeunes pupes et brun rougeâtre foncé pour les plus âgées (Heppner, 1985) (Figure 4).



Figure 4 : Nymphes de *C. capitata* sous loupe binoculaire (G X 40) (Original, 2021).

4.4. L'adulte

L'adulte est une mouche mesurant entre 3,5 et 5 mm de long (Thomas et *al.*, 2001). Sa tête est assez grande, jaune, avec une bande marron clair entre les yeux qui sont violet rougeâtre avec des reflets vert émeraude. Le thorax est noir avec des rayures gris argenté. Les ailes présentent des colorations typiques en bandes et des taches noires, ce qui la différencie de toutes les autres espèces de mouches des fruits (Vayssières et *al.*, 2008). L'abdomen est de forme ovale, de couleur jaune et rayé transversalement de deux bandes blanc-gris.

Les mâles et les femelles se distinguent facilement par deux caractéristiques morphologiques (Figures 5 & 6) ; La tête du mâle porte deux longues soies noires, largement aplaties, naissant entre les yeux près des antennes, ce qui permet de les distinguer facilement des femelles (White & Elson-Harris, 1992).

La femelle peut être distinguée par son long ovipositeur à l'apex de l'abdomen qui s'étend pendant la ponte ou l'accouplement et permet à la femelle d'inoculer ses œufs sous la peau du fruit (Duyck, 2005). L'ovipositeur étendu de la femelle mesure 1,2 mm de long.

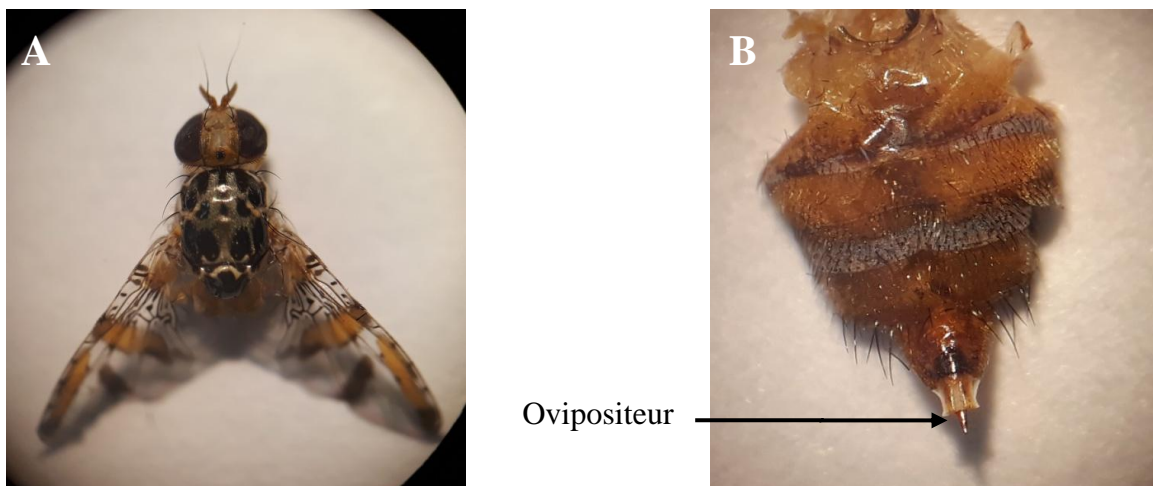


Figure 5 : A : femelle de *C. capitata* ; B : abdomen et ovipositeur de la femelle sous loupe binoculaire (GX40) (Original, 2021).

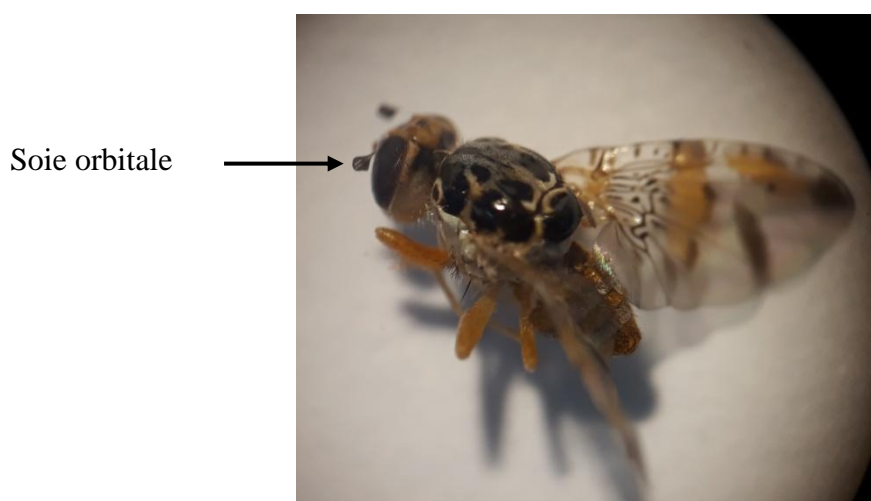


Figure 6 : Vue latérale du mâle de *C. capitata* sous loupe binoculaire (GX40) (Original, 2021).

5. Biologie et cycle de développement de *C. capitata*

C. capitata est un insecte holométabole à métamorphose complète, passant par les stades de l'œuf, larve, nymphe et émergeant finalement comme adulte. La durée du cycle de vie dans des conditions de climat chaud est d'environ 21-30 jours (Mau & Kessing, 1992).

Les œufs sont pondus sous la peau du fruit, chaque femelle peut déposer 2 à 10 œufs à la fois ; le même trou de ponte peut être utilisé par d'autres femelles et peut contenir 75 œufs ou plus, les œufs éclosent après 1,5 à 3 jours dans des conditions de climat chaud (jusqu'à 16-18 jours par temps frais).

Le stade larvaire peut durer entre 6 et 26 jours selon la température et l'hôte. Lorsque les larves se sont complètement développées, le fruit est généralement tombé sur le sol où la nymphose a lieu à un ou deux pouces sous la surface, les adultes émergent après 6 à 11 jours (24-26°C ; plus longtemps par temps frais), complétant ainsi le cycle biologique.

5.1. Oviposition et incubation

Les adultes nouvellement émergés se nourrissent des substances sucrées présentes sur les arbres fruitiers. Ces adultes ne sont pas sexuellement matures. Les mâles présentent souvent une activité sexuelle 4 jours après l'émergence, tandis que la plupart des femelles présentent une maturité sexuelle 6 à 8 jours après l'émergence (Diez, 2007).

Les mâles de la cératite se rassemblent en groupes (leks) sur les plantes, où ils émettent une phéromone sexuelle pour attirer les femelles. L'accouplement peut avoir lieu à tout moment de la journée. Peu après l'accouplement, la ponte commence, qui est très influencée par l'intensité lumineuse et a lieu de préférence dans des zones ombragées (Quilici, 1993 ; Papadopolous et *al.*, 2015).

Les femelles pondent leurs œufs en petits amas directement dans la pulpe des fruits. C'est le cas par exemple pour les pêches, l'abricot et les poires, ou dans l'épaisseur de la peau des agrumes (Praloran, 1971).

La fécondité totale d'une femelle est de 300-400 œufs ; elle peut atteindre 800-1000 œufs lorsque les conditions sont très favorables (Weems, 1981 ; Dridi, 1995). La période d'incubation est de 1.5-3 jours en été (Mau et Kessing, 1992) et de plus de 20 jours en hiver (Delassus et *al.*, 1931).

5.2. Développement larvaire

Lorsque les œufs éclosent, les larves commencent à se nourrir presque immédiatement. Des tunnels se forment, mais les larves se nourrissent souvent ensemble dans le même voisinage jusqu'à ce qu'elles soient presque adultes (Thomas et *al.*, 2001).

Au début, l'attaque se manifeste extérieurement par une tache décolorée qui s'agrandit au fur et à mesure que les larves grandissent, puis noircit ou gonfle (Sproul, 1983).

La durée du développement larvaire, qui comprend trois étapes, varie en fonction de l'espèce fruitière hôte et des conditions climatiques. Pour Mau et Kessing (1992), elle est d'environ 6 à 10 jours en été et de 14 à 26 jours selon la température et l'hôte.

5.3. La nymphose

A la fin de leur développement, les larves de 3^{ème} stade quittent le fruit d'un bond et s'enfoncent dans le sol où la nymphose a lieu. Cette transformation ne dure que quelques heures (Duyck, 2005). De ces pupes, les adultes émergent et recommencent le cycle. La durée du cycle de vie de la cératite varie de 20 jours en été à 2 ou 3 mois en hiver (Delrio, 1985).

5.4. Emergence des adultes

Les adultes émergent des étuis nymphaux en plus grand nombre tôt le matin par temps chaud et émergent plus sporadiquement par temps plus frais. Ils peuvent voler sur de courtes distances, mais les vents peuvent les emporter à un kilomètre ou plus (Mau et Kessing, 1992).

Les adultes meurent dans les 2 à 4 jours après l'émergence s'ils ne peuvent pas obtenir de la nourriture. Habituellement, environ 50 % des mouches meurent au cours des 2 premiers mois après l'émergence. Certains adultes peuvent survivre jusqu'à un an ou plus dans des conditions favorables de nourriture, d'eau et de températures fraîches.

Lorsque le fruit hôte est disponible en permanence et que les conditions météorologiques sont favorables, les générations successives seront nombreuses et continues. L'absence de fruits pendant 3 à 4 mois réduit la population à un minimum (Thomas et *al.*, 2001).

5.5. Nombre de générations

Bateman (1972) a indiqué que les facteurs climatiques et la plante hôte ont un impact crucial sur les taux de développement des populations de mouches des fruits. Dans les régions tempérées, les mouches des fruits développent des générations saisonnières comme les espèces multivoltine telles que *C. capitata*, augmentant le nombre de leurs populations dès le début du printemps, atteignant le pic entre la fin de l'été et le début de l'automne, puis déclinant, puisqu'il s'agit d'une espèce hibernante pendant les mois les plus froids de l'année.

Le nombre de générations de *C. capitata* varie d'une année à l'autre et d'une région à l'autre en fonction des conditions climatiques, notamment la température, mais aussi de l'espèce fruitière sur laquelle les œufs sont pondus (Ramade, 2003).

Dans le bassin méditerranéen, six à huit générations se produisent en un an (Geoffrion, 2003). Selon Ramade (2003), on peut compter plus de 10 générations par an en Afrique de l'Ouest. Dans le sud de la France, qui représente la limite nord de l'aire de répartition de la cératite, on n'observe qu'une à deux et exceptionnellement trois générations selon les années.

Oukil (1995) a résumé comme suit le nombre de générations possibles en Algérie :

- La première génération, qui se produit en mars-avril, ne se rencontre que sur les oranges tardives ;
- La deuxième génération est composée de peu d'individus et passe presque inaperçue durant le mois de mai (elle est présente sur le néflier, le pêcher et les oranges tardives) ;
- La troisième génération apparaît en juillet où des pertes sont observées sur les fruits à noyaux (pêches, abricots, prunes) ;
- La quatrième génération a lieu de fin août à début septembre. C'est la période où les populations de *C.capitata* peuvent atteindre des niveaux maximaux en raison de la disponibilité d'une large gamme de fruits de saison (poires, pommes, figues, kaki, grenades, figues de barbarie... etc) ;
- Les deux dernières générations se développent sur les agrumes et apparaissent à partir d'octobre/novembre et décembre/janvier.

6. Facteurs influençant le comportement de *C.capitata*

6.1. Les facteurs climatiques

6.1.1. La température

Comme indiqué par Bateman (1972), la température a un impact crucial sur la détermination de l'abondance et des taux de développement des populations de ravageurs ; elle est donc principalement responsable des processus des populations et de leur synchronisation avec les changements de l'environnement dans le temps.

Selon Bodenheimer (1951), Shoukry & Hafez (1979), Delrio (1985) et Nunez (1987), la température affecte toutes les fonctions vitales de la cératite. La maturité sexuelle et le temps de ponte sont plus longs à des températures comprises entre 17 et 24°C et significativement plus courts à des températures de 26 à 30°C. La fécondité quotidienne est plus élevée les jours ensoleillés. Les œufs deviennent infertiles à des températures minimales de 4-7°C, il en va de même pour les températures élevées d'environ 35°C.

Les adultes ne supportent pas les températures élevées supérieures à 45°C et les températures basses inférieures à 10°C, surtout si elles sont accompagnées de pluie. Par contre, les nymphes sont plus résistantes aux variations thermiques, elles peuvent survivre à des intervalles allant de 6 à 45°C (Delrio, 1985). La gamme de température pour les différents stades (œufs, larves, nymphes et adultes) se situe entre 10 et 35°C. L'optimum se situe entre 23 et 37°C (Nunez, 1987 ; Dridi, 1995).

6.1.2. L'humidité relative

Selon Sadoudi-Ali-Ahmed (2007), la pluie rend la cératite inactive. En revanche, le manque d'humidité et l'air sec entravent les adultes de la cératite et les poussent à se déplacer à la recherche d'eau et d'humidité (Nunez, 1987). De plus, l'humidité relative nécessaire au développement de *C. capitata* varie entre 60 et 70% (Feron, 1957 ; Albajes & Santiago Alvarez, 1980).

6.1.3. La lumière

La lumière agit par sa photopériode et son intensité. L'accouplement et l'alimentation des adultes ont lieu le matin, dès les premières heures, puis diminuent jusqu'à s'annuler en fin d'après-midi (Bodenheimer, 1951).

Dans le cas d'un éclairage naturel, l'activité sexuelle se produit au début de la journée, puis diminue et est annulée avant que l'intensité lumineuse ne diminue (Causse & Ferron, 1967). Selon Nunez (1987), le rapport lumière/obscurité idéal pour les différents stades de développement est de 12/12.

Pour Feron (1957), les parties du fruit les moins exposées à la lumière présentent plus de piqûres et d'oviposition.

6.1.4. Le vent

Le vent est un facteur influent dans la dispersion et la migration des insectes. Les adultes nouvellement émergés peuvent voler sur de courtes distances, mais les vents peuvent les transporter sur un kilomètre ou plus (Thomas et al. 2001). Les vents forts peuvent transporter les mouches jusqu'à 72 km de leur gîte larvaire et même plus loin (Seguy, 1950).

Selon Soria (1963), la vitesse de dispersion de *C. capitata* peut atteindre 464m en 24 heures. De plus, des vents en rafale ou trop chauds, comme dans le cas des siroccos, entravent l'activité des adultes et provoquent une forte mortalité (Delanoue, 1951).

6.2. Les facteurs édaphiques

Ali-Ahmed Sadoudi et *al.* (2007) ont montré que la texture et la profondeur du sol affectent différemment le taux d'émergence des adultes de *C.capitata* et la durée de la nymphose. De même, selon les travaux de Cavalloro & Delrio (1978), la texture du sol affecte significativement le taux d'émergence des adultes de *C.capitata*. De plus, la profondeur d'enfouissement des pupes dans le sol affecte différemment le taux d'émergence moyen.

Dans un sol à texture fine, la pénétration des larves est limitée, et parfois les pupes se forment à la surface. En revanche, la pénétration est rapide et profonde dans les sols à texture grossière (Delanoue & Soria, 1954). Un sol excessivement humide a une influence défavorable sur la survie des larves (Bodenheimer, 1951).

6.3. Les facteurs biotiques

6.3.1. L'hôte

Pour localiser ses hôtes, *C. capitata* répond à une combinaison de stimuli par des médiateurs chimiques et visuels. Elle est particulièrement attiré par les fruits aromatiques (agrumes, fruits à noyau...etc.), qui sont de couleur vive à l'approche de la maturité (Weems, 1981 ; Delrio, 1985).

La structure de la peau du fruit et la composition de la pulpe en eau, protéines et sucres sont des facteurs clés pour favoriser la ponte (Seguy, 1950 ; Ali-Ahmed- Sadoudi, 2007). De même, la structure de la peau du fruit joue un rôle dans la mortalité des larves, notamment celles du premier stade (Bodenheimer, 1951 ; Delrio, 1985). Selon Fitt (1986), la nature du fruit hôte joue un rôle dans le choix du site de ponte, la durée de développement des larves et le poids des pupes.

Par ailleurs, les caractéristiques du fruit influencent le développement larvaire et la fécondité via le poids pupal, selon Krainaker et *al.* (1989).

6.3.2. La compétition larvaire

En cas de rareté d'hôte, une compétition larvaire intra-spécifique est observée. Celle-ci affecte la taille, la fécondité et la longévité des mouches (Delrio, 1985). La densité élevée de larves induit une mortalité larvaire, des difficultés d'exuviation et aussi une diminution du poids des adultes à l'émergence (Debouzie, 1977 ; Delrio, 1985).

6.3.3. Les ennemis naturels

Les larves et pupes âgées sont attaquées par diverses gammes d'insectes du sol (carabes, fourmis, staphylins... etc.). Les travaux de Vayssieres et Sinzogan (2008) ont montré que l'abondance de fourmis tisserandes *Oecophylla longinoda* dans un verger réduit considérablement les dégâts causés par les mouches des fruits.

C. capitata est également attaquée par des hyménoptères parasites qui se développent au dépend de larves de troisième stade ou les jeunes pupes. Parmi les principaux parasitoïdes, on peut citer *Diachasma tryoni*, *Dirhinus giffardii* et *Opius humilis*, (Bodenheimer, 1951 ; Delrio, 1958 ; Nunez, 1987). Dans le bassin méditerranéen, le parasitoïde le plus commun est *Opius concolor* (Balachowsky & Mesnil, 1935).

7. Plantes hôtes et dégâts de *C. capitata*

Le ravageur polyphage *Ceratitis capitata* est connu pour pondre ses œufs dans les fruits en phase de véraison jusqu'à maturité. Par conséquent, les périodes d'infestation coïncident avec la chronologie de la maturation de l'espèce (Lachiheb, 2008). Les dégâts sont des piqûres de ponte et des galeries dans les fruits, causées respectivement par les femelles et les larves.

De plus, ces galeries et piqûres constituent une voie d'accès pour les champignons et les bactéries qui sont responsables du pourrissement et de la chute prématurée du fruit. Ces dégâts constituent un obstacle majeur aux exportations en raison de la dévaluation des marchandises et des mesures de quarantaine imposées par certains pays importateurs.

La figure 7 montre des piqûres d'oviposition de femelles sur Clémentine. La figure 8 montre des piqûres de ponte sur deux variétés de poires, Blanquilla et Delbard.

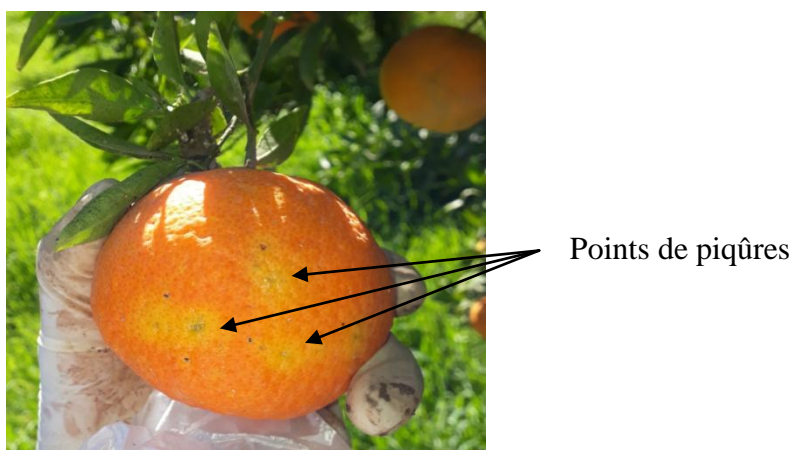


Figure 7 : Piqûres de *C. capitata* sur clémentine (Original, 2018).

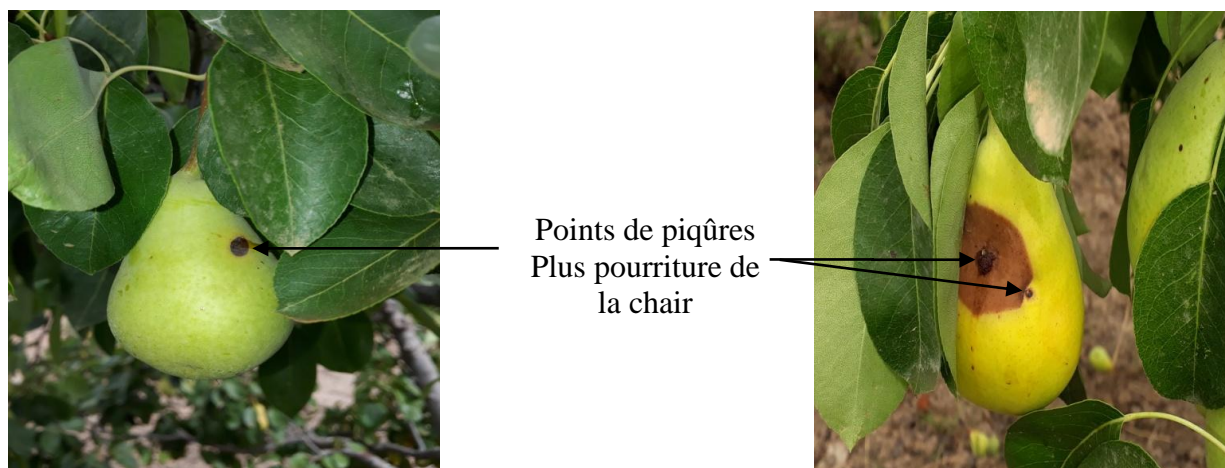


Figure 8 : Piqûres de *C. capitata* sur des fruits de poires, variété Blanquilla à gauche et Delbard à droite (Original, 2018).

D'autre part, Ali-Ahmed Sadoudi (2007) ; Ali-Ahmed Sadoudi et *al.* (2012) et Bachi (2018) indiquent que *C. capitata* attaque plusieurs variétés de fruits d'hiver et d'été dans différents vergers en Algérie dans lesquels ils citent l'orange, la clémentine, la pêche, l'abricot, le citron et la figue. De plus, Cheik & Ben Salah (1976) ont également constaté que la succession des hôtes en Tunisie offre une période d'infestation continue pour *C. capitata* tout au long de l'année.

7.1. *Ceratitis capitata* et les agrumes

Bodenheimer (1951) a décrit le point de piqûre de la cératite sur les agrumes (Figure 8). Il est facilement reconnaissable surtout sur les oranges vertes, où il présente une zone décolorée qui circonscrit le point de piqûre. Ce phénomène accélère la maturité (Fellah, 1996). Les points de piqûre sont légèrement relevés à la surface des fruits ou, au contraire, légèrement affaissés. La tache finit par s'élargir, devient brunâtre et la pulpe sous-jacente pourrit (Figures 7 et 8).

Les différentes caractéristiques signifient que les diverses variétés de Citrus ont une susceptibilité variable à être attaquées par *C. capitata*.

Bodenheimer (1951) considère que le citron et le cédrat sont immunisés contre l'infestation, malgré la présence de piqûres stériles. Cependant, les bigaradiers sont sévèrement attaqués en raison du relâchement des tissus de l'écorce (Delanoue & Soria, 1962).

Les variétés tardives telles que les oranges tardives Valencia favorisent la pullulation de la cératite. En effet, outre des conditions climatiques favorables, les fruits de cette variété

sont caractérisés par une écorce relativement fine, facile à percer par l'ovipositeur des femelles.

Les clémentines ont une peau fine, la ponte a donc lieu directement dans la chair du fruit. Pour les oranges Thomson, le niveau élevé de piqûres stériles montre une grande réceptivité de cette variété en raison de la structure lisse et relativement fine de l'écorce du fruit. Alors que pour les variétés de sang Maltaise et Double fine, qui mûrissent en même temps, les piqûres stériles diminuent dans le temps indiquant une inhibition de la ponte et un changement d'hôte (Fellah, 1996).

7.1.1. Comportement de *C. capitata* sur les agrumes

- **Distribution de l'infestation sur les agrumes :** *C. capitata* préfère le côté sud de l'arbre, ou le côté est (Fellah, 1996). Gahbiche (1993), a montré l'existence de deux gradients décroissants d'infestation sur les agrumes, l'un allant de l'extérieur vers l'intérieur de l'arbre, et l'autre selon ses points cardinaux. Le côté sud-est présente le taux d'infestation le plus élevé.
- **Evolution temporelle des infestations :** L'infestation des fruits d'agrumes montre une succession au rythme de la succession de la maturité des fruits. Selon Delanoué & Soria (1962) et Gahbiche (1993), l'augmentation du taux d'infestation est directement liée à l'augmentation du taux de capture. Concernant l'impact de l'infestation sur la chute des fruits, Soria (1961) a constaté que lorsque la larve de troisième stade effectue son saut caractéristique vers le sol, le fruit peut ne pas tomber.

7.2. *Ceratitis capitata* et les fruits d'été

L'arboriculture dans le bassin Méditerranée et en Algérie offre une multitude de plantes hôtes pour le développement de la cératite. Les plantes hôtes cultivées, essentiellement des arbres fruitiers, offrent à la cératite un environnement favorable en plus des conditions climatiques optimales pour son développement durant la saison estivale. Il débute par le néflier du Japon et se termine par le figuier de Barbarie, en passant par l'abricotier, le pêcher, le prunier, le pommier, le poirier et le figuier (Oukil, 1995).

7.2.1. Comportement de *C. capitata* sur les principaux fruits d'été

- **Les abricots *Prunus armeniaca* :** Les abricots sont très recherchés par la mouche du vinaigre, surtout les variétés tardives. Les variétés précoces échappent souvent à l'infestation. Ali-Ahmed Sadoudi (2007) a trouvé que les deux variétés d'abricot Bulida et Hâtif Colomer sont les plus piquées et celles qui ont donné le plus de pupes.

Bodenheimer (1951) montre que le fruit de l'abricot ne peut contenir plus de 3-5 larves. A partir d'échantillons d'abricots collectés dans les îles Hawaii, Liquido *et al* (1990) ont obtenu une moyenne de 340,55 adultes par kilogramme de fruits attaqués.

- **Les pêches *Prunus persica*** : Les pêches sont un hôte préféré de *C.capitata*. Ils sont en effet, classés parmi les hôtes les plus attaqués en Algérie (Ali-Ahmed Sadoudi, 2007). Au Maroc, les pêches sont l'hôte préféré de *Ceratitis capitata* pendant le printemps (Fahad *et al.* 2013). En Tunisie, la cératite est considérée comme le principal ravageur du pêcher (Lachiheb, 2008).
- **Les prunes *Prunus spp*** : Les prunes sont relativement résistantes aux attaques de *C.capitata*, une fois mûres elles sont rapidement infestées, surtout en juin-juillet, bien que l'humidité élevée de la pulpe provoque la mortalité des jeunes larves (Fellah, 1996). Nishida *et al* (1985) ont trouvé une émergence moyenne de neuf adultes par kilogramme de fruits infestés.
- **Les poires *Pyrus communis*** : Les poires sont un hôte favorable pour *C.capitata* avec des taux d'infestation allant jusqu'à 80-100%. Plusieurs variétés précoces aux fruits juteux et de petite taille sont gravement infestées (Fellah, 1996). Ali-Ahmed Sadoudi (2007) a trouvé que les variétés de poires Docteur Guyot et Williams Meningo étaient sensibles aux attaques de *C.capitata*. Fahad *et al* (2013) ont trouvé que la variété de poire Passe crassane est l'hôte préféré de la cératite pendant l'automne dans la région de Sefrou au Maroc.
- **Les Figes *Ficus carica*** : Les figes ne sont sensibles aux attaques de la cératite qu'après leur maturation. En fait le liquide laiteux et âcre contenu dans la peau des figes non mûres empêche la ponte des femelles. Sadoudi-Ali Ahmed (2007), Sadoudi-Ali Ahmed *et al* (2012) présentent la figue comme le fruit le plus infesté en raison de la souplesse de son épiderme et de sa richesse en protéines et en sucre.

8. Moyens de lutte

8.1. Mesures prophylactiques

Selon Delanoue (1951), l'hygiène phytosanitaire des vergers est assurée par la récolte et la destruction des fruits tombés au sol. Ces fruits sont soit enfouis dans le sol à une profondeur d'environ 90 cm avec l'ajout de chaux en quantité suffisante pour tuer les larves, soit brûlés à l'extérieur du verger, soit mis dans des sacs bien fermés pour être dégradés et réutilisés comme compost.

8.2. Lutte culturale et méthodes sanitaires

La principale méthode de contrôle culturel utilisée pour lutter contre ce ravageur est l'assainissement des champs. L'assainissement des champs vise la destruction de tous les fruits non commercialisables et infestés. La récolte hebdomadaire des fruits réduit également les sources de nourriture à partir desquelles de grandes populations peuvent se développer (Mau & Kessing, 1992).

L'une des méthodes de lutte les plus efficaces consiste à ensacher les fruits pour exclure la ponte des œufs (CABI, 2014). Un travail du sol régulier en hiver sur les cinq premiers centimètres sous le feuillage permet d'exposer une partie des pupes hivernantes à l'humidité, au gel éventuel et aux prédateurs et peut également réduire la première génération survivante.

8.3. Lutte chimique

La lutte contre *C. capitata* en agriculture conventionnelle reste principalement chimique, malgré les conséquences sur la stabilité biologique et sur l'insecte lui-même, qui développe des résistances (Lekchiri, 1982).

Les pulvérisations chimiques ne se sont pas révélées totalement efficaces pour protéger les fruits contre la cératite. La ponte des œufs ne dure que quelques minutes et les résidus chimiques ne tuent pas les adultes dans ce laps de temps. L'utilisation d'attractifs liquides protéinés dans les pulvérisations d'insecticides est une méthode recommandée pour contrôler les populations de mouches méditerranéennes adultes à proximité des cultures.

Les appâts servent à encourager les adultes (surtout les femelles) à se nourrir des résidus de la pulvérisation et peuvent fournir de bons taux de mortalité des adultes. Pour être efficaces, les pulvérisations d'appâts-insecticides doivent être utilisées en combinaison avec de bonnes pratiques sanitaires. Ces pratiques comprennent la destruction des fruits non commercialisables à chaque date de récolte, et la destruction des résidus de culture immédiatement après la fin de la récolte économique (Mau & Kessing, 1992).

Ces dernières années, une combinaison de Spinosad, une substance d'origine naturelle, et d'un attractif alimentaire, incorporé dans l'ingrédient actif, a réduit de manière significative le niveau de population de *Ceratitis capitata* (Vergoulas et Torné, 2002).

L'utilisation de pulvérisations d'appâts est à la fois plus économique et plus acceptable pour l'environnement (Stancic, 1986). Le traitement a lieu lorsque plus de trois mouches par piège et par jour sont détectées (Bennai et Hamadech, 2012).

Afin de réduire l'utilisation des pesticides pour une meilleure protection de l'environnement, l'application de pulvérisations ponctuelles avec un attractif alimentaire et/ou sexuel est recommandée.

8.4. Lutte biotechnique

8.4.1. La confusion sexuelle

La lutte par confusion sexuelle consiste à libérer de grandes quantités de phéromone sexuelle synthétique dans l'atmosphère du verger afin de désorienter les mâles et ainsi empêcher les sexes de s'accoupler. Cette approche est écologique et préventive, mais le coût de la phéromone est élevé.

8.4.2. Le piégeage de masse

Le piégeage de masse des femelles et des mâles à l'aide de pièges appâtés densément espacés (sans insecticide) est largement utilisé dans la région méditerranéenne (Navarro-Llopis et *al.*, 2008).

8.4.3. Le contrôle autocide

La technique de l'insecte stérile (SIT) nécessite le lâcher de millions de mouches stériles dans la population sauvage de sorte qu'il y ait une forte possibilité que les femelles sauvages s'accouplent avec des mâles stériles (Gilmore, 1989). Il s'agit d'une technique non polluante qui est préconisée depuis le début des années 1970.

Les essais menés en Tunisie ont conduit à une réduction sévère de la population dans les zones de lâcher, mais ils n'ont pas conduit à la suppression totale de la mouche (Cheikh et *al.*, 1975).

Il est peut être utile de signaler le programme le plus important, le "Programa Moscamed", qui a été mis en œuvre dans le sud du Mexique et visait à stopper la propagation de la cératite vers le nord et à l'éradiquer de l'Amérique centrale (Schwarz et *al.*, 1989).

En effet, la Chimio-stérilisation des femelles et des mâles sauvages avec du lufenuron, un régulateur de croissance des insectes, est prometteuse pour la suppression de *C. capitata*. Les femelles nourries au lufenuron ou accouplées avec des mâles nourris au lufenuron

peuvent réduire ou empêcher l'éclosion des œufs (Casaña-Giner et al., 1999). Des expériences sur le terrain dans lesquelles le lufenuron était mélangé à des attractifs à base de nourriture ont démontré l'efficacité de cette technique (Navarro-Llopis et al., 2004).

8.5. La lutte biologique

8.5.1. La lutte par les bactéries entomopathogènes

Ces agents de contrôle biologique sont des procaryotes microscopiques. Selon Starnes et al. (1993), plus d'une centaine de bactéries ont été identifiées comme ayant un potentiel d'utilisation en lutte biologique. Ces bactéries entomopathogènes appartiennent surtout, à trois grandes familles qui sont *Bacillaceae*, les *Enterobacteriaceae* et les *Pseudomonaceae* (Greathead et al., 1994).

La souche *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), dont une toxine a été extraite, est l'une de ces bactéries. Il a été démontré que cette toxine a un effet insecticide sur les larves et les adultes de *C. capitata* (Aboussaid et al., 2009).

8.5.2. Lutte par les champignons entomopathogènes

Les champignons entomopathogènes sont des micro-organismes qui infectent divers insectes par pénétration directe à travers la cuticule. Les conidies adhèrent à l'insecte, germent et pénètrent à travers la cuticule. Lorsque l'insecte meurt, le champignon colonise les organes internes puis sporule à la surface de l'insecte (Riba et Silvy, 1999). En effet, Ekesi et al. (2003) et Toledo et al. (2006) ont démontré l'effet entomopathogène de *Beauveria bassiana* sur *Ceratitis capitata*.

De plus, Boudjelida & Soltani (2011) ont enregistré des résultats prometteurs sur l'activité insecticide d'une souche locale d'un champignon hyphomycete *Metarhizium anisopliae* (Metsch) contre *C. capitata*. Le taux de mortalité cumulé des larves de *C. capitata* au 7ème jour après inoculation était d'environ 89,05% pour la plus forte dose de 52×10^5 spores/ml.

Bachi & Ali Ahmed Sadoudi (2017) ont trouvé que *Penicillium roqueforti* présente un potentiel bio-pesticide contre les larves et les pupes de *C. capitata*. Leurs résultats révèlent que le taux de mortalité larvaire augmente après 24 heures d'inoculation atteignant 21,25% à la dose $5 \cdot 10^6$ spores/ml. Ils ont aussi enregistré un effet de malformation sur les pré-pupes où le taux de pupes malformées, passe à 71,25% pour la dose de $5 \cdot 10^6$ spores/ml. De même le taux

d'émergence des adultes de *C. capitata* diminue avec l'augmentation de la dose pour s'annuler à la dose de 5.10^6 .

8.6. Les huiles essentielles et extraits de plantes

Une stratégie alternative de la lutte biologique est basée sur l'exploitation des résistances naturelles des plantes. L'abondance et la diversité des métabolites secondaires représentent une source importante de molécules qui devraient faire l'objet d'un investissement majeur dans ce domaine de recherche.

8.6.1 Les huiles essentielles

Les plantes aromatiques sont parmi les insecticides d'origine botanique les plus efficaces et les huiles essentielles (HE) en constituent souvent la fraction bioactive (Regnault-Roger, 1997). De nombreuses HE ont une activité insecticide sur les larves de Diptères (El-Shazly et Hussein, 2004) et les adultes (Palacios et al., 2009 ; Chang et al.). Des études sur différentes HE de Lamiaceae indiquent une activité larvicide pour les mouches (Chang et al., 2009 ; Miguel et al., 2010).

Les huiles essentielles extraites de feuilles fraîches de *Rosmarinus officinalis* L, de *Lavandula angustifolia* Miller, *Hyptis suaveolens* L et de *Thuja occidentalis* L ont été évalués pour leur toxicité contre les adultes de *Ceratitis capitata*. Toutes les HE ont montré des effets toxiques remarquables contre les adultes de la cératite (Benelli et al., 2012).

De même, Ioannou et al (2012) ont trouvé que certaines huiles essentielles des agrumes tels que le limonène et le linalool ont un effet de dissuasion de la ponte et de toxicité pour les larves de *C. capitata*.

Par ailleurs, Bachi & Ali Ahmed Sadoudi (2017) ont enregistré un taux de mortalité cumulé de 100% à la dose de $17\mu\text{l}$ d'huile essentielle de citron, pour leur tests d'inhalation contre les adultes de la cératite.

8.6.2. Les extraits aqueux

Comme pour les huiles essentielles, des recherches ont montré que les extraits de plantes ont des propriétés intéressantes et prometteuses contre les insectes nuisibles.

Selon Soummane et al (2011), l'extrait méthanolique d'une plante médicinale marocaine Tamaricaceae, *Tamarix gallica*, s'est avéré très efficace à une DL50 de 0,5% et 30 mg/ml

contre les larves et les adultes de *C. capitata* et présente un potentiel biopesticide prometteur pour le contrôle de ce ravageur.

Chapitre III : Généralités sur les champignons entomopathogènes

Chapitre 3 : Généralité sur les champignons entomopathogènes

1. Introduction

Les champignons entomopathogènes EPFs occupent une place remarquable en pathologie des invertébrés et dans la recherche d'organismes capables de réguler les pullulations d'invertébrés nuisibles, en santé végétale, animale ou humaine. Néanmoins, ces champignons bien qu'efficaces ont souvent une activité très dépendante des conditions climatiques (Ferron *et al.*, 1991; Lacey *et al.*, 1996).

Selon Starnes *et al.* (1993), plus de 700 espèces de champignons entomopathogènes sont utilisés dans la lutte biologique. L'utilisation de certains de ces champignons a donné des résultats satisfaisants contre plusieurs espèces d'insectes (Yee et Lacey, 2005 ; Ekesi *et al.*, 2003). Les espèces des genres *Beauveria*, *Metarhizium*, *Verticillium*, *Erynia*, *Hirsutella*, *Entomophthora* et *Entomophaga*, sont les plus utilisées en lutte biologique (Goettel, 1992).

Les champignons entomopathogènes infectent généralement leur hôte soit par la cuticule, par ingestion ou par les orifices (Ramoska, 1984). Le pathogène se multiplie dans l'hôte en lui causant des dommages par destruction des tissus, par septicémie ou toxémie entraînant sa mort plus ou moins immédiate (Burgess, 1981).

Après pénétration le champignon croît rapidement et les insectes meurent dans un délai de 3-10 jours, en fonction de la température. Quand l'insecte meurt, le champignon colonise les organes internes puis sporule à la surface de l'insecte (Silvy et Riba, 1999). De nombreux facteurs affectent l'efficacité des champignons entomopathogènes. Leur potentiel comme agents de protection biologique, résulte des caractéristiques des populations d'hôtes, du pathogène et des conditions du milieu. Leur sensibilité vis-à-vis les conditions environnementales (température, rayonnement solaire, humidité) reste leur principal inconvénient (Silvy et Riba, 1999).

2. Mode d'action

Les champignons peuvent infecter les insectes par pénétration directe à travers la cuticule (Clarkson et Charnley, 1996), au contact de la cuticule de l'insecte, la spore germe et pénètre au travers du tégument en combinant des pressions mécanique et enzymatiques (St Leger, 1993).

Le cycle infectieux est généralement le même pour tous les champignons entomopathogènes le processus de pénétration est l'étape la plus importante de la pathogénèse. Le mode d'infection des champignons entomopathogènes se divise en quatre étapes distinctes: l'adhésion, la germination, la pénétration, la multiplication et la dissémination (Ferron *et al.*, 1991).

2.1. L'adhésion

L'adhésion est généralement assurée par les spores qui se fixent sur la cuticule au premier contact avec l'insecte. La réussite de l'infection dépend, entre autre, de la quantité de l'inoculum, des conditions climatiques et de la densité de la population de l'hôte (Boucias et Pendland, 1988). Deux types de spores peuvent assurer l'infection des insectes, les spores sèches et les spores visqueuses (Samson *et al.*, 1988). Le premier type utilise une combinaison de forces électrostatique et chimique pour s'adhérer à la cuticule de l'hôte (St Leger et Frank, 1992). Quant au deuxième type, il s'attache à son hôte à l'aide d'une substance visqueuse adhésive.

2.2. La germination

La germination des spores dépend à la fois de la température et de l'humidité du milieu, ainsi que sur les substances nutritives contenues dans celles-ci (Samuels et Pinnock, 1990). Après la fixation des spores sur l'hôte, ces dernières émettent un tube germinatif qui traverse les assises supérieures de l'insecte pour pénétrer à l'intérieur de celui-ci.

Des moyens physiques et enzymatiques facilitent la pénétration. Aussitôt pénétré, le champignon forme l'appressorium qui lui permet le prélèvement des substances nutritives nécessaires à son développement et à sa reproduction (Samson *et al.*, 1988).

Cependant, il existe des champignons entomopathogènes qui ne pénètrent jamais à l'intérieur de l'hôte, mais ils forment leur appressorium sur la cuticule même et procèdent au prélèvement de la nourriture en employant une combinaison de substances enzymatiques leur permettant la dégradation de la cuticule de l'arthropode (Goettel et St Leger, 1990).

2.3. La pénétration, multiplication et la dissémination

A l'intérieur de l'hôte, le champignon commence son développement et sa propagation dans les tissus de l'insecte. La réussite de l'attaque dépend, entre autre, de la capacité de l'entomopathogène à dépasser les mécanismes de défense employés par l'hôte (quinines et mélanines) pour faire face à cette attaque (Latge et Monsign, 1988).

La colonisation de l'hôte dépend alors de la capacité du champignon à surmonter la réponse immunitaire ou de l'insecte à se défendre (mélanisation, réponse cellulaire, etc.). Après une phase de développement du champignon dans l'hémocoel, les tissus (corps gras, tissu intestinal, tube de Malpighi) sont attaqués, provoquant l'arrêt du processus d'alimentation de l'insecte, du stade de l'insecte, de sa taille et de la température ambiante.

Il n'est pas surprenant, vu la complexité de la cuticule, que les champignons entomopathogènes aient besoin d'une série d'enzymes hydrolytiques pour assurer la pénétration cuticulaire et fournir la nourriture nécessaire à la croissance. On connaît surtout la protéase. Cette enzyme a une forte activité sur la cuticule des insectes et la protéine prédominante produite pendant la formation de l'appressorium (St Léger, 1993). Lorsque l'insecte meurt, le champignon sécrète un antibiotique, l'oosporine, qui lui permet de surmonter la compétition des bactéries intestinales.

À la mort de l'insecte, la phase saprophyte va être caractérisée par la momification du cadavre transformé en sclérote. Les hyphes traversent le tégument préférentiellement au niveau intersegmentaire puis le recouvre d'un feutrage mycélien qui va amorcer la formation des conidiospores (Keith et Kevan, 1992).

3. Espèces sélectionnés pour les tests d'entomopathogénicité

3.1. *Metarhizium anisopliae*

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

La classification de *Metarhizium anisopliae* a été sujette à plusieurs révisions au cours des dernières années. Par le passé, l'espèce a été classée principalement sous la division des Deutéromycètes, dans la classe des Hyphomycètes. Les membres de cette sous-division ayant comme spécificité le fait de ne jamais produire, ou très rarement, des spores sexuées.

Cette classe est en fait caractérisée par la présence de formes mycéliennes portant des spores asexuées, appelées conidies, engendrées sur des cellules conidiogènes spécialisées. Par contre, à l'heure actuelle, la plupart des mycologistes n'acceptent plus les *Deuteromycota* et ses sous classes comme formant un assemblage taxonomique.

Plusieurs espèces de champignons ont été associées avec des membres de la division des *Ascomycota* sur une base d'homologie d'ADN, dont l'espèce *M.anisopliae* (Inglis *et al.*, 2001).

Cette espèce fait dès lors partie du règne des *Mycota*, de la division des *Ascomycota* et de l'ordre des *Hypocreales*. La classification de ce genre a été basée sur des caractères morphologiques des cellules et des conidies, et comme ces caractéristiques sont assez limitées elles ont compliqué la taxonomie (Bidochka et Small, 2005).

- Règne : *Fungi*
- Embranchement : Dikarya
- Sous-embranchement : *Ascomycota*
- Classe : Pezizomycotina
- Ordre : *Hypocreales*
- Famille : *Clavicipitaceae*
- Genre : *Metarhizium*
- Espèce : *Metarhizium anisopliae*

3.2. *Paecilomyces fumosoroseus*

Paecilomyces appartient au genre du phylum *Ascomycota*. Les conidiophores sont généralement bien développés, septés portant des verticilles de branches divergentes et des cellules conidiogènes (phialides). La cellule conidiogène est de forme flasque à ovale ou subglobuleuse avec un col distinct. Les conidies sont unicellulaires, hyalines ou de couleur claire. *P. fumosoroseus* est un genre de champignon nématophage qui tue les nématodes nuisibles par pathogénèse en provoquant des maladies chez les nématodes. *Paecilomyces fumosoroseus* est l'un des plus importants ennemis naturels de l'amarante blanche, des aleurodes dans le monde entier et provoque la maladie appelée "muscardine jaune".

Le champignon *P. fumosoroseus* a été signalé comme étant cosmopolite dans la nature, en particulier dans les régions chaudes du monde (Stirling, 1991). Il se multiplie bien à des températures comprises entre 15 et 30 °C, mais sa croissance optimale se produit entre 25 et 30 °C (Jatala, 1986).

P. fumosoroseus est un champignon filamenteux ubiquitaire et saprobique communément isolé du sol, de la végétation en décomposition, des insectes, des nématodes et de l'air des laboratoires (comme contaminant).

La position taxonomique de *P. fumosoroseus* dans le règne fongique, selon CABI (2019), est la suivante :

- *Domain: Eukaryota*
- *Kingdom: Fungi*
- *Phylum: Ascomycota*
- *Subphylum: Pezizomycotina*
- *Class: Eurotiomycetes*
- *Subclass: Eurotiomycetidae*
- *Order: Eurotiales*
- *Family: Trichocomaceae*
- *Genus: Paecilomyces*
- *Species: Paecilomyces fumosoroseus*

3.3. *Verticillium lecanii* (*Lecanicillium lecanii*)

Verticillium lecanii est l'une des espèces les plus importantes du genre *Verticillium*. Le champignon *V. lecanii* est largement répandu, et peut provoquer de grandes épizooties dans les régions tropicales et subtropicales, ainsi que dans les environnements chauds et humides (Nunez et al., 2008). Ce champignon a été décrit pour la première fois en 1861 et a une distribution mondiale.

Verticillium lecanii a été déplacé vers *Lecanicillium* en tant que un complexe de trois espèces (*lecanii*, *muscarium* et *longisporum*) ainsi que la plupart des espèces entomopathogènes avec des phialides fortement verticillées (Humber, 2012).

En horticulture et en agriculture, des isolats de "*V. lecanii*" ont été développés pour lutter contre les insectes ravageurs tels que les aleurodes, les thrips et les pucerons. C'est un agent de bio-contrôle efficace contre *Trialeurodes vaporariorum* dans les serres (Kim et al., 2002). Ce champignon s'attaque aux nymphes et aux adultes et se colle à la face inférieure des feuilles au moyen d'un mycélium filamenteux (Nunez et al., 2008).

Des pesticides biologiques à base de *Lecanicillium* spp. sont désormais commercialisés sous le nom de «Mycotal» (aujourd'hui *L. muscarium*) et de «Vertalec» (aujourd'hui *L. longisporum*) par Koppert® aux Pays-Bas. D'autres produits basés sur ces champignons ont été développés ailleurs pour une utilisation dans les cultures de rente, les graines oléagineuses, le soja, les plantes ornementales et les légumes (Copping, 2009).

Ce champignon est caractérisé par une ramification verticillée des conidiophores, c'est-à-dire que les branches se forment en verticilles sur les parties supérieures du conidiophore. La position taxonomique de *L. lecanii* selon Gams et Zare (2001) est comme suit :

- *Kingdom : Fungi*
- *Division : Ascomycota*
- *Class : Sordariomycetes*

- *Order : Hypocreales*
- *Family : Cordycipitaceae*
- *Genus : Lecanicillium*
- *Species : Lecanicillium lecanii*

Chapitre IV : Les biopesticides d'origine végétale

Chapitre 4 :

Les biopesticides d'origine végétale

Introduction

La perception globale des pesticides évolue en raison de leur impact sur l'environnement, de leur persistance, de leurs activités à large spectre et de leurs effets non ciblés. En conséquence, les réglementations sur les pesticides changent dans certaines régions. Par exemple, l'Europe a limité le nombre de produits chimiques de synthèse dont l'utilisation est autorisée dans la lutte contre les parasites. La pression croissante sur les produits synthétiques a relancé les efforts pour trouver des options alternatives de gestion des nuisibles, y compris de nouvelles opportunités pour des solutions à base de plantes qui sont inoffensives pour l'environnement et adaptées aux différents besoins des agriculteurs, qu'ils soient commerciaux ou de petite taille (Stevenson & Belmain, 2016).

1. Généralités sur les biopesticides d'origine végétale

Les biopesticides d'origines végétales est l'une des méthodes où des produits issus des plantes souvent sous forme des huiles essentiels ou des extraits, sont utilisés afin de lutter contre un ravageur (Regnault-Roger, 1997).

Pour être une alternative viable aux insecticides synthétiques, les bio-insecticides doivent être abordables et simples à préparer (ne nécessitant pas d'équipement complexe et de solvants toxiques ou difficiles à acheter) (Isman, 2017). En outre, le bio-insecticide résultant doit avoir une faible phytotoxicité, ne causant pas d'effets négatifs sur les rendements des cultures, étant donné qu'il peut être utilisé pour la production d'aliments, être également inoffensif pour les ennemis naturels de l'organisme nuisible ciblé, et éviter la résurgence de la maladie (Köhler & Triebkorn, 2013).

En tant que réponse évolutive à l'environnement, les plantes peuvent moduler leur comportement afin de réussir dans la nature (Kumar et al., 2020), en développant des structures morphologiques spécialisées et en synthétisant plusieurs produits pour tenter d'assurer leur survie contre les insectes et autres parasites (Howe & Jander, 2008 ; Kumar et al., 2019) . Des métabolites secondaires sont produits, avec des propriétés spécifiques contre différents insectes, tels que des effets antinutritionnels, répulsifs et/ou toxiques (War et al., 2012).

L'homme a toujours observé ces effets et a commencé à expérimenter avec différentes plantes pour tirer parti de ces propriétés insecticides afin de protéger les cultures. L'un des documents les plus anciens de l'Inde décrit l'utilisation de plusieurs plantes pour protéger les cultures, comme un mélange d'eau et de poudre des racines de cinq plantes, *Aegle marmelos* (L.) Corrêa, *Clerodendrum phlomidis* L.f., *Gmelina arborea* Roxb., *Stereospermum chelonoides* (L.f.) DC. (syn. *Stereospermum suaveolens* (Roxb.) DC.) et *Oroxylum indicum* (L.) Kurz) qui a été utilisé pour restaurer la santé des plantes (Nene, 2012).

2. Avantages et inconvénients

Selon Miresmailli et Isman, (2014) ; Bhagat *et al.*, (2014) la recherche en biopesticides d'origine végétale prend de plus en plus d'ampleur à cause de nombreux avantages : ils sont bio dégradables, leurs utilisations est autorisée par la réglementation relative à l'agriculture biologique, peuvent promouvoir une agriculture durable, et elles coutent moins chère notamment lorsque ils ont été produit localement par les agriculteurs eux-mêmes.

En revanche, il existe de nombreux facteurs qui limitent le développement de ce type de produit, par exemple : les méthodes d'extractions qui restent non standardisées, leur efficacité au champ est plus faible par rapport aux résultats observées au laboratoire, et c'est due à l'instabilité des molécules qu'ils contiennent lorsqu'elles s'exposent aux conditions naturelles, tel que les molécules thermosensibles et photosensibles qui se dégradent rapidement.

3. Critères du choix des plantes

La production d'un insecticide d'origine végétal commence par le choix des plantes, Selon (Dimetry, 2014). Un bon choix doit respecter les critères suivants :

- La plante doit être vivace ;
- Suffisamment abondante dans la nature cependant, elle doit être possible de la cultiver à l'aide des techniques végétales tel que la propagation in vitro et le génie génétique ;
- La facilité de séparation des parties utilisables de la plante : tiges, racines, feuilles, fleurs et fruits ;
- L'opération de récolte ne détruit pas la partie voulue de la plante ;
- La culture de ces plantes doivent avoir des exigences minimales ; peu d'entretien, d'espace, d'eau et de fertilisants ;
- Possibilité d'avoir des utilisations supplémentaires, médicinales par exemple ;

- Les plantes utilisées ne doivent pas avoir une valeur économique très importante ;
- De préférence, la matière active sera efficace en faible concentration.

4. Plantes retenues pour les tests bio-insecticides

4.1. Le ricin, *Ricinus communis* (Euphorbiaceae)

Un petit arbre qui se trouve dans une cinquantaine de pays dans le monde, traditionnellement, la plante est utilisée comme laxatif, purgatif, engrais et fongicide. C'est une source importante de composés chimiques avec ces propriétés pharmacologiques (Scarpa et Guerci, 1982 ; Jena et Gupta, 2012; Rana *et al.*, 2012 ;Kiran *et al.*, 2017;).

4.2. Le romarin, *Rosmarinus officinalis* Linnée, 1753

Le romarin est une espèce de la famille des Lamiacées, originaire des côtes méditerranéennes (Poletti ,1982). C'est une plante spontanée, qui pousse en Espagne, en Italie, en Grèce et en Asie (Pelikan, 1986) ainsi qu'en Afrique du nord et notamment l'Algérie ou elle est y largement répartie (Boukhelfa, 1991).

C'est un arbrisseau touffu de 1 à 2 mètre de haut, toujours vert. Il est très rameux est couvert d'une écorce écailleuse portant des tiges ligneuses feuillées, généralement érigées et pouvant atteindre jusqu'à 2 mètres de haut.

4.3. *Lavandula stoechas* Linnée, 1753.

Elle se présente sous forme d'un arbrisseau ou d'un buisson très aromatique et très ramifié pouvant atteindre un mètre de haut avec une odeur semblable à celle du Pin. Les feuilles opposée de 2-4 cm de long sont sessiles, tomenteuses, oblongues, lancéolées, linéaires, étroites et courbées sur les bords, et souvent grises. Les inflorescences sont sessiles, compactes et surmontées d'une couronne de bractées florales violettes, élargies, stériles, ovales ou spatulées, de 1 à 2 cm de longueur (Benabdelkader, 2012).

Contrairement à d'autres lavandes, cette espèce préfère les sols siliceux et les terrains acides. Elle supporte la mi-ombre et tolère le froid jusqu'à -5°C. La floraison plus précoce que chez d'autres lavandes, se déroule d'Avril à Mai puis en automne (Benabdelkader, 2012).

PARTIE EXPÉRIMENTALE

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Chapitre 1 :

Présentation de la zone d'étude

La dynamique de population de *C. capitata* a été étudiée à Mohammadia, au nord-ouest de l'Algérie, située entre 35° 35' 25" nord et 0° 4' 12" est, et à 30 m d'altitude. Le climat de cette région est semi-aride (classification de Köppen : BSh) (Kottek et al., 2006) avec des étés longs, chauds et secs, et une moyenne annuelle des températures de l'air d'environ 18,7 °C. L'étude a été réalisée de février 2018 à février 2019 à l'ITAFV dans trois vergers différents (Figure 10, Tableau 6). Les données climatiques mensuelles moyennes pour la période surveillée ont été obtenues à partir de la station météorologique automatique de l'ITAFV et sont présentées dans la Figure 24.

1. Situation géographique

La wilaya de Mascara se situe dans la partie Ouest de la région du Tell. Elle s'étend sur une superficie de 6042 km², et se trouve à une altitude de 600 m, elle est limitée au Nord par la wilaya d'Oran, de Mostaganem, au Sud par Saida, à l'Est par la wilaya de Tiaret et l'Ouest par Sidi-Bel-Abbès.

2. Répartition zonale

La région de Mascara est à vocation agricole et divisée en quatre zones homogènes en fonction des données physiques naturelles qui sont :

2.1. La plaine d'El habra et la Macta : C'est une plaine basse dont les altitudes moyennes sont entre 10-50, l'occupation actuelle des sols est essentiellement agricole, plus de 43 % de surfaces agricoles utiles (S.A.U) sont occupées par des cultures annuelles avec dominance de l'agrumicole et de l'oléiculture.

2.2. Les monts de Béni-chougrane : C'est une zone montagneuse dont les terres érodées culminent à plus de 930 m et qui couvre 32 % de surfaces agricoles utiles (S.A.U). Ces terres sont utilisées pour la céréaliculture, l'arboriculture et la viticulture qui est très développée.

2.3. La Plaine de Ghriss : Ces sols sont à majorité stables. Les cultures maraîchères occupent 93% des terres labourables dont 25% irrigables.

2.4. Les monts de Saida : Cette zone constitue le plateau Nesmoth-Aouf à une altitude qui dépasse les 800m et dont les sols sont pauvres et très caillouteux, stables dans ensemble à couches calcaires dures. L'utilisation actuelle comporte 36% de S.A.U. On y trouve des cultures vivrières, la céréaliculture intensive, le maraichage, l'élevage et arboriculture forestière.

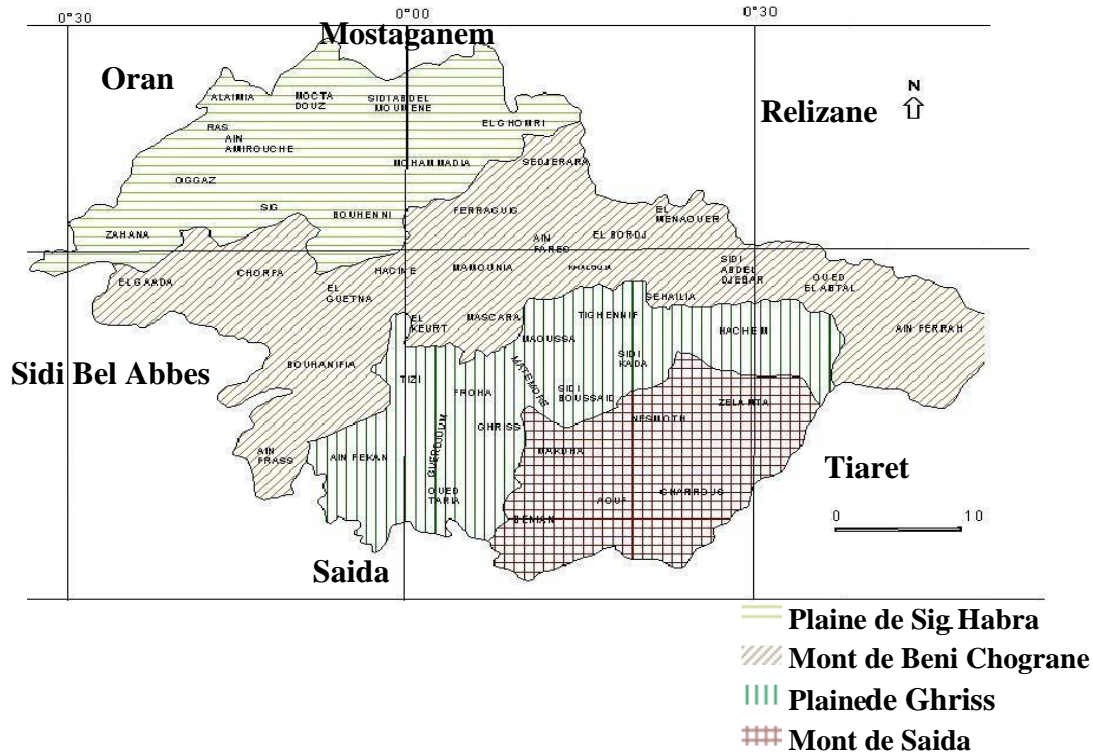


Figure 9 : Répartition géographique de la wilaya de Mascara (source : ANIREF).

3. Présentation des vergers d'étude

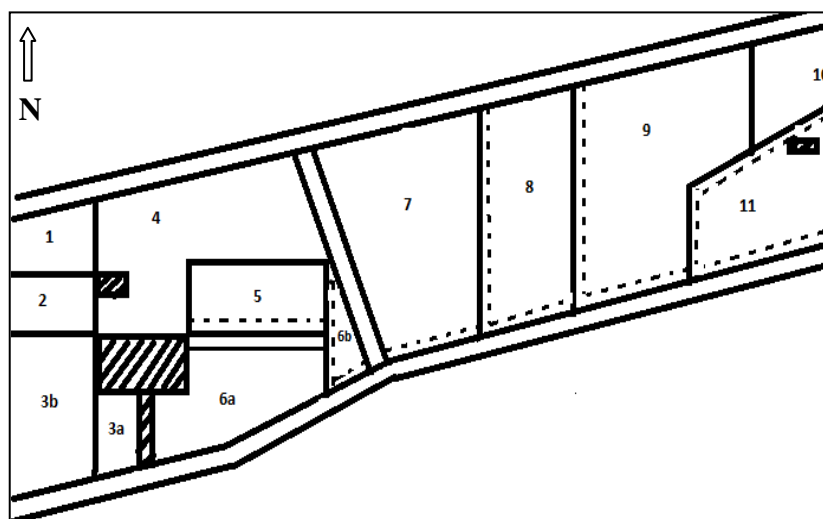
3.1. La ferme de démonstration (ITAFV-Mohammadia)

C'est un Institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne, créé en 1989, situé dans le périmètre de la HABRA. L'ITAFV est vaste et occupe une superficie de 34 ha et 92 Ares. Il est délimité au nord, par la voie ferrée Mohammadia-Alger ; à l'est, par le drain principal ; au sud, il est bordé par la route nationale n°4 et à l'ouest, par le canal d'irrigation et la ville de Mohammadia.

La ferme expérimentale est occupée par plusieurs genres d'arbres fruitiers, dont les vergers de production occupent près de la moitié de la superficie totale. L'occupation actuelle des terres est résumée dans le tableau ci-dessous (Tableau 5).

Tableau 5 : Occupation actuelle des terres et les cultures au niveau de l'ITAFV Mohammadia

Vergers de production		Vergers d'expérimentation				Pépinière	Terre nues	Total
Olivier (jeune verger)	Agrumes	Olivier	Figuier	Grenadier	Poirier/ Nashi			
4.96 ha	12.79 ha	2.2 ha	1 ha	0.60 ha	0.43 ha	0.50 ha	13 ha	35.1 ha

**Figure 10** : Plan parcellaire de l'ITAFV-Mohammadia, avec 6a : verger d'agrumes ; 5 : Verger de figuiers et 2 : verger de poiriers (source : ITAFV-Mohammadia).**Tableau 6** : Caractéristiques des vergers d'étude.

Espèce	Variété	Densité (écartement)	Année de plantation	N° de plants	Surface
Figuiers	Mixe variétales	6*5	2005	103	1 ha
Agrumes	Mixe variétales	6*5	1989	150	1.20 ha
Poiriers	Mixe variétales	3*4	1992	70	0.43 ha

4. Caractéristiques climatiques

Le climat de la plaine Habra, de type sublittoral, est caractérisé par :

- Un été chaud et sec dont les températures moyennes en juin, juillet et août sont respectivement de 23,5°C, 25,6°C et 26°C.
- Une saison relativement froide et qui concentre la presque totalité des précipitations.

On passe, presque sans transition, d'un hiver froid pendant lesquelles tombent toutes les pluies à un été chaud et pratiquement sans pluie.

Notre étude climatique est réalisée à partir des données météorologiques fournies par la station météorologique de l'Office Nationale de la météorologie (ONM) (Station de Fergoug), et aussi les données de la station ITAFV. Elle est basée essentiellement sur les points suivants :

- Détermination de l'étage bioclimatique de la zone d'étude à partir du climagramme d'Emberger (1936) ;
- Détermination de la période sèche avec l'utilisation de digramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953).

4.1. Les températures

La température est un facteur climatique important car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne en grande partie la répartition des végétaux et le cycle de développement des animaux. Les relevés de la station météorologique de la station ITAFV-Mohammadia de l'année 2018-2019 ont été retenus (Tableau 7).

Tableau 7 : Températures moyenne, minimales et maximales (en °C) dans la station de l'ITAF de 2018-2019.

Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars
T.Min.(°C)	11	12	14	16	22	21	19.5	15.5	12.7	8.6	06	06	08
T. Max. (°C)	18	22	26	26	33	37	30	25.5	19.5	18.1	15	18	21
T.moy.(°C)	14.5	17	20	21	27.5	29	24.75	20.5	16.1	13.35	10.5	12	14.5

En effet, ces températures sont relativement élevées et souligne l'existence de deux saisons : une saison froide, qui se situe généralement entre Novembre et Avril avec une température moyenne inférieure à 20 °C, et une autre chaude, qui s'étend sur six mois, de Mai jusqu'à Octobre, avec une température moyenne supérieure à 20 °C.

4.2. Les précipitations

Les précipitations représentent l'élément le plus important du cycle hydrologique (Djebailis, 1978). Les valeurs des précipitations mensuelles de l'année 2018-2019 (Station Fergoug) sont illustrées par le graphe de la Figure 11.

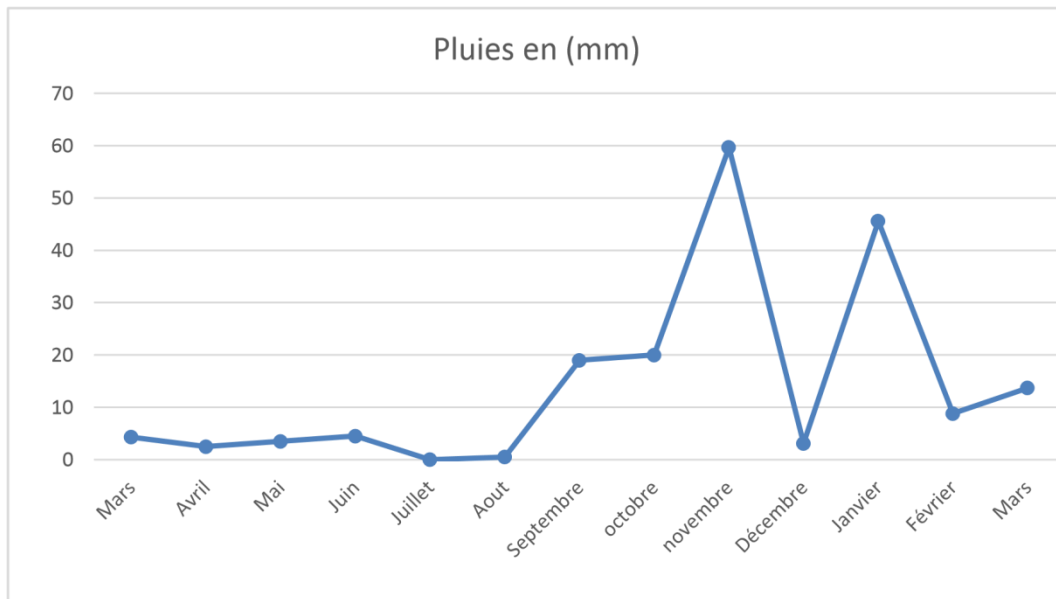


Figure 11 : Variations des moyennes mensuelles des pluviométries 2018-2019

Les moyennes mensuelles montrent clairement que le mois de novembre a été pour cette saison écoulée le plus arrosé alors que le mois le plus aride est le mois de juillet. Enfin, il y a lieu de signaler que dans notre région d'étude, les précipitations sont généralement condensées en un nombre limités de jours, intermittentes de longues périodes sèches.

4.3. Les vents

Les vents les plus fréquents et les plus dominants sont ceux de l'Ouest et Nord-ouest dont la durée est variable et les dégâts ne sont pas négligeables. Le vent du sud (sirocco) se manifeste en été et parfois en automne et printemps. Ce vent brûlant cause des brûlures aux feuillages des jeunes poussées et fruits.

Le graphe 12 montre bien que la vitesse maximale des vents a été enregistrée au mois de Mars avec 1.9 m/s ; par contre, la vitesse minimale a été enregistrée au mois de septembre avec 1.1 m/s.

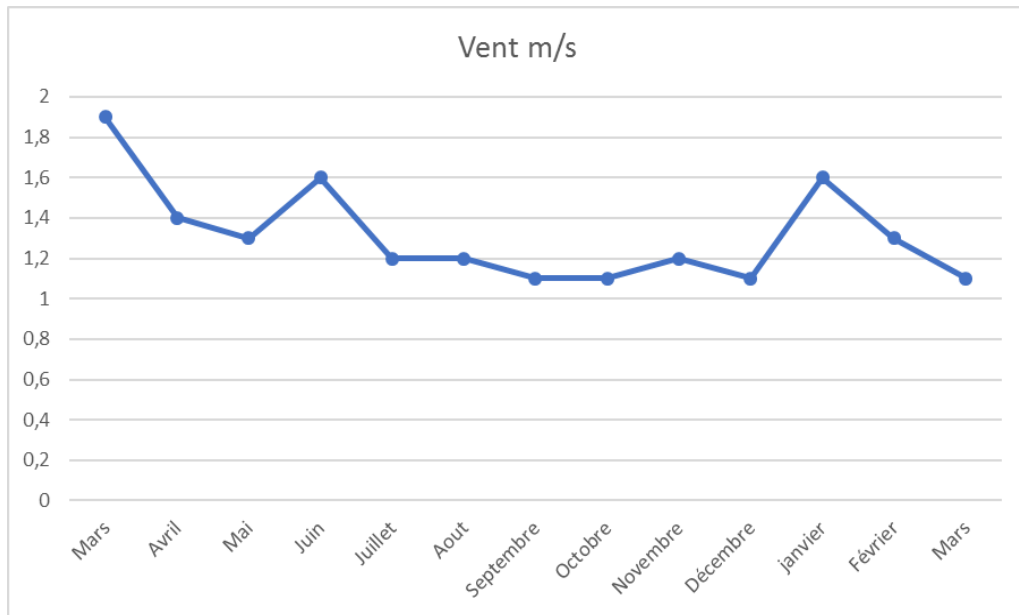


Figure 12 : Les moyennes de vent annuelles de 2018-2019 dans la station l'ITAFV

4.4. L'Humidité

La transpiration du végétal est élevée et ses besoins en eau augmentent. Cette faible humidité de l'air peut être amplifiée par des vents chauds desséchants pouvant provoquer des brûlures sur le feuillage et les fruits.

L'humidité maximale a été enregistrée au mois de Septembre avec 81% et la minimale au mois de Janvier avec 50%.

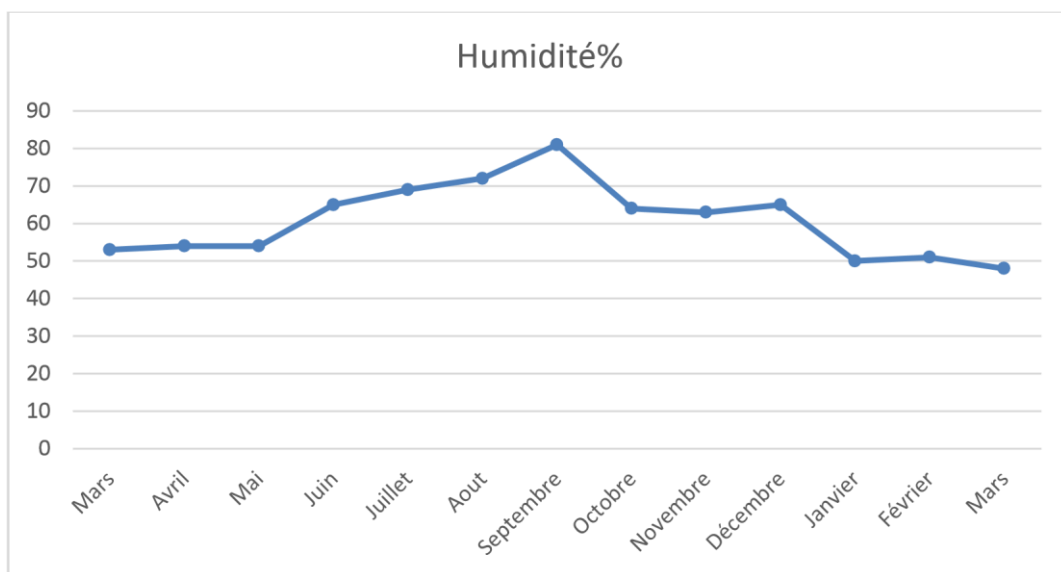


Figure 13 : Les moyennes de l'humidité annuelles de 2018-2019 dans la station l'ITAFV

4.5. Synthèse climatique

Pour mieux comprendre le fonctionnement du système climatique de la région d'étude, des moyennes sur une période de 20 ans (1990-2010) ont été retenues.

4.5.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953)

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen permet de déterminer la période sèche en portant pour la station donnée la pluviométrie mensuelle (P_m) et la température moyenne mensuelle (T_m) sur le même graphe. Ce diagramme est obtenu par la superposition de deux diagrammes rectangulaires différents. Dans notre cas, la période de sécheresse dure plus de six mois et s'étale de mai à septembre (Figure 14).

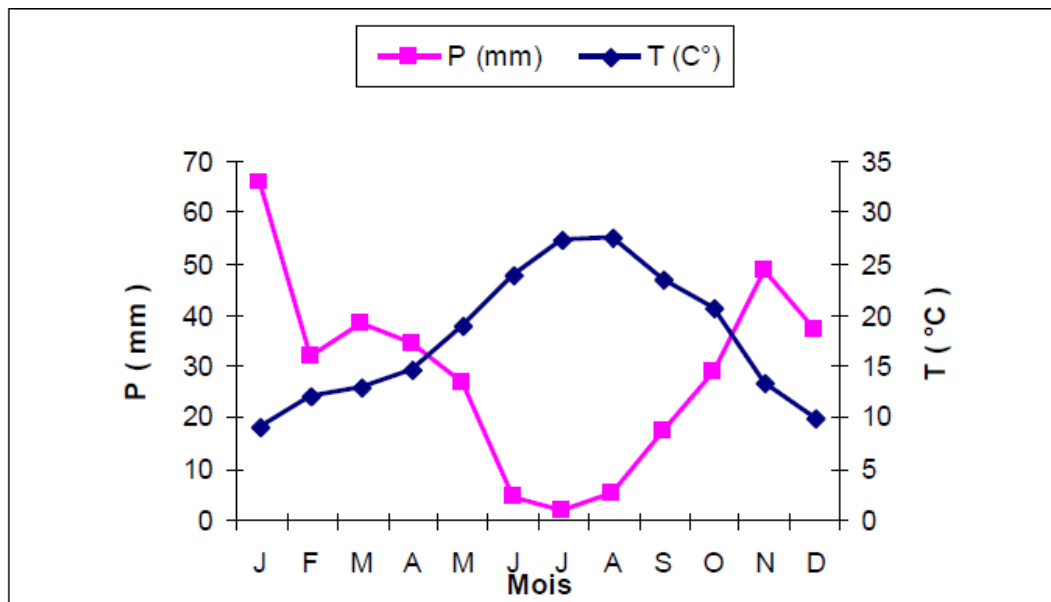


Figure 14 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953) (période 1990-2010) de la station de l'ITAFV Mohammadia.

4.5.2. Climagramme d'EMBERGER

Ce climagramme est défini par un quotient pluviométrique qui permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond. Cet indice, couramment utilisé, tient compte de la température et de la pluviométrie.

Avec des précipitations annuelles P de 301.18 mm, le quotient pluviométrique de la zone d'étude est égal à 30.67. Il permet de situer notre aire d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais sur le climagramme d'Emberger (Figure 15).

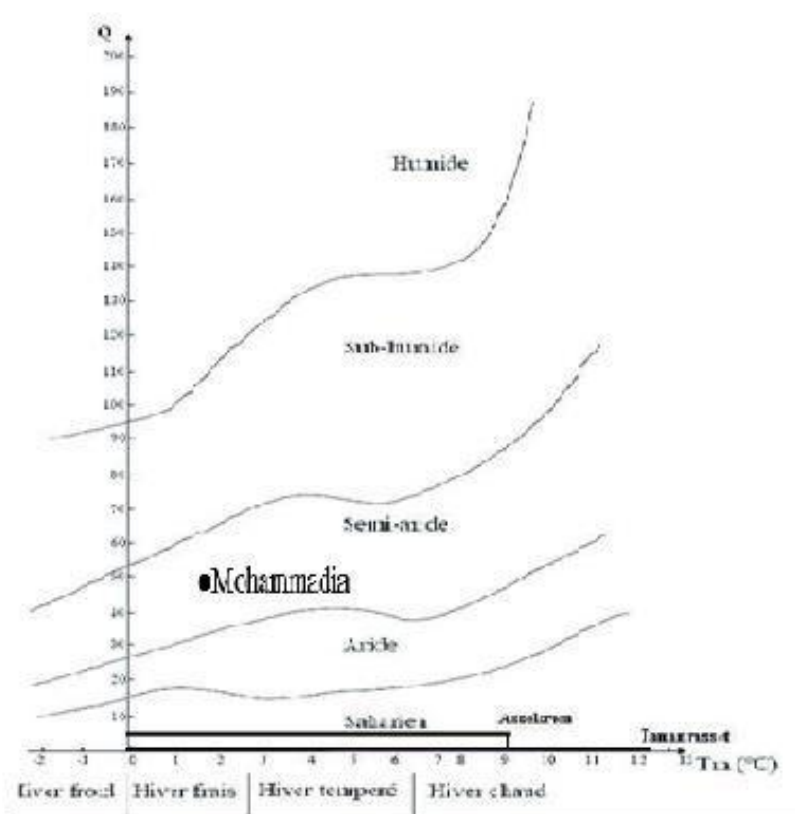


Figure 15 : Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude.

4.6. Relief et sol

La station d'étude est située sur une basse plaine, de pente très faible. La région est caractérisée par une texture limono – argileuse à argilo- limoneuse sur un horizon de 30 cm d'épaisseur ; au-delà, une texture sableuse domine tout le reste de la profondeur exploitable.

Chapitre II : Étude entomologique de
C. capitata

Chapitre 2 : Etude entomologique de *C. capitata*

1. Introduction et objectif de l'étude

L'étude de la dynamique des populations d'insectes est un élément clé pour mieux comprendre et gérer les fluctuations des populations d'insectes nuisibles. Elle permet de connaître les principales caractéristiques de ses populations et de donner un aperçu sur leur évolution en fonction de celles de son hôte et de son complexe d'ennemis naturels (Boualem, 2010). D'après Dajoz (1985), les études de la dynamique des populations ont pour but principal de décrire et d'expliquer les variations d'abondance des espèces dans le temps et dans l'espace.

L'expérimentation a porté sur l'étude de la dynamique des populations de la mouche méditerranéenne des fruits *C. capitata* Wied sur 56 semaines entre 2018 et 2019. La cératite semble être l'espèce la plus répandue et la plus redoutable du genre *Ceratitis* MacLeay (White et Elson-Harris, 1992). En Algérie cette espèce constitue un facteur limitant pour la production et l'exportation de fruits économiquement importants (Oukil et *al.*, 2002).

Le piégeage de masse exige un suivi rigoureux et d'importants efforts pour leur mise en place (Alonso et García Mari, 2004). Les vergers des arbres fruitiers suivis pour la cératite ont connu peu de travaux dans ce sens et les techniques de piégeage de masse sont très peu utilisées, bien qu'elles puissent constituer une bonne alternative aux traitements chimiques. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail, l'objectif étant d'évaluer l'efficacité de deux pièges contre la cératite en vergers de d'agrumes, de poirier et de figuier.

2. Étude de la dynamique des populations et monitoring des adultes de *C. capitata*

Dans cette étude, nous avons utilisé les pièges FlyCatcher[®] (McPhail, gobe mouche) de Russell[®] IPM appâtés avec Nutrel[®], un produit attractif à base d'hydrolysats de protéines de chez Profert[®] et les pièges Delta[®] (Réamol GF) appâté avec du trimedlure (Russell[®] IPM Ltd_UK) (Figure 16) pour suivre la dynamique des populations de *C. Capitata* dans les vergers d'agrumes, de figues et de poires, sachant que chaque verger est constitué d'un mélange variétal.

Six pièges au total ont été installés à 1,5 m du sol (FAO/IAEA, 2013), deux dans chaque verger pour éliminer l'effet du piégeage de masse et les effets de confusion sexuelle. Les pièges ont été mis en place en Février 2018 pour assurer la capture des premiers adultes qui émergent au début du printemps et inspectés chaque semaine jusqu'à fin Février 2019. Les panneaux adhésifs des pièges Delta ont été changés lorsque nécessaire, et les leurres ont été changés toutes les 4 semaines.



Figure 16 : Piège Delta sur Oranger (A) ; Piège McPhail sur Figuier (B) (Original, 2018).

2.1. Traitement des données et analyses statistiques

Les captures par piège ont été exprimées en nombre d'adultes par piège et par jour APJ. Les captures totales par piège dans les trois vergers ont été testées à l'aide de l'analyse de la variance (ANOVA), les moyennes ont été séparées selon le test de la différence honnêtement significative de Tukey ($P = 0,05$). Le logiciel utilisé est SPSS 26.

Une analyse de régression multiple a été effectuée pour établir la relation entre les captures moyennes mensuelles des pièges dans les trois vergers d'étude et les données mensuelles des facteurs climatiques enregistrés. Des graphiques ont été utilisés pour illustrer l'abondance et la distribution de *C. capitata* au cours de la période d'étude en fonction des variations climatiques. Une analyse de corrélation a été également réalisée pour déterminer

l'association entre les captures mensuelles des mouches et chacun des facteurs climatiques enregistrés.

3. Evaluation de l'efficacité des deux types de pièges utilisés pour le suivi de *C. capitata*

Pour évaluer l'efficacité des deux pièges/appâts combinaisons utilisées, les données obtenues lors de l'étude de la dynamique des populations ont été utilisées pour définir quel est le piège le plus efficace pour surveiller les populations de la cératite.

3.1. Traitement des données et analyses statistiques

Les captures mensuelles de pièges dans les trois vergers d'étude ont été testées à l'aide du test exact de Fisher ($P = 0,05$). R core 2020 a été utilisé pour l'analyse des données.

4. Etude de l'infestation par *C. capitata* en fonction des fruits chutés

4.1. Estimation des dégâts en fonction du nombre de piqûres/fruit

160 fruits chutés ont été prélevés par variété dans chaque verger. Ces fruits sont transportés au laboratoire dans des sachets sur lesquels nous indiquons la variété, et la date. Nous avons procédé, au laboratoire, au comptage du nombre de fruits piqués et du nombre de piqûres par fruit. Les piqûres peuvent être visibles à l'œil nu ou sous la loupe binoculaire. Nous comptabilisant, ainsi pour chaque espèce fruitière étudiée le pourcentage d'attaque et le nombre moyen de piqûres par fruit

4.2. Estimation des dégâts en fonction du nombre de pupes

Les fruits de chaque variété ont été placés séparément dans des passoire, placées à leur tour dans des bassines contenant environ 5 cm de sable qui sert à récupérer les pupes. Les bassines sont recouvertes d'une mousseline. Les pupes sont récupérées toutes les 24 h par tamisage du sable (Figure 17).



Figure 17 : Dispositif expérimental pour récupération des larves L3 et des pupes de la cératite (original, 2021).

5. Etude de la biologie de *C. capitata* en fonction des variétés fruitières étudiées

5.1. Durée de pupaison

Elle correspond à la période allant de la formation des pupes jusqu'à l'émergence des adultes. Elle est déterminée pour les pupes issues des fruits de chaque variété et de chaque exposition.

5.2. Taux d'émergence

Le nombre d'individus émergé est noté quotidiennement et le taux d'émergence est calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux d'émergence} = [\text{Nombre d'adultes émergés} / \text{Nombre total de pupes}] \times 100$$

5.3. Sex-ratio

Le sex-ratio est calculée pour voir s'il existe un lien entre l'alimentation larvaire et le sexe des futures adultes. Après l'émergence, nous avons procédé au comptage des mâles et des femelles et nous avons calculé la sex-ratio selon la formule suivante :

$$\text{Sex-ratio} = \text{Nombre de femelles} / \text{Nombre total d'adultes émergés}$$

5.4. Longévité

Après l'émergence, les individus sont placés dans des récipients en plastique contenant un flacon d'eau sucrée destinés à l'alimentation des mouches. Les récipients sont recouverts d'une mousseline. Le nombre de mâles et de femelles morts est déterminé quotidiennement. Ensuite, nous avons calculé la longévité moyenne, maximale et minimale pour les deux sexes tout en tenant compte de la variété fruitière.

5.5. Traitement des données et analyses statistiques

Après vérification de la normalité par le test de Shapiro-wilk, nous avons soumis nos résultats au test de Kruskal-Wallis. Le logiciel utilisé est SPSS 26.

**Chapitre III : Évaluation de l'effet
insecticide des champignons
entomopathogènes isolés**

Chapitre 3 :
Evaluation de l'effet insecticide des champignons entomopathogènes VIS-A-VIS de *C. capitata*

1. Objectif de l'étude

La lutte microbiologique pourrait être envisageable, en particulier après les résultats forts satisfaisants qu'elle a donnés contre plusieurs ravageurs des cultures. Il s'agit évidemment de la lutte par l'utilisation des champignons entomopathogènes. Le présent travail consiste à isoler des champignons entomopathogènes et réaliser une caractérisation morphologique et biologique du champignon isolé. Dans un second temps, une étude de pathogénicité a été menée sur les larves de *C. capitata* dans les conditions de laboratoire afin de vérifier l'influence de champignon sur la mortalité, la malformation et l'émergence de la puppe.

Cette partie expérimentale a été réalisée au niveau de deux laboratoires : Laboratoire de Recherche en Géo environnement et Développement des Espaces « LRGEDE » et le Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique « LRSBG » domiciliés à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara.

Dans cette étude, nous avons utilisé trois isolats de champignons entomopathogènes ; l'isolat de *Metarhizium anisopliae* a été isolé à partir d'un échantillon de sol provenant de l'ITAFV de Mohammadia, l'isolat de *Verticillium lecanii* a été isolé à partir des cadavres momifiés de *Geotrogus deserticola*.

Le troisième champignon *Paecilomyces fumosoroseus* est d'origine chinois et provient du laboratoire Engineering Research Center of Biological Control, College of Natural Resource and Environment, south China Agricultural University Guangzhou China. Il est conservé au niveau du Laboratoire LRSBG et a déjà fait l'objet d'essais de lutte biologique sur plusieurs insectes ravageurs (Criquet, vers blanc, la mouche blanche et puceron).

2. Isolement et caractérisation morphologique des champignons

2.1. Isolement à partir des cadavres de *Geotrogus deserticola*

Les cadavres d'adultes et larves de ver blancs *Geotrogus deserticola* (Figure 18), ont été désinfectés à l'eau de javel à 2% pendant 5min, puis rincés trois fois dans l'eau distillée stérile et séchés tout d'abord sur papier filtre stérile, ces larves ont été placées dans des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA. Les boîtes sont ensuite incubées à 25°C à l'obscurité et observées quotidiennement pendant trois semaines (Goettel et Inglis, 1997). Les colonies obtenues sont purifiées puis identifiées morphologiquement.



Figure 18 : Spécimens de *Geotrogus deserticola* utilisés pour l'isolement des souches fongiques (Original, 2019).

2.2. Isolement à partir du sol

L'isolement à partir du sol a été conduit selon la technique des suspensions-dilutions telle qu'elle est décrite par Rappilly (1968). Dans un tube à essai contenant 9 ml d'eau distillée stérile, 1 g de sol sec a été ajouté aseptiquement. Ce mélange a été agité mécaniquement à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes. Des dilutions décimales de 10^{-3} à 10^{-5} ont été préparées à partir de la solution mère. 1 ml de chaque concentration a été cultivées sur le milieu SDAY à raison de trois répétitions pour chaque concentration, les boîtes ont été scellées et incubées à 25 °C pendant 7 jours.

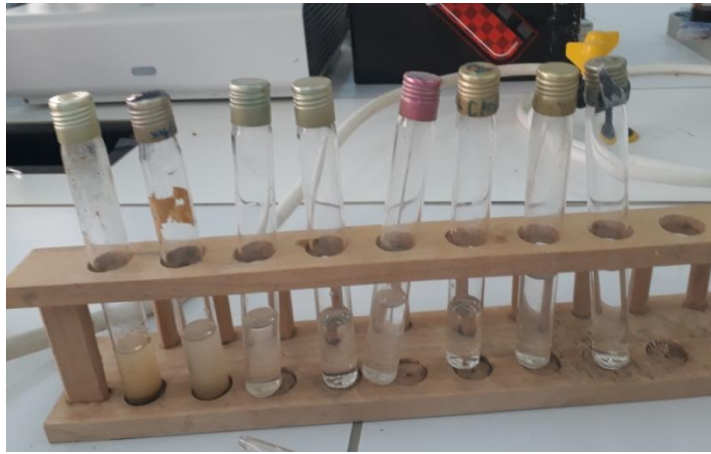


Figure19 : Isolement à partir du sol selon la méthode suspension-dilution (Original, 2019).

2.3. Caractérisation morphologique des isolats obtenus

L'identification des champignons entomopathogènes a été basée sur des observations macroscopiques et microscopiques. Les caractères morphologiques et culturaux ont été déterminés sur le milieu de culture PDA. L'identification des isolats est basée sur les observations du mycélium fongique :

- **L'étude Macroscopique** : basée sur la pigmentation des cultures, l'aspect de la surface, la marge et le type de mycélium (Kharbanda et Bernier, 1980) ;
- **L'étude microscopique** : basée sur l'aspect du mycélium, la forme et la taille des conidiophores, les phialides et enfin les types de conidies et leurs positions sur les conidiospores. Pour l'identification de nos isolats, nous avons utilisés la clé de Keller (1987).

3. Purification et conservation des isolats des champignons entomopathogènes

La purification des isolats développés a été effectuée par des repiquages successifs sur le milieu d'isolement jusqu'à l'obtention d'une culture pure. Le repiquage des champignons à identifier s'est effectué à la suite du prélèvement des explants fongiques en bordure des colonies développées sur les milieux d'isolement. Les isolats ont été conservés dans des tubes inclinés à 4°C pour assurer une conservation d'une longue durée.

4. Caractérisations biologiques des isolats obtenus

4.1. Effet de milieu de culture sur la croissance mycélienne des isolats obtenus

Dans cette étude nous avons utilisé trois milieux de culture (PDA, Czapek et SDAY). Ces milieux de cultures ont été coulés dans des boîtes de pétri stérile de 9cm de diamètre.

Des explants de 0.8 cm de diamètre des cultures de trois isolats de champignons entomopathogènes âgée 15 jours ont été déposés au centre des boîtes de pétri, puis ces boîtes sont incubées à 25°C. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque isolat.

La croissance mycélienne a été évaluée, chaque 2 jour, par la mesure de deux diamètres perpendiculaires (verso de la boîte) de chaque colonie. L'accroissement a été déduit par soustraction du diamètre du disque initial (0,8 cm) à partir des valeurs relevées. Ainsi, la croissance mycélienne est déterminée de la manière suivante:

$L = (D-d)/2$, avec : L= croissance mycélienne; D= diamètre de la colonie; d= diamètre de l'explant.

4.2. Effet des températures sur la croissance mycélienne

Pour réaliser ce test, nous avons utilisé trois températures 5, 10, 25 et 30°C. Un explant de 0.8 cm de chaque isolat a été mis au centre des boîtes de pétri coulés de milieu PDA ajusté à un pH=6,5. Les boîtes ont été incubées à différentes températures choisies avec trois répétitions pour chaque isolat et chaque température. La croissance mycélienne a été évaluée par la formule citée précédemment.

4.3. Effet du pH sur la croissance mycélienne

Nous avons utilisé le milieu de PDA avec un pH modifié (4.5, 7 et 8.5). Le pH de milieu a été ajusté par d'acide chlorhydrique ou par l'hydroxyde de potassium. Chaque pH obtenu est contrôlé à l'aide d'un pH mètre pour une éventuelle correction. Un explant mycélien de 0.8 cm de diamètre de chaque isolat a été déposé au centre des boîtes. Les boîtes sont incubées à 25°C. L'action du pH est évaluée selon la méthode précédemment citée.

5. Evaluation du taux de sporulation

Les colonies de chaque isolat ont été grattées dans 100 ml de 0.01% Tween 80 avec une spatule stérile ; puis, la suspension a été agitée pendant 10 min. La suspension a été filtrée en utilisant une mousseline stérile. Le nombre de conidies a été déterminé par utilisation de la cellule de Malassez sous un microscope optique.

6. Test de la viabilité : Culture sur lame

Le principe de cette étude est de cultiver le champignon en micro culture entre lame et lamelle (Rapilly, 1968). Une goutte de milieu de culture PDA, est étalé sur une lame stérile puisensemencé par 0.2 ml de la suspension sporale, la lame est ensuite recouvert avec une lamelle stérile est déposé sur un support en forme de (V), les lame ont été placées dans des boîtes de pétri contenant un disque de papier filtre imbibé d'eau distillé et sont ensuite incubé à 25°C. Pour chaque traitement, 100 conidies ont été observées aléatoirement avec trois répétitions. La germination a été observée au microscope optique au grossissement 40.

7. Test de lutte biologique

7.1. L'obtention de la suspension sporale

Nous avons préparé cinq concentrations de 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 jusqu'aux 10^8 conidies/ml selon la méthode de Butt et Goettel, (2000). Les colonies âgées de 15 jours ont été grattées dans le Tween-80 à 1%. Les suspensions obtenues sont agitées pendant 10 min avec un agitateur vortex puis filtrées par l'utilisation d'une mousseline stérile. Une série de suspension sporale a été préparé de chaque isolat par méthode de suspension-dilution avec l'utilisation de la cellule de Malassez.

7.2. Contamination par contact

Les larves du troisième stade et les pupes âgées de 5 jours ont été utilisés dans ces biotests. Dix larves de troisième stade ont été mis dans 2ml de chaque concentration pendant 30s, puis transférées dans des boîtes de Pétri contenant 5 g de sable stérilisé, couverte par le couvercle, scellée avec du parafilm pour éviter toute contamination externe, et conservée à 25°C dans l'obscurité (Figure 20). Pour le témoin les larves ont été trempées dans une solution de 0,01 % de Tween 80. Pour évaluer l'effet des champignons sur les larves, nous avons calculé le taux de mortalité larvaire au bout de 24h, le taux de pupes malformées et le taux de mortalité des pupes issues des larves traitées après 15 jours.

D'autre part, 10 pupes âgées de 5 jours ont été plongées pendant 30s dans chacune des suspensions susmentionnées (conidies/ml). Les pupes témoins ont été plongées dans une solution de 0,01 % de Tween 80. Les pupes traitées, après avoir évacué l'excès de solution en les touchant sur un papier filtre stérile, ont été placées dans des boîtes de Pétri contenant 5 g de sable stérilisé et conservées à 25 °C (Figure 21). Après 7 jours, nous avons calculé le taux d'émergence, par la suite nous avons déduit le taux de mortalité.

Les larves mortes, les pupes malformées et les pupes qui n'ont pas donné d'adultes ont été incubées sur un papier filtre mouillé et stérile à 25°C et 65% HR pour confirmer que la mortalité est due aux champignons. Tous les essais biologiques ont été enregistrés et analysé sur la base de trois répétitions indépendantes.

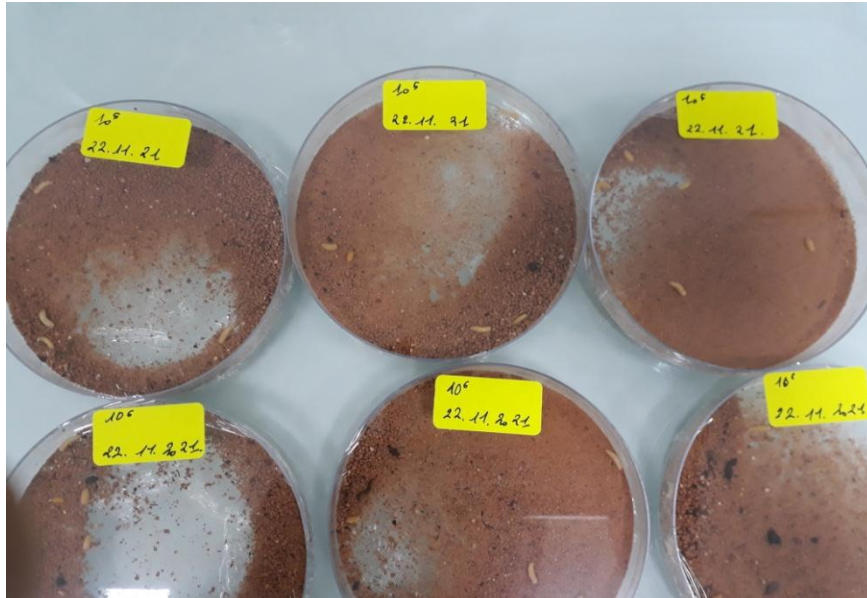


Figure 20 : Dispositif expérimental du test par contact des entomopathogènes à l'égard des larves de *C. capitata* (Original, 2021).

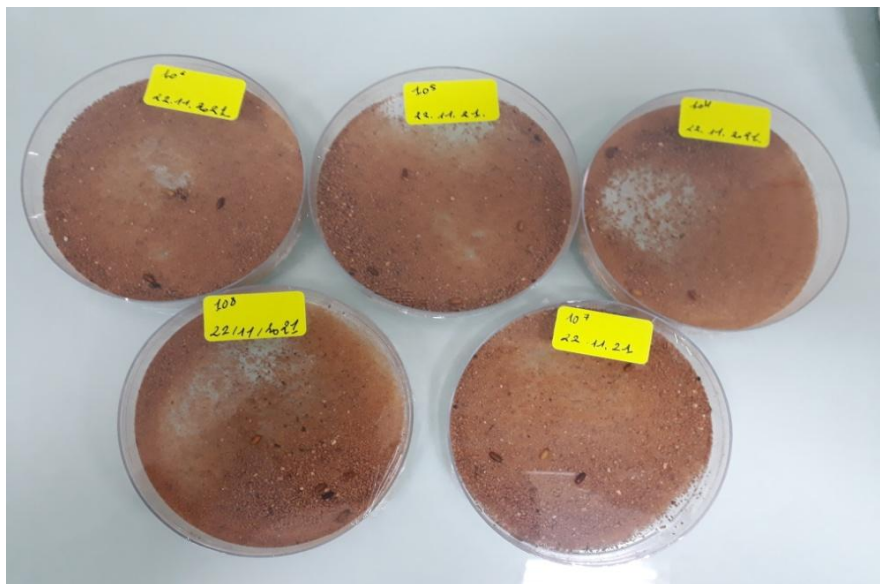


Figure 21 : Dispositif expérimental du test par contact des entomopathogènes à l'égard des pupes de *C. capitata* (Original, 2021).

7.3. Correction de la mortalité par la méthode d'Abbott

Afin de trouver l'efficacité d'un produit traité, il est nécessaire de corriger la mortalité des insectes, car le nombre d'individus dénombrés morts dans une population traitée par la substance toxique n'est pas le nombre réel d'individus tués par ce toxique. Il existe en fait dans toute population traitée une mortalité naturelle qui vient s'ajouter à la mortalité provoquée par ce toxique ; pour cela, les pourcentages de mortalité doivent être corrigés. Selon la formule d'Abbott (Abbott, 1925).

$$MC(\%) = [Mt - Mc / 100 - Mc] * 100$$

Avec: MC : Mortalité corrigée (%) ; Mt : mortalité sous traitement (%) ; Mc : mortalité en contrôle (%).

7.4. Analyse statistique

L'analyse Probit a été utilisée pour déterminer les niveaux létaux et sublétaux (Finney 1971). Les différences entre les traitements en matière de taux de mortalité ont été déterminées par analyse de la variance (ANOVA) et la méthode de Tukey a été utilisée pour comparer les différences significatives moyennes entre les traitements ($p < 0,05$). Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique SPSS 26.

**Chapitre IV : Évaluation de l'effet
bioinsecticide de quelques plantes
médicinale sur la cératite**

Chapitre 4 :

Effet bioinsecticide de quelques plantes médicinales sur la cératite

Objectif de l'étude

Ces tests ont pour objectif d'évaluer le potentiel insecticide des extraits aqueux de trois plantes médicinales, comme alternative à l'usage des pesticides de synthèse pour lutter contre la cératite.

1. Collection des plantes médicinales *R. communis*, *R. officinalis* et *L. stoechas*

Le matériel végétal est constitué des parties aériennes du ricin *Ricinus communis*, romarin *Rosmarinus officinalis* et de la lavande *Lavandula stoechas*. Les feuilles du ricin ont été récoltées en Décembre 2021 à Mecheria wilaya de Naâma. Les feuilles et les sommités fleuries du romarin ont été récoltées en Mars 2021 à la montagne Antar, Mecheria. Les fleurs et feuilles de la lavande sauvage ont été récoltées en Juin 2021 sur les monts de Beni Snouss à Tlemcen. Après séchage à une température ambiante et à l'abri de la lumière solaire, afin de préserver au maximum l'intégrité des molécules, le matériel végétal de chacune des trois espèces est broyé finement dans un moulin électrique.

2. Préparation des extraits aqueux

Nous avons préparé une solution mère aqueuse pour chacune des trois espèces (ricin, romarin et lavande) de concentration de 50mg/ml selon le protocole de (Sasanelli et Di Vito, 1991).

Cette solution est préparée en mélangeant 0,5 g de poudre végétale avec 10 ml d'eau distillé stérile que nous avons laissé macérer pendant 24 heures. Ensuite, nous avons agité le mélange à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes à température ambiante puis filtrée par un papier whatman. Le filtrat est conservé à 4°C et à l'obscurité jusqu'à une utilisation ultérieure. De même, nous avons réalisé un dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes pour les trois espèces végétales. C'est à partir des solutions mères du ricin, de la lavande et du romarin que nous avons prélevé nos trois doses d'extrait végétal de 20; 30 et 40 µl destinées au traitement biologiques de larves et de pupes de la cératite.

2.1. Dosage de polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon la méthode de Folin-Ciocalteux (FC) décrite par Boizot et Charpentier (2006). Pour chaque espèce végétale, 100 µl d'extrait sont introduite dans un tube à essai, additionnée de 500 µl de réactif de FC et 400 µl de Na₂CO₃ à 7,5% (m/v).

Le mélange est agité et incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant dix minutes. Il se forme un complexe coloré qui présente un maximum d'absorption à 760 nm. Les densités optiques sont mesurées avec un spectromètre de Shimadzu 1601. Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique/ g de matière végétale sèche en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique d'une solution mère de concentration de 100µg /ml.

2.2. Dosage des flavonoïdes

La détermination des flavonoïdes totaux a été effectuée selon la méthode modifiée, décrite par Dehpour et *al.*, (2006).

Pour chaque espèce végétale, 500 µl d'extrait à analyser sont ajoutés à 1500 µl de méthanol à 95%, 100 µl d'AlCl₃ à 10% (m/v), 100µl de KOOCCH₃1M et 2,8 ml d'eau distillée. Le mélange est agité puis incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 30 min. le blanc est réalisé par remplacement de l'extrait par du méthanol à 99% et l'absorbance est mesurée à 415 nm en utilisant un spectromètre UV de Shimadzu 1601.

Les résultats sont exprimés en mg équivalent quercitrine/g de matière végétal sèche en se référant à la courbe d'étalonnage de la quercitrine d'une solution mère de concentration de 100 µg/ml. Nous avons établi une courbe d'étalonnage de 10 à 100µg /ml pour les polyphénols et flavonoïdes.

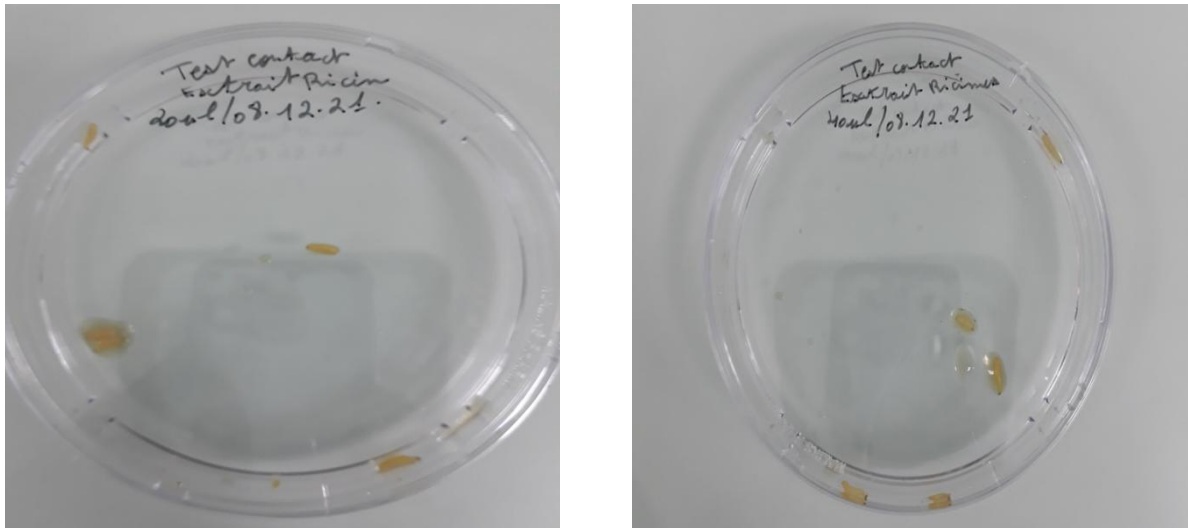
3. Effet bioinsecticide des extraits aqueux de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. Stoechas* à l'égard des larves et des pupes de la cératite

3.1. Test par contact sur les larves

Dix larves de troisième stade de *C. capitata* ont été mis dans une boîte de Pétri et à l'aide d'une micropipette, trois doses de l'extrait végétal aqueux à savoir 20, 30,40 µl de chaque plantes médicinales ont été prélevé et mis dans chaque boîte de Pétri. L'expérience

est répétée trois fois pour chaque dose (Figure 22). En parallèle, le même procédé est répété trois fois pour le témoin avec l'eau distillée stérile.

Pour évaluer l'effet des extraits aqueux sur les larves, nous avons pris en considération les paramètres taux de mortalité larvaire, taux de larves transformées en pupes, taux



d'émergence d'adultes issues des larves traitées, puis déterminer le taux de pupes mortes.

Figure 22 : Test par contact des extraits aqueux à l'égard des larves L3 de la cératite (Original, 2021).

3.2. Test par inhalation sur les pupes

Ce test consiste à observer le taux d'émergence des adultes à partir des pupes saines (non traitées). Dans des boîtes de pétri, on introduit une masse de coton imbibée d'extrait végétal avec les différentes doses citées précédemment puis 10 pupes de la cératite sont introduites dans chaque boîte qui sera fermée hermétiquement (Figure 23).

Les essais sont répétés trois fois pour chaque dose. Les témoins sont réalisés, en parallèle, sans être exposés à l'extrait végétal. Au bout du 8, 9, 10 jusqu'au 15^{ème} jour nous avons dénombré les individus émergés.

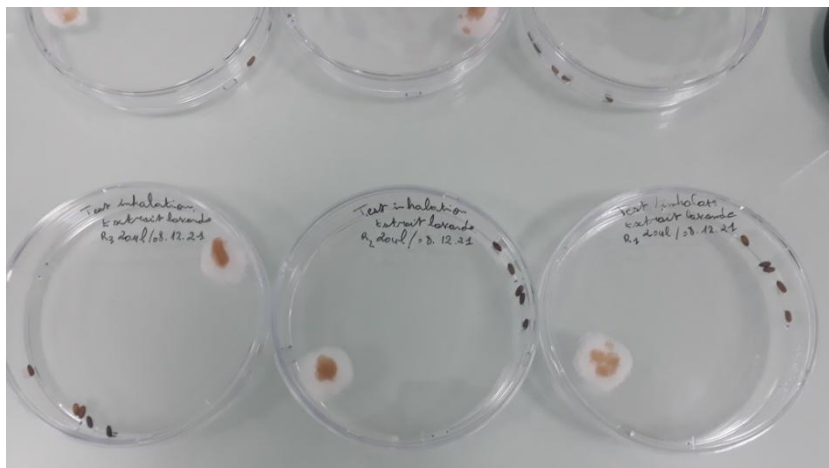


Figure 23 : Test par inhalation des extraits aqueux à l'égard des pupes de la cératite (Original, 2021).

3.3. Traitement statistique

Les données sont suivies par le test de Newman et Keuls. Le logiciel utilisé est le SPSS 26. Pour la détermination des doses sublétales et létales une régression simple est calculée entre le log décimal de la concentration, comme variable explicative et le Probit comme variable expliquée. La force de la relation entre les deux variables est donnée par le coefficient de détermination R^2 . Lorsque celui-ci est proche de 1 la relation est forte.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre I : Étude entomologique de
C. capitata

Chapitre 1 :

Etude entomologique de *C. capitata*

1. Relevés climatiques

Les moyennes mensuelles de la température, de l'humidité et de la pluviométrie pour la zone d'étude sur une année sont présentées dans la Figure 24. La température moyenne la plus basse était d'environ 10,5°C mesurée en janvier. A partir du mois de Mai, les températures moyennes progressent pour atteindre un maximum de 29°C le mois d'Aout.

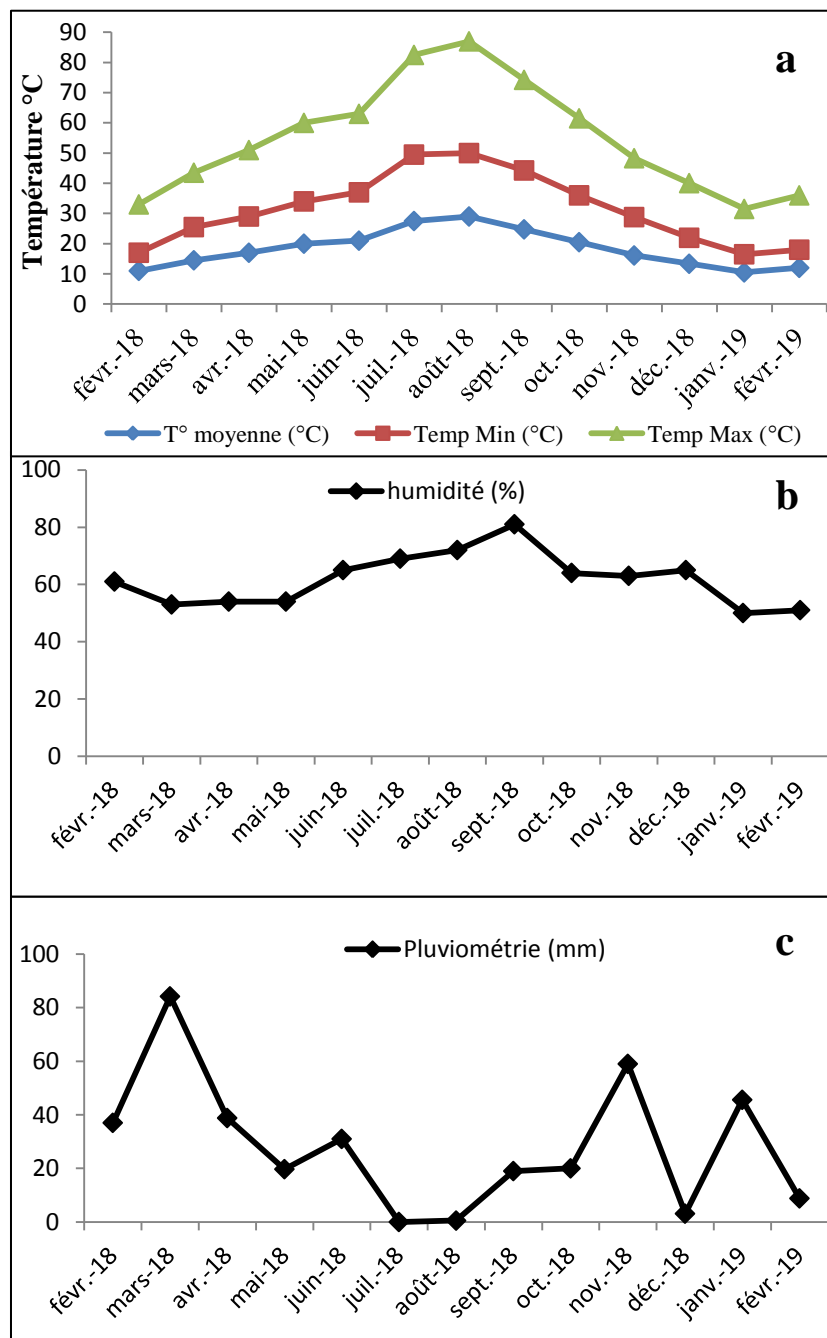


Figure 24 : Température, humidité et pluviométrie mensuelles moyennes à Mohammadia pour la période d'étude.

L'évolution des températures durant la période d'étude montre que les températures hivernales étaient généralement élevées, vu que les températures moyennes minimales n'ont pas dépassé la barre de 6 °C et les températures moyennes maximales ont atteint 18.1 °C. Les données climatiques ont révélé que les mois les plus chauds sont Juillet et Août, avec des températures maximales respectives de 33 °C et 37 °C. En hiver, le mois le plus froid est Février avec une température moyenne minimale de l'ordre de 6°C.

Les températures, pluviométrie et le taux d'humidité enregistrées pendant la période d'étude, ont montré une variabilité saisonnière assez normale (Figure 24 : a, b, c).

La figure 25 présente un diagramme des trois plantes hôtes étudiées de *C. capitata* et leur période de maturation à Mohammadia. Les figues sont les premiers hôtes disponibles et contribuent à l'augmentation des populations de la cératite pendant les mois d'été, causant plus tard des dommages économiques aux agrumes, l'hôte le plus important économiquement pour *C. capitata* en Algérie.

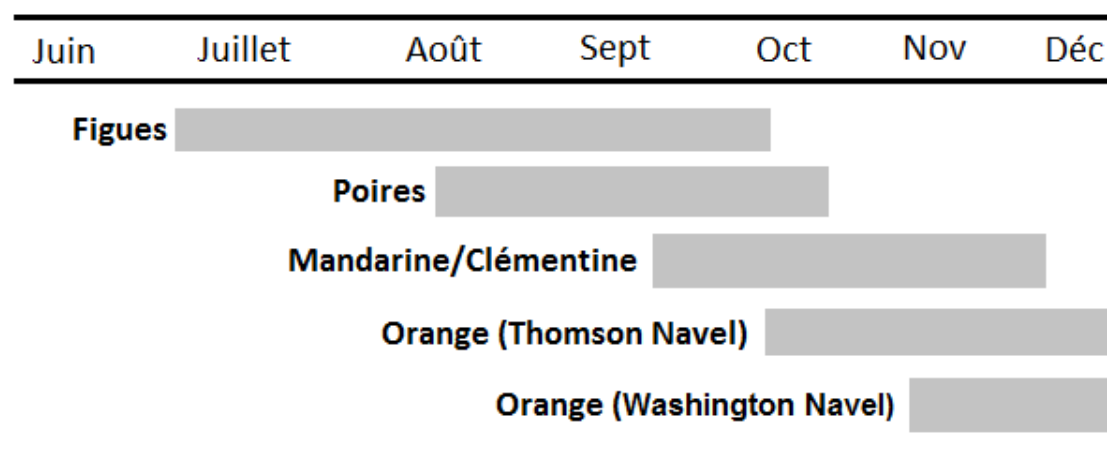


Figure 25 : Disponibilité des hôtes étudiés et leur période de maturation à Mohammadia (ITAFV-Mohammadia).

2. Dynamique des populations de *C capitata* dans les trois vergers d'études

Les captures des pièges sont présentées dans la Figure 26. Pendant la période de suivi, les adultes de *C. capitata* ont été détectés dans les trois vergers d'étude.

Nos résultats montrent que les premières captures d'adultes ont été enregistrées entre la dernière semaine d'avril et la première semaine de mai. Les premières captures d'adultes (3 adultes) pendant la période de suivi ont été enregistrées le 22 avril 2018 sur les agrumes.

Les données présentées dans la figure 26 indiquent qu'après de faibles taux de capture d'adultes en avril et mai, la densité de population a commencé à augmenter à la fin du mois de juin et au début du mois de juillet. Un pic de population a été observé de mi-septembre à fin novembre sur les agrumes et de mi-septembre à fin octobre dans les vergers de figuiers et de poiriers. Sur les agrumes, la valeur maximale d'adulte par piège par jour (APJ) atteinte a été de 189,8 ; 216.5 et 127,75 respectivement en septembre, octobre et novembre ; la valeur maximale de APJ atteinte sur les figues a été de 55,6 ; 79 et 69,25 respectivement en juillet, septembre et octobre et la valeur maximale de APJ enregistrée sur les poires a été de 82,2 ; 71,15 et 104,65 respectivement en juin, juillet et septembre.

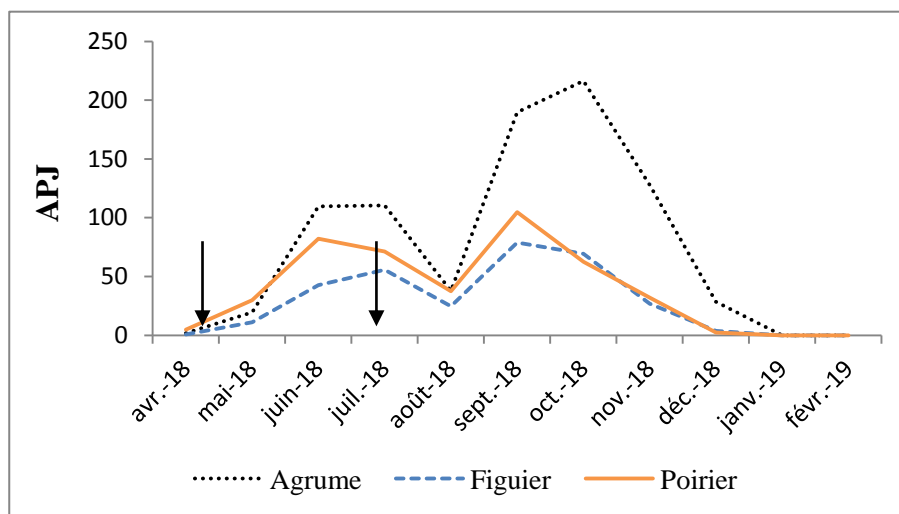


Figure 26 : Fluctuation du vol des adultes de *C. capitata* pendant la période d'activité dans les trois vergers d'étude. Les flèches indiquent les dates des traitements insecticides.

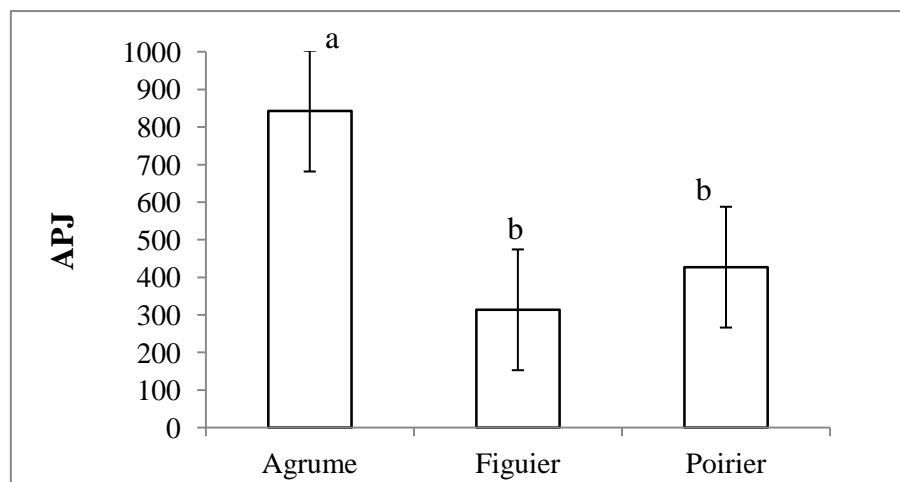


Figure 27 : Captures moyennes en mouche par piège par jour (APJ) de *C. capitata* sur les 3 vergers d'étude à Mohammadia pour la période d'étude.

Les barres présentent l'erreur standard et les lettres différentes représentent des différences statistiques significatives entre les moyennes de captures dans les 3 vergers d'étude test HSD de Tukey ($P = 0,05$).

Globalement, les populations d'adultes ont commencé à diminuer au mois de Novembre et les derniers adultes ont été capturés au cours de la première moitié du mois de décembre. L'analyse statistique pour l'ensemble de la période de suivi a montré une fluctuation des valeurs APJ en fonction des trois espèces fruitières étudiées, avec des différences statistiquement significatives (HSD 0,05 = 3,34) dans la densité de populations d'adultes. La comparaison des moyennes APJ (test de Tukey) a montré une différence significative entre les agrumes et les deux autres espèces, p value = 0.0006 (Figure 27).

Les résultats de notre étude montrent, qu'à Mohammadia, *C. capitata* a une occurrence saisonnière distincte des fluctuations de population. Les adultes ont été détectés à partir d'avril et capturés jusqu'à la première moitié de décembre. Après la première détection, la densité de la population était très faible en mai et le nombre d'adultes capturés a augmenté en juin, juillet et début septembre. Les populations ont atteint un pic de septembre à la fin octobre.

Les variations saisonnières dans la dynamique des populations de *C. capitata* sont comparables aux données présentées par Fahad et al (2013) dans la région de Sefro au centre du Maroc et Settaoui et al (2017) dans la région de Tlemcen au nord-ouest de l'Algérie. Ces endroits, ainsi que Mohammadia, sont proches des limites nord de la distribution de *C. capitata* en Afrique du Nord. Selon ces variations saisonnières, trois périodes principales d'activité de la mouche méditerranéenne des fruits peuvent être distinguées : une période printanière qui se chevauche avec l'activité de la période estivale et une période finale automnale pendant les mois les plus froids de l'année ; en outre, la mouche des fruits *C. capitata* hiverne sous forme de pupes enterrées dans le sol et sous forme d'adultes (Fahad et al., 2013).

Les données que nous avons recueillies montrent que les populations de *C. capitata* atteignent un pic lorsque la température mensuelle moyenne est de 20,5°C en octobre (moyenne pour les agrumes) et de 30°C en septembre (moyenne pour les poires et les figes). Comme l'indique Bateman (1972), la température a un impact crucial sur la détermination de l'abondance et des taux de développement des populations de ravageurs ; par conséquent, elle est principalement responsable des processus des populations et de leur synchronisation avec les changements de l'environnement au fil du temps. Néanmoins, on peut également conclure que les fluctuations de la dynamique des populations de *C. capitata* sont influencées par la disponibilité et l'abondance des fruits hôtes.

La séquence de la disponibilité et de la variabilité des plantes hôtes qui a augmenté de juin et juillet jusqu'à la fin décembre a entraîné une augmentation typique et importante de la population de la cératite.

La pullulation saisonnière de la mouche *C. capitata* pourrait s'expliquer par la période de maturation des figues, car cette plante hôte a un rôle vital pour la propagation des nouvelles générations à partir d'août-septembre, comme indiqué par Sciarretta et Trematerra (2011) et Settaoui et al (2017). De plus, les paramètres de population de *C. capitata* sont considérablement influencés par la disponibilité des hôtes et la présence d'hôtes préférés ; ces paramètres créent, vraisemblablement, de grandes quantités de variation dans l'abondance de la population de *C. capitata*.

En particulier, nos données ont montré que les pièges sur les agrumes ont capturé le plus grand nombre de mouches, soit un total de 842,35 APJ ; la principale raison qui pourrait expliquer cette abondance est la préférence des agrumes par la cératite, comme expliqué par Levinso et al (1990) et Papadopolous et al (2015) ; les agrumes ont, sans doute, une grande attraction pour les adultes de *C. capitata* en particulier pour les mâles et les femelles accouplés, dont ils constituent un site favorable comme un site primaire pour les mâles de la cératite et un site de ponte approprié pour les femelles.

Le verger d'agrumes a également été classé comme le point des captures d'adultes les plus précoces pendant la période d'étude ; la principale explication pourrait être le fait que les dernières générations automnales de l'année précédente ont hiverné dans ce verger, puisque les agrumes sont les derniers hôtes disponibles jusqu'à fin décembre.

L'analyse statistique pour l'ensemble de la période de suivi a montré que les facteurs climatiques contribuent notamment à la diminution ou à l'augmentation de la population de *C. capitata*.

La corrélation entre les niveaux de capture APJ et la température n'était pas uniforme (Figure 28 ; Annexe 3 : Tableau 1,2 et 3) ; mais, dans l'ensemble, des températures plus basses étaient généralement associées à des captures de pièges significativement plus élevées. la corrélation entre la température mensuel minimal et les captures était de l'ordre de $r = 0.61$; $r = 0.76$ et $r = 0.81$ pour les vergers d'agrumes, des figues et de poires respectivement.

Des valeurs de précipitations mensuelles totales de 84,2 et 0,0 mm ont été enregistrées en mars et juillet respectivement. La relation entre les niveaux de capture d'adultes de *C. capitata* et les précipitations mensuelles totales était disproportionné, les valeurs de précipitations les plus élevées entraînant une activité de mouches significativement plus faible. Une corrélation négative est notée entre les précipitations et le nombre de mouches capturées dans les trois vergers, $r = -0,19$ et $r = -0,33$ pour les vergers d'agrumes, de poires et figues respectivement.

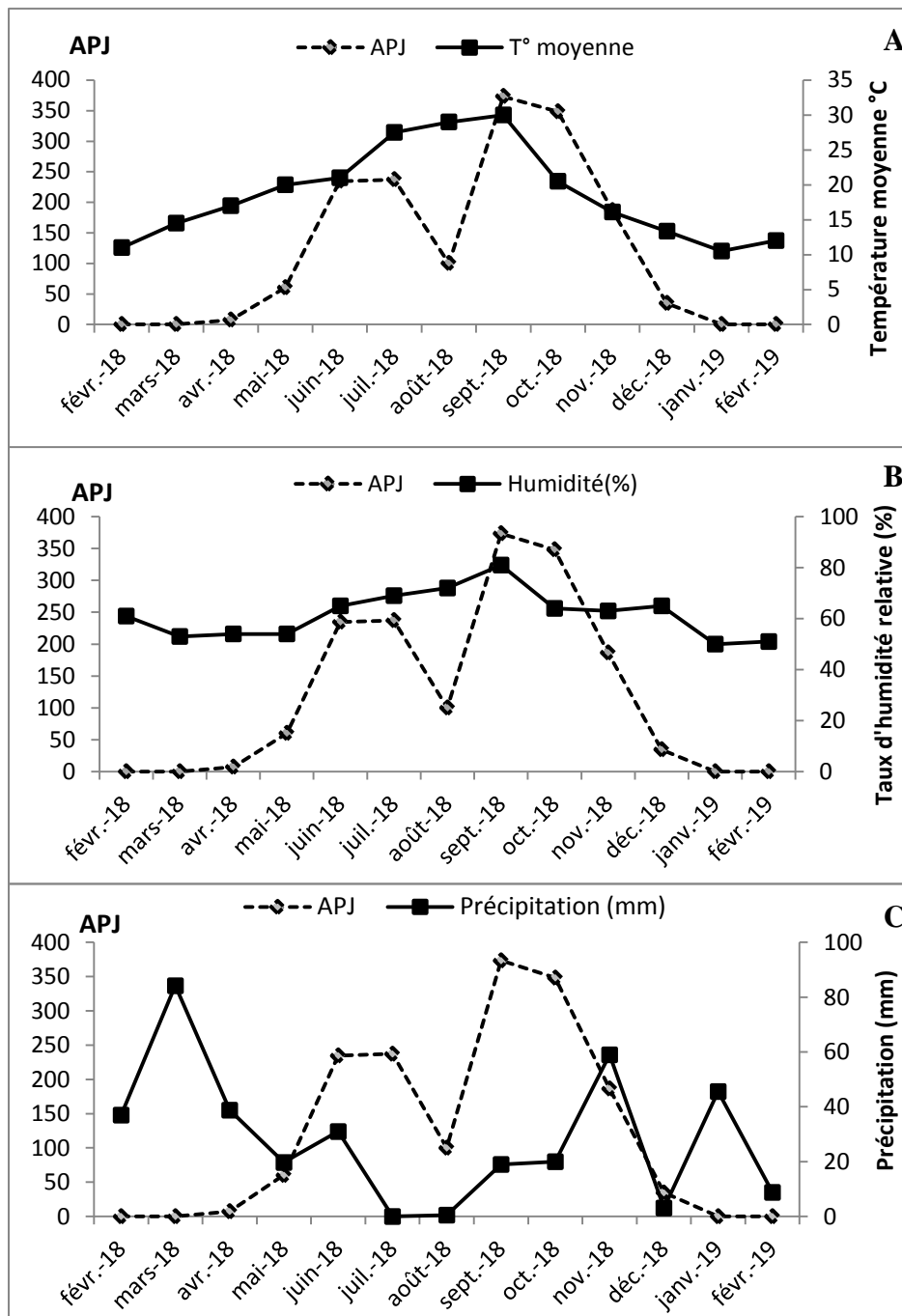


Figure 28 : Captures moyennes par mois en fonction des facteurs de climat durant la période d'étude, (A) température moyenne ; (B) humidité et (C) précipitation.

L'humidité relative a varié entre 81% en septembre 2018 et 50% en janvier 2019. En général, lorsque l'humidité relative augmentait, les niveaux de capture des mouches augmentaient également (Figure 28 ; Annexe 3 : Tableau 1,2 et 3). L'humidité relative et les niveaux de capture de mouches ont montré une relation fortement corrélée ($r = 0,74$; $r = 0,79$ et $r = 0,81$ pour les parcelles d'agrumes, de poires et de figes respectivement).

D'après les résultats obtenus, il est remarquable que les différents facteurs climatiques aient un impact significatif sur l'augmentation ou la diminution de la fluctuation et de l'abondance des adultes de *C. capitata*. Nos données montrent que la population de *C. capitata* a atteint son maximum lorsque la température mensuelle moyenne était de 20,5°C en octobre et de 30°C en septembre, comme l'a signalé Bateman (1972) ; la température a ainsi un impact crucial sur la détermination de l'abondance et des taux de développement des populations de ravageurs ; elle est donc principalement responsable des processus des populations et de leur synchronisation avec les changements de l'environnement au fil du temps.

Les températures élevées ont été associées à de faibles captures de mouches dans les pièges (Hendrichs et Hendrichs, 1990 ; Cayol, 1996). A l'inverse, dans la présente étude, les captures par piège étaient relativement élevées en septembre 2018, qui coïncide avec la température moyenne mensuelle la plus élevée, ce qui est similaire aux données présentées par Appiah et al (2009). Ceci peut être expliqué par le fait que cette abondance est due à la disponibilité des fruits mûrs et à maturité dans les vergers. Nos résultats corroborent parfaitement avec les travaux de Sciarretta et Trematerra (2011) et Settaoui et al (2017) qui ont montré que les paramètres des populations de *C. capitata* sont considérablement influencés par la disponibilité des hôtes.

L'impact négatif des précipitations sur l'abondance de la cératite est en contradiction avec les données trouvées par Appiah et al (2009). En effet, la plupart des mois pluvieux coïncident avec la période des fruits non mûrs ou avec la fin de la saison de récolte, ce qui pourrait expliquer le faible nombre de captures dans les pièges. D'autre part, l'humidité relative a révélé une corrélation positive avec les valeurs d'APJ, cet impact positif corrobore les résultats d'Appiah et al (2009). Les niveaux élevés d'humidité relative, compris entre 50 et 81%, enregistrés tout au long de la période d'étude, pourraient expliquer la corrélation positive entre l'humidité relative et les valeurs APJ.

3. Évaluation de l'efficacité de deux types de pièges pour le suivi des populations de *Ceratitis capitata*

Les pièges Flycatcher (gobe mouche, McPhail) ont capturé un total de 4 041 d'adultes de *C. capitata* ; les pièges Delta (Réamol GF) ont ramassé 3 117 adultes au total.

Nos résultats indiquent que les pièges gobe mouche avaient une efficacité similaire à celle des pièges Delta avec des valeurs *p* value de 0,085, 0,97 et 0,43 pour les vergers d'agrumes, de figes et de poires respectivement. Les résultats présentés dans les tableaux 8, 9 et 10 montrent le nombre mensuel d'adultes de *C. capitata* qui ont été capturés dans les pièges gobe mouche et les pièges Delta pendant la période d'activité de la mouche.

Les sommes de 2121, 735 et 1185 ont été piégées respectivement sur les parcelles d'agrumes, de figes et de poires respectivement. Ces nombres correspondent à un nombre moyen de $163,15 \pm 55,5$; $56,54 \pm 19,5$ et $88,15 \pm 30,7$ (moyenne \pm SE) mouches par verger dans les pièges gobe mouches. Le nombre total enregistré de *C. capitata* capturé par les pièges Delta était de 1579, 654 et 932 respectivement sur les agrumes, les figes et les poiriers, ces nombres correspondent à un nombre moyen de $121,5 \pm 39,7$; $46,61 \pm 17,9$ et $71,69 \pm 26,6$ (moyenne \pm SE) de mouches par verger dans les pièges Delta. En particulier, nos données ont montré que les pièges sur les agrumes ont capturé le plus grand nombre de mouches comme le montre le Tableau 8, avec un nombre plus élevé de captures sur le piège gobe mouche par rapport au piège Delta.

Tableau 8 : Nombre d'adultes de *C. capitata* capturés par mois avec le piège gobe mouche et le piège Delta dans le verger d'agrumes.

Mois	Gobe mouche	Delta	<i>P</i> value
Avril	4	5	1.0000NS
Mai	54	24	0.5442NS
Juin	271	168	0.8535NS
Juillet	294	258	0.0659NS
Août	81	70	0.9435NS
Septembre	578	371	0.9410NS
Octobre	492	374	0.6546NS
Novembre	277	234	0.4167NS
Décembre	70	73	0.3613NS

NS=Non significatif à une valeur $P \geq 0,05$ (en utilisant les comparaisons par paires de Fisher)

Tableau 9 : Nombre d'adultes de *C. capitata* capturés par mois avec le piège gobe mouche et le piège Delta dans le verger de figues.

Mois	Gobe mouche	Delta	P value
Avril	0	0	1.0000NS
Mai	23	21	1.0000NS
Juin	98	69	0.9615NS
Juillet	145	133	0.7201NS
Août	53	46	0.9790NS
Septembre	210	185	0.6281NS
Octobre	139	138	0.1054NS
Novembre	59	48	0.9695NS
Décembre	8	10	0.6376NS

NS=Non significatif à une valeur $P \geq 0,05$ (en utilisant les comparaisons par paires de Fisher)

Tableau 10 : Nombre d'adultes de *C. capitata* capturés par mois avec le piège gobe mouche et le piège Delta dans le verger de poires.

Mois	Gobe mouche	Delta	P value
Avril	0	0	1.0000NS
Mai	26	19	0.8905NS
Juin	160	93	0.8955NS
Juillet	252	211	0.9155NS
Août	103	83	0.9605NS
Septembre	322	295	0.9150NS
Octobre	190	161	0.1094NS
Novembre	120	60	0.6571NS
Décembre	12	10	0.3613NS

NS=Non significatif à une valeur $P \geq 0,05$ (en utilisant les comparaisons par paires de Fisher)

Les pièges gobe mouches appâtés avec l'hydrolysate de protéines ont montré de meilleures performances que les pièges Delta appâtés au trimedlure en termes de captures totales pendant la période d'activité de *C. capitata* dans le nord-ouest de l'Algérie. En particulier, les pièges gobe mouches ont été plus efficaces de début juin à fin novembre.

Comme signalé par Heath et al (1997) ; Katsoyannos et al (1999a, b) et Papadopoulos et al (2001), les pièges gobe mouches/leurres de nourriture capturent les adultes des deux sexes de la cératite, principalement des femelles ; tandis que les pièges Delta/trimedlure capturent exclusivement des mâles de *C. capitata*, ce qui pourrait expliquer ces différences dans les captures. Par ailleurs, les résultats de Sadoudi et al (2011) montrent que les pièges Delta/trimedlure sont plus efficaces que les pièges gobe mouches combinés à l'hydrolysate de protéines.

La similarité de l'efficacité et de la performance des pièges Delta et le gobe mouches dans nos résultats peuvent s'expliquer par la réponse des adultes à des attractifs qui varie au cours de la saison et peut, à son tour, être due à des changements dans la physiologie des

adultes ou dans les taux de libération des attractifs (Jones, 1988). Il est également possible de suggérer que la mobilité des mouches adultes, en particulier les femelles, entre les vergers à la recherche de fruits réceptifs pour la ponte peut être une autre raison de cette similitude.

En outre, l'attrait de gobe mouches/hydrolysats de protéines est fortement lié à l'âge des mouches. En fait, ces pièges capturent plus de jeunes mouches que de mouches plus âgées, en raison de leur besoin de protéines, nécessaires à leur maturité sexuelle (Kouloussis et *al.*, 2009). La disponibilité de l'hôte, la date de vérification du piège, les facteurs climatiques et les combinaisons piège/leurre sont d'une importance capitale pour évaluer l'efficacité des pièges comme l'ont montré des études précédentes (Papadopoulos et *al.*, 2001 ; Bali et *al.*, 2021).

Bien que le seuil opérationnel pour une sensibilité adéquate du système de piégeage puisse varier, plusieurs caractéristiques des systèmes de piégeage sont généralement considérées comme déterminants de la capacité de détection des mouches de fruits et des insectes envahissants en général. Il s'agit notamment de la taille de la zone prospectée, le calendrier saisonnier de l'activité de piégeage (dans les zones où le piégeage n'est pas permanent), la densité et l'agencement spatial des pièges dans la zone étudiée et l'attractivité de la combinaison appât/piège (Berec et *al.* et *al.*, 2015 ; Stringer et *al.*, 2019).

La complexité et l'échelle des interactions entre les systèmes de piégeage, la biologie des mouches de fruits et les paramètres environnementaux rendent difficile la mise en œuvre d'une expérimentation pour évaluer les performances des systèmes de piégeage des mouches des fruits.

4. Infestation des fruits par *C. capitata*

4.1. Taux de fruits piqués

D'après les résultats illustrés par la figure 29, la variété d'orange Thomson présente le taux de fruit piqué le plus élevé estimé de 89.38%. Il est suivi par la clémentine et la variété de poirier *Blanquilla* avec des taux de fruits respectifs de 83.13% et 66, 88%. Par contre, les deux variétés de figues Achtoui et Tameriout présentent les taux les plus faibles de fruits piqués avec des pourcentages de 53,13 et 50% respectivement.

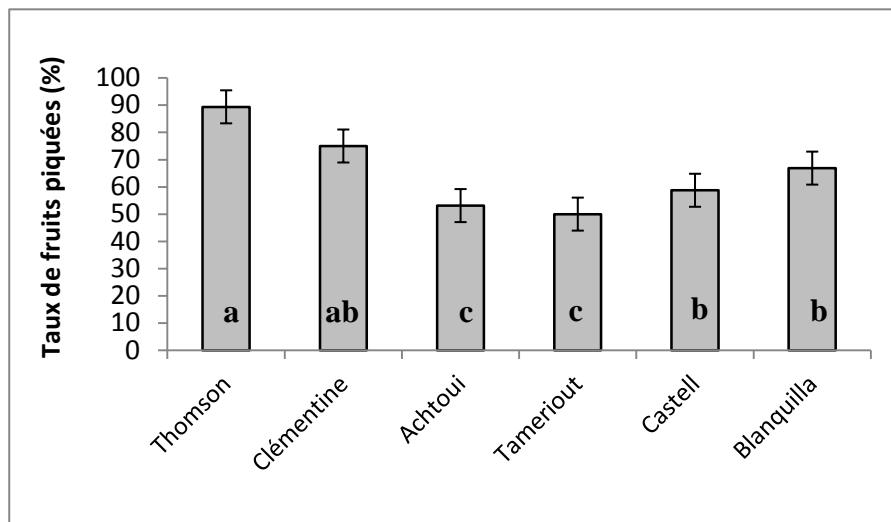


Figure 29 : Taux de fruit piqués selon les variétés fruitières étudiées.

Le test de Kruskal Wallis révèle un effet significatif de la variété sur le taux de fruit piqué ($P = 0.001$). Ce test classe les variétés étudiées en 5 rangs. La variété Thomson est classée dans le rang (a) et la Clémentine dans le rang (ab). Dans le dernier rang (c), nous retrouvons les deux variétés Achtoui et Tameriout avec les plus faibles taux de fruits piqués.

4.2. Nombre de piqûres/fruit

Selon les résultats montrés par la figure 30, la variété Thomson présente le nombre de piqûres le plus élevé de l'ordre de 2.39 piqûres/fruit. Elle est suivie par les deux variétés Clémentine et la variété Castell du poirier avec des moyenne respectives de 1,48 et 1.12 piqûres/fruit. La variété la moins piquée est le figuier Achtoui avec 0,96 piqûres/fruit.

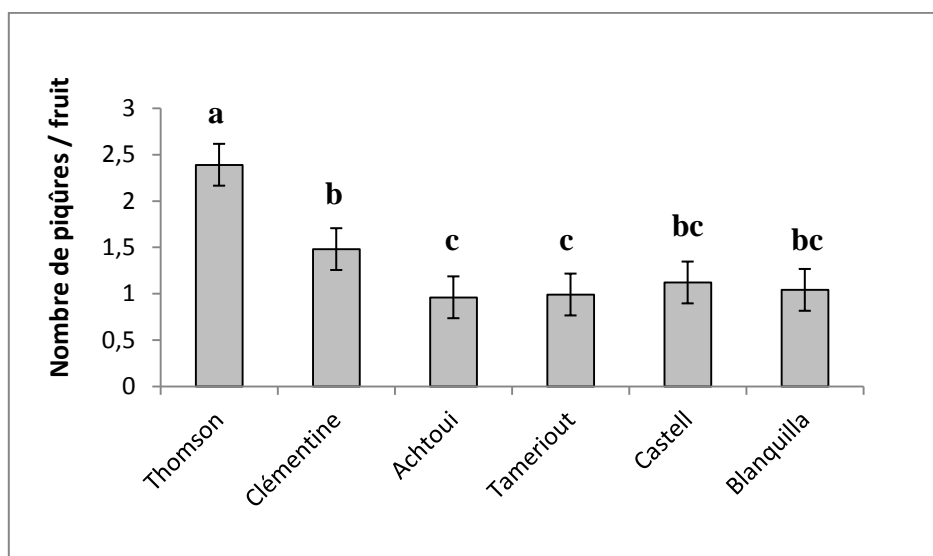


Figure 30 : Nombre moyen de piqûres/fruit selon la variété fruitière.

Le test de Kruskal Wallis révèle un effet significatif de la variété sur le nombre de piqûres/fruit ($P = 0.001$). Le test de Kruskal Wallis classe les variétés étudiées en 4 rangs. La variété Thomson est classée dans le rang (a), la Clémentine dans le rang (b). Par contre, la variété de figuier Achtoui la moins piquée est classée dans le rang (c).

4.3. Nombre moyen de pupes/fruit

Selon les résultats obtenus (figure 31), la variété de figue Tameriout présente le nombre de pupes/fruit le plus élevé de l'ordre de 1,2 pupes/fruit. Elle est suivie par la variété Achtoui qui présente 0,71 pupes/fruit. En revanche, la Clémentine est la moins infestée, elle présente 0,51 pupes/fruit.

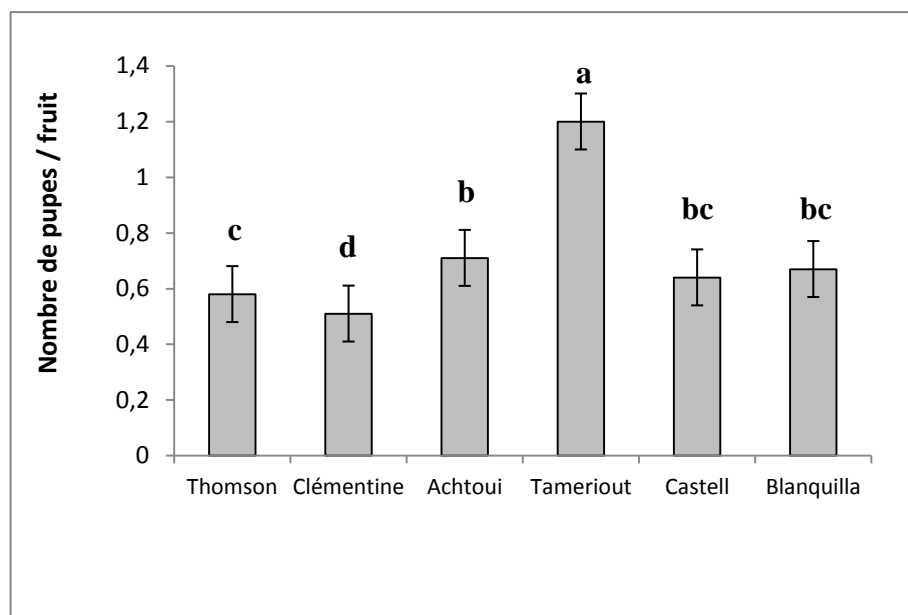


Figure 31 : Nombre moyen de pupes par fruit selon les variétés fruitières étudiées.

Le test de Kruskal Wallis révèle un effet significatif du nombre de pupes/fruit selon la variété ($P = 0,0015$). Ce test classe les variétés étudiées en 5 rangs. La variété Tameriout est classée dans le rang (a) et la Clémentine présente le nombre de pupes le plus faible et est classée dans le rang (d).

L'estimation de l'infestation en fonction du taux de fruit piqué, révèle que la variété de l'orange Thomson présente le taux de fruits piqué le plus élevé, 89,38% de fruits piqués a été enregistré sur cette variété. Elle est suivie par la Clémentine en deuxième position avec un taux de 75%.

La poire Blanquilla occupe la troisième position avec un taux de 66,88%. Les figues de variétés Tameriout et Achtoui présentent les taux les plus faibles de fruits piqués avec des pourcentages de 50 et 53.13% respectivement.

L'étude de l'infestation des fruits en fonction du nombre de piqûres, a montré que la cératite manifeste une préférence pour certaines variétés fruitières. De même, les résultats de l'analyse statistique révèlent que la variété exerce un effet hautement significatif sur le nombre de piqûres/fruit et sur le taux de fruit piqués ($P = 0.001$).

L'estimation de l'infestation en fonction du nombre de piqûres/fruit des variétés étudiées, révèle que la Thomson est la plus piquée avec un nombre moyen de piqûres égale à 2.39 piqûres/fruit. Elle est suivie par la variété Clémentine et la variété Castell du poirier. Les deux variétés de figue, Achtoui et Tameriout sont les moins piquées.

Par conséquent, Sampaio et *al.* (1984) et Quillici (1993) ont rapporté que l'attractivité exercée par les différentes variétés serait due aux composés volatils émis bien avant la maturation des fruits telle que les oranges Thomson et la Clémentine. Ces composés représentent des stimuli olfactifs pour la cératite.

Par ailleurs,, Dhoubi et *al.* (1995) ont noté que les paramètres chimiques des plantes tels que la nature des substances volatiles et la teneur en huiles essentielles de l'écorce du fruit pourraient jouer un rôle remarquable dans l'attraction ou la répulsion du ravageur. Cela peut expliquer, en partie, nos résultats sur les figues. Leurs écorces, plus au moins épaisse avant maturité plus la présence du latex, riche en composés chimiques, font de ces fruits les moins infestés par la cératite.

Nos résultats sont très proches à ceux de Katsoyannos (1986), Papadopoulos (2001) et Bachi & Ali Ahmed Sadoudi (2018) qui ont constaté que les adultes de la cératite sont attirés par les fruits les plus volumineux. De même, Papaj & Opp (1989) ont déduit que le volume des fruits joue un rôle dans le taux d'infestation.

Selon Ali Ahmed Sadoudi (2007), les variétés les plus infestés sont celles caractérisées par des fruits aux couleurs vives. Ce qui est en accord avec nos résultats car les variétés les plus piquées sont la Thomson, la Clémentine, suivis par les deux variétés de poire Blanquilla et Castell qui présentent à leur tour des couleurs de fruits plus claire.

Les deux variétés de poire Blanquilla et Castell ont présenté des taux moyens de fruits piqués de 66,88 et 58,75 % respectivement. Les poires sont des fruits sucrés à chaire souple et la finesse de ses épidermes facilite la tâche aux femelles au moment de la pique et la ponte. D'après Fahad et *al* (2013), les poires représentent l'hôte préférentielle pendant la saison automnale au Maroc.

Pour le taux d'infestation en fonction de pupes par fruit, nos résultats révèlent que le nombre de pupes/fruit varie de manière hautement significative selon la variété ($P = 0.0015$), on constate ainsi que les variétés de figue Tameriout, Achtoui et la poire Blanquilla ont donné un nombre important de pupes, avec des moyennes de 1,2 ; 0.71 et 0.67 de pupes/fruit pour Tameriout, Achtoui et Blanquilla respectivement.

Les deux variétés d'agrumes, Thomson et la Clémentine ont donné les moyennes de pupes par fruit les plus faibles enregistrant respectivement 0,58 et 0,51 de pupes/fruit.

Les poires semblent, donc, être des hôtes préférentiels pour la cératite ; en effet, les rosacées à pépin sont classées parmi les hôtes les plus attaquées en Méditerranée.

Au Maroc, la cératite est considérée comme ravageur principal de poires (Fahad et *al.*, 2013). En Algérie, Laamari et Talbi (2015) ont souligné l'émergence de *C. capitata* sur les rosacées à pépin, principalement sur le pommier, devenant ainsi une sérieuse menace pour ces espèces fruitières.

Les conditions climatiques jouent aussi un rôle très important dans le développement larvaire de la cératite. Ceci est confirmé par nos résultats obtenus, car les agrumes arrivent à maturité durant une période froide (de Novembre à Décembre) avec une température maximale qui est autour de 15°C ; alors qu'en Août-Septembre, période de récolte des poires, la température moyenne optimale favorise le développement larvaire à l'intérieur du fruit.

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de Bachi (2018), qui a rapporté que les fruits d'été et d'automne sont les plus appréciées par la cératite.

En outre, nous avons enregistré que la moitié des piques sur agrumes ne sont pas destinées aux pontes. Ces piques, selon Gilmour (1968), sont destinées à l'alimentation des adultes de la cératite, permettant à l'adulte d'emmagasiner de l'acide citrique pour être utilisé en hiver dans le métabolisme de l'insecte.

5. Influence de la variété fruitière sur quelques paramètres biologiques de la cératite

5.1. Durée de pupaison

Selon les résultats de la figure 32, la variété Thomson présente la durée de pupaison la plus longue avec une moyenne de 16,74 jours. Elle est suivie par la clémentine qui présente une durée de pupaison de 15,72 jours. Les variétés de poire Castell et Blanquilla présentent les durées de pupaison les plus courtes avec des moyennes de 7,83 et 8,87 jours respectivement.

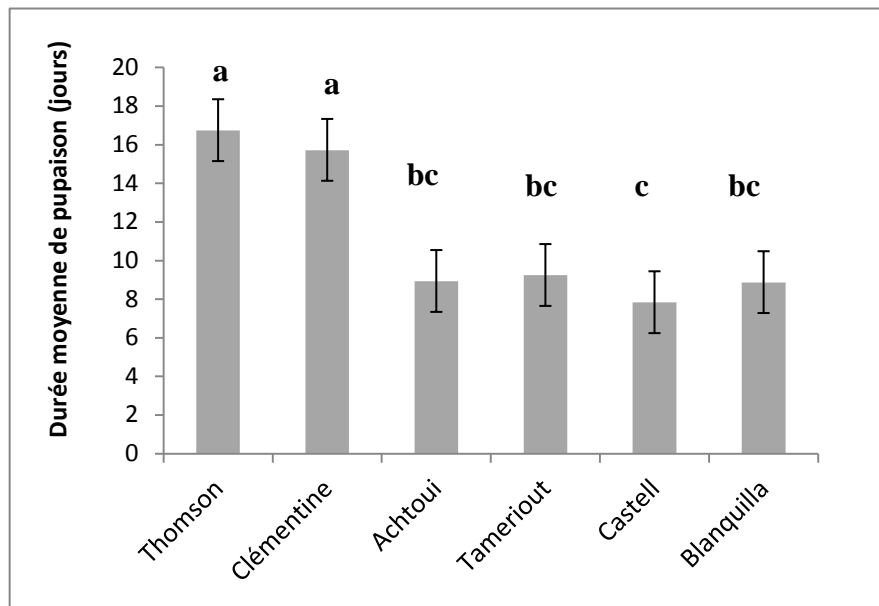


Figure 32 : Durée moyenne de pupaison selon les variétés.

Le test de Kruskal Wallis révèle que la variété a un effet significatif sur la durée de pupaison ($P = 0,00$) et classe les variétés étudiées en 3 rangs. Les variétés Thomson et la Clémentine sont classées dans le rang (a) les deux variétés de figue Achtoui et Tameriout et la variété de poire Blanquilla sont classées dans la rang (bc). La variété de Poire Castell présente la durée de pupaison la plus courte et est classée dans le dernier rang (c).

Ali Ahmed Sadoudi (2007) a enregistré, sur l'orange Thomson, une durée de pupaison proche de celle que nous avons obtenu ; elle est de 18 jours à 15°C et 72,86% d'humidité relative. Nos résultats se joignent aussi de ceux de Sadoudi Ali Ahmed et *al.* (2011) et Bachi (2018) qui ont obtenu la plus longue durée de pupaison sur les agrumes, à savoir l'orange Thomson, la clémentine ordinaire et Montréal avec des moyennes qui varient entre 13.6 et 18,33 jours.

Nos résultats concernant la durée de pupaison des pupes issues de la figue Achtoui sont similaires à ceux de Bachi (2018), qui a obtenu une durée de pupaison de 9.6 jours à une température variant entre 25 et 30°C et une humidité de 60 à 70%.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les pupes issues des fruits d'été ont une durée de pupaison plus courte que celles issues des fruits d'hiver. Selon Ali-Ahmed Sadoudi (2007), les pupes issues des fruits d'été ont une durée de pupaison plus courte que les fruits d'hiver. Ceci est en concordance avec nos résultats, car la durée de pupaison des pupes issues des fruits de la saison estivale a atteint une valeur minimale sur la poire Castell qui est de l'ordre 7,83 jours. Cette dernière est récoltée en Aout-Septembre où les températures saisonnières durant ces mois accélèrent le phénomène de pupaison.

5.2. Taux d'émergence

D'après les résultats illustrés dans la figure 33, la variété de poire Castell présente le taux d'émergence le plus élevé qui est de 75%. Elle est suivie par la variété Blanquilla qui présente 68,06% d'émergence et la variété de figue Achtoui avec 66.67%. Les variétés d'agrumes Thomson et la Clémentine présentent, quant à elles, les taux d'émergences les plus faibles estimés à 48,19 et 57,38% respectivement.

Le test de Kruskal Wallis révèle que la variété a un effet significatif sur le taux d'émergence ($P = 0.001$) et classe les variétés étudiées en trois groupes. Les variétés Castell, Blanquilla et Achtoui sont classées dans le rang (a). Les variétés Clémentine et Thomson présentent les taux d'émergences les plus faibles et sont classées dans les groupe (ab) et (b) respectivement.

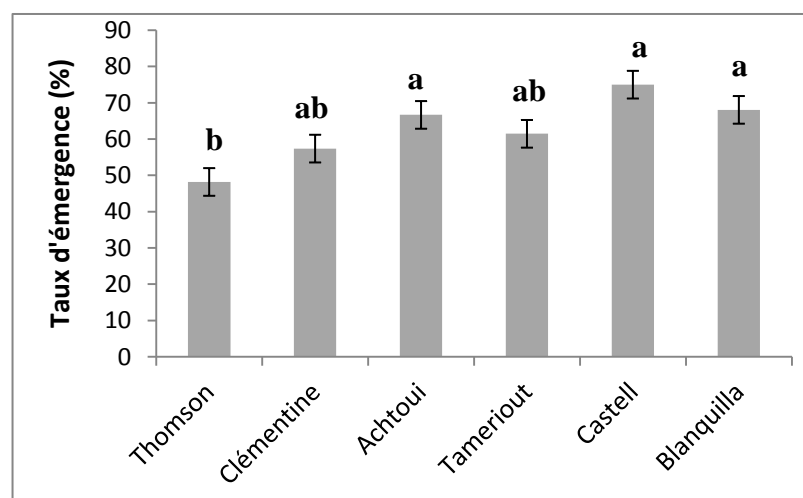


Figure 33 : Taux moyen d'émergence d'adulte selon les variétés fruitières étudiées.

A partir des résultats obtenus, nous avons constaté que sur 0,64 pupes/fruit récupéré des fruits de la poire Castell, 75% ont donné des adultes. Contrairement à la variété Thomson, qui a donné 0,58 pupes/fruit et seulement 48.19% ont donné des adultes.

Il ressort de ces résultats que la variation du taux d'émergence des pupes de la cératite peut s'expliquer par la qualité nutritive des fruits réceptifs ainsi que la densité de larves au sein des fruits. Ali Ahmed Sadoudi et *al.* (2011) ont rapporté que le taux d'émergence d'adulte de *C. capitata* est fortement lié la teneur en protéines dans les fruits réceptifs. Les facteurs climatiques favorables, sont aussi optimaux pour des émergences complètes des adultes. En effet, Croveti et *al.* (1984) ont montré que les pupes sont très sensibles à la température ambiante, celle-ci influence la durée et la vitesse de leur développement ainsi que le taux de mortalité de pupes.

Sur les variétés d'agrumes, Clémentine et Thomson, nous avons enregistré des taux d'émergence des adultes les plus faibles par rapport aux fruits d'été. Ils sont de 57,38 et 48.19% respectivement. Ces résultats sont proches de ceux d'Ali Ahmed Sadoudi (2007) qui a obtenu des taux d'émergences de 16,65 et 6,66% respectivement sur les deux variétés d'agrumes Thomson et Moro, et a ceux de Bachi (2018) qui a obtenue 39,8 et 34% pour la Clémentine et Thomson respectivement. Ces derniers sont inférieurs aux taux d'émergence des deux variétés de pêche Redhaven et Cardinal (fruits d'été) enregistrés par ces même auteurs.

Nous supposons donc que l'acidité de ces agrumes ainsi que la présence des huiles essentielles dans leur écorce entraînent une forte mortalité larvaire qui se traduit par des émergences incomplètes (Soria, 1963 ; Delrio, 1985 ; Loussert, 1989 et Dhouibi et *al.*, 1995).

Sur les variétés de figue Achtoui et Tameriout, le taux d'émergence des adultes de la cératite est respectivement de l'ordre de 66.67 et 61.46% à partir de 0,71 et 1.2 pupes/fruit que nous avons récupéré. Nos résultats sont assez éloignés avec ceux d'Ali Ahmed Sadoudi (2007) qui a obtenu, à partir de 0,79 pupes/fruit, un taux d'émergence de 48% sur la figue noire Azenjar ; nos données sont aussi différentes avec ceux de Bachi (2018) qui a obtenu, à partir de 0,53 pupes/fruit, un taux d'émergence de l'ordre de 39,4%. Cette différence peut être, fort probablement, due à la différence des conditions du climat d'une région à l'autre.

5.3. Sex-ratio

Les résultats présentés dans la figure 34 révèlent que le sex-ratio des mouches varie de 0,48 jusqu'à 0,64. Pour les deux variétés Castell et Achtoui, le sex-ratio est en faveur des femelles avec des valeurs respectives de 0,64 et 0,63. Il est de 0,54 ; 0,57 et 0,59 pour les variétés Tameriout, Clémentine et Blanquilla respectivement. Pour la variété Thomson la sex-ratio est proche de l'équilibre avec une valeur de 0,48.

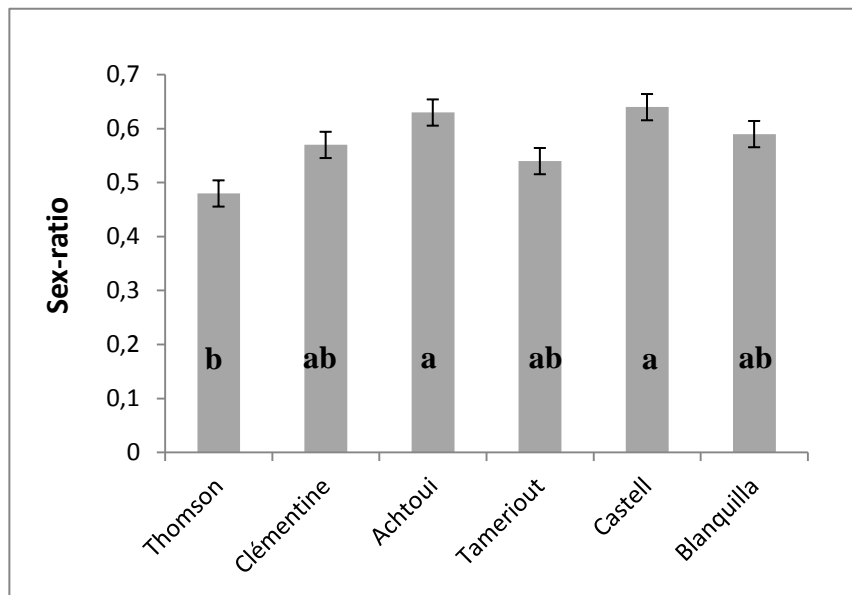


Figure 34 : Sex-ratio moyen des adultes de *C. capitata* selon les variétés étudiées.

Le test de Kruskal Wallis révèle que la variété a un effet hautement significatif sur la sex-ratio ($P = 0,0001$) et classe les variétés étudiées en 3 rangs. Les variétés Castell et Achtoui sont classées dans le rang (a), les trois variétés Blanquilla, Clémentine et Tameriout sont classées dans le groupe (ab). Quant à la variété Thomson, elle est classée dans le dernier groupe (b).

Le sex-ratio est un indicateur important pour évaluer l'évolution d'une population ; il ressort de nos résultats que ce sex-ratio obtenue est compris entre 0,48 et 0,64.

Les résultats de l'analyse statistique révèlent que le sex-ratio varie de manière hautement significative selon les variétés. Nos résultats sont similaires à ceux d'Ali-Ahmed Sadoudi (2007) et de Bachi (2018) qui rapportent que la variété fruitière agit sur le sex-ratio.

Le sexe ratio est en faveur des femelles pour les adultes issus de la variété de poire Castell et de la figue Achtoui atteignant respectivement 0,64 et 0,63. Ces résultats concordent avec ceux d'Ali Ahmed Sadoudi (2007) et Bachi (2018) qui ont obtenues un sex-ratio en faveur des femelles pour les mouches issues de la pêche Redhaven et la figue Achtoui.

D'après les résultats d'Albajes et Santiago Alvarez (1980), la proportion des sexes est en faveur des femelles à la plus haute température. Ali Ahmed Sadoudi (2007) et Bachi (2018) sont parvenues à la même conclusion. Ce qui est en accord avec nos résultats puisque nous avons noté un sex-ratio en faveur des femelles sur la majorité des variétés d'été.

Pour la Thomson, le sex-ratio est inférieure à 0,5. Il est proche de l'équilibre avec une valeur de 0.48. Ces résultats se rapprochent de ceux d'Ali Ahmed Sadoudi (2007) qui a obtenu, sur l'orange Thomson et la Cardinal, une valeur inférieure à 0,5 et concordent aussi avec ceux de Bachi (2018) qui a obtenu un rapport inférieur à 0,5 sur la Thomson, la Cardinal et la Valentia late.

D'après nos résultats, nous avons constaté que le sex-ratio est en faveur des femelles sur les variétés fruitières qui ont permis des taux d'émergence les plus élevés, cas de la poire Castell. Ces mêmes résultats ont été enregistrés par Ali Ahmed Sadoudi (2007) et Bachi (2018).

Par ailleurs, il faut noter que lorsque le sex-ratio est en faveur des femelles, il est profitable pour l'espèce car il entraîne un maximum d'accouplements dans la population. D'après, Causse (1974), ceci s'expliquerait par une très forte motivation sexuelle des mâles.

5.4. Longévité des adultes

D'après les résultats représentés dans la figure 35, la longévité des femelles varie de 14,82 jours sur la Clémentine à 26,56 jours sur la variété de figue Achtoui. La longévité des mâles varie de 16,52 jours sur la variété Thomson à 20,73 jours sur la figue Achtoui. Globalement, la longévité des femelles de la cératite est supérieure à celles des mâles sur toutes les variétés étudiées.

L'analyse de la variance à un facteur de classification au seuil de 5% montre une différence très hautement significative pour le facteur longévité des femelles selon la variété ($P = 2.42e^{-41}$).

Le test de Newman et Keuls classe la longévité des femelles selon la variété en quatre groupes homogènes. Dans le groupe (a) est classée la variété de figue Achtoui et dans le dernier groupe (c) est classée la Clémentine.

L'analyse de la variance au seuil de 5% montre une différence hautement significative pour le facteur longévité des mâles selon la variété ($P = 5,19e^{-11}$).

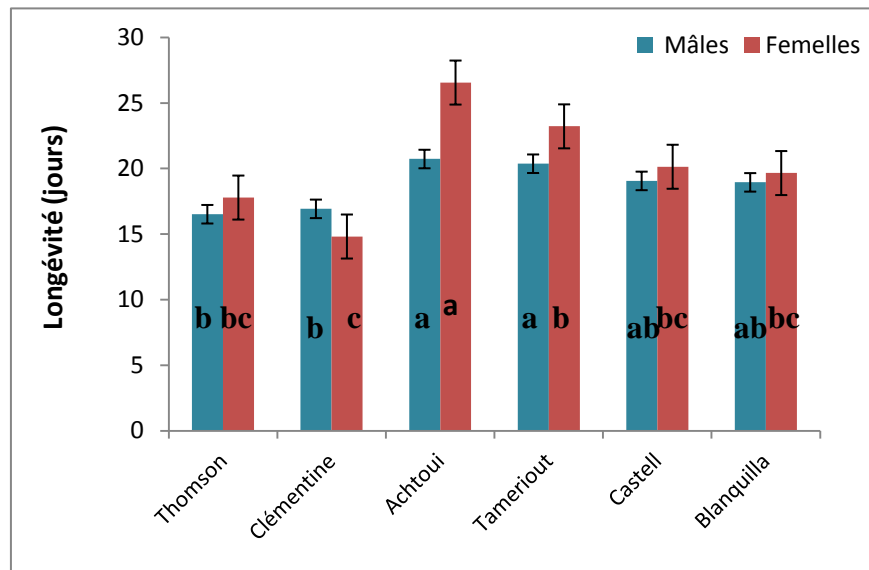


Figure 35 : Longévité des mâles et des femelles de *C. capitata* selon les variétés.

Le test de Newman et Keuls classe la longévité des mâles selon la variété en trois groupes homogènes. Les variétés de figues Achtoui et Tameriout sont classés dans le groupe (a) et dans le dernier groupe (b) sont classées les variétés d'agrumes Thomson et la Clémentine.

Les résultats obtenus montrent que la longévité des mâles et des femelles varie de manière hautement significative selon les variétés étudiés. La longévité moyenne la plus élevée des femelles est de 26,56 jours. Elle est enregistrée sur la variété de figue Achtoui. La longévité des femelles la plus courte est enregistrée sur la Clémentine.

Pour les mâles, la longévité la plus élevée est enregistré sur la figue noire Achtoui. Par contre, la longévité la plus courte est enregistrée sur la Thomson. Cette différence de longévité peut être expliquée par la variation et la disponibilité des nutriments dans les fruits réceptifs et par les conditions climatiques favorables à l'émergence, au développement et à la survie des adultes de la cératite.

D'après nos résultats nous avons constaté que les femelles de la cératite vivent plus longtemps que les mâles, ce qui est en accord avec les résultats d'Ali Ahmed Sadoudi (2007) et de Bachi (2018), qui rapportent que les femelles de la cératite vivent plus longtemps que les mâles sur certaines variétés et que la longévité semble dépendre aussi des facteurs du climat.

**Chapitre II : Essais d'efficacité des
champignons entomopathogènes sur
*C. capitata***

Chapitre 2 :

Essais d'efficacité des champignons entomopathogènes sur *C. capitata*

1. Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes

1.1. Caractérisation morphologique de *Metarhizium anisopliae*

Les colonies de *M. anisopliae* étaient de nature poudreuse, avec une coloration blanche pour les colonies les plus jeunes et verte pour les colonies les plus anciennes. Le dessous de ses colonies était lisse de couleur jaunâtre.

Les conidies sont monocellulaires, cylindriques avec des extrémités arrondies. Les cellules conidiogènes sont considérées comme des phialides. De couleur blanche, elles deviennent vertes (Figure 36).

1.2. Caractérisation morphologique de *Verticillium lecanii*

Les colonies de *V. lecanii* présentent une pigmentation blanche ou jaune pâle, cotonneux ou velouté, devenant crème à l'aspect farineux. Le mycélium est composé d'hyphes cloisonnés, ramifiés, hyalins ou de couleur claire ; les conidiophores dressés, cloisonnés, simple ou ramifiée.

Les phialides sont formées seules ou en verticilles de 3. La colonie a formé des micro-sclérotés après quelques jours d'incubation à 25°C. Les conidies sont abondantes, ellipsoïdales cylindriques mesurant de 6 µm de longueur. Il n'y avait aucun signe de présence de chlamydospores (Figure 36).

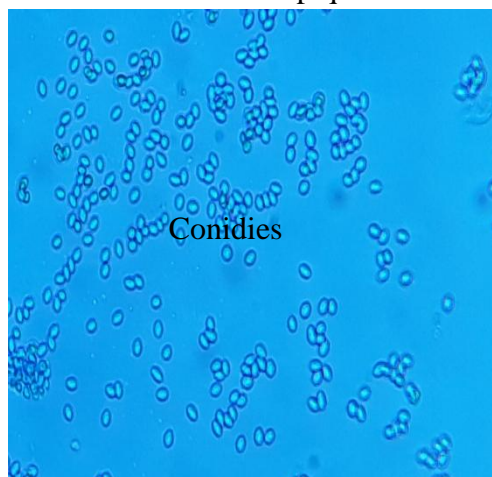
1.3. Caractérisation morphologique de *Paecilomyces fumosoroseus*

La morphologie de la colonie a été caractérisée à l'aide de cultures *in vitro* maintenues sur des milieux SDA. Après une semaine, la culture était floconneuse, poudreuse et apparaisse blanches. Tandis que les cultures plus anciennes qui sporulaient abondamment viraient au gris-rose pâle. Les dessous de ces cultures apparaissaient lisses et jaune pâle. Les conidies étaient cylindriques, à paroi lisses et formé en chaînes sur des conidiophores. La taille de conidie est mesurée de 2.5 µm (Figure 36).

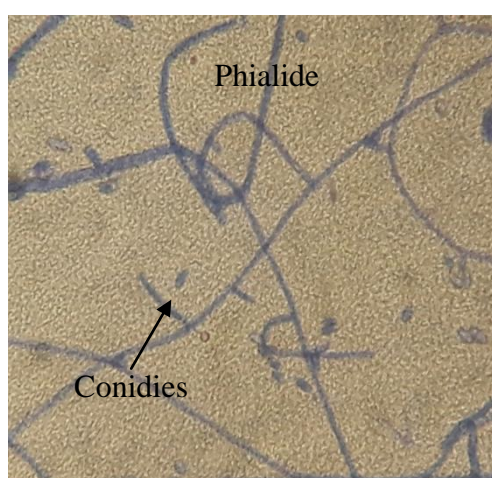
Vue macroscopique



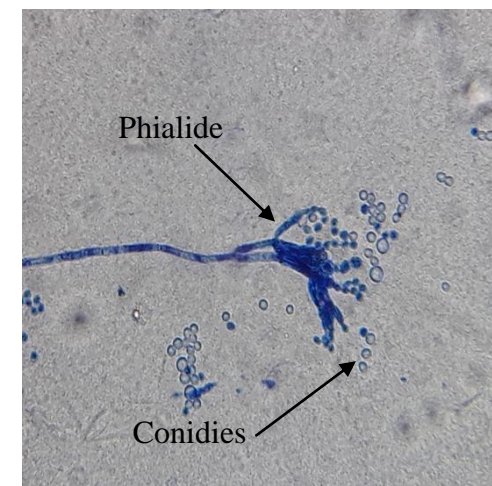
Vue microscopique



Metarhizium anisopliae



Verticillium lecanii



Paecilomyces fumosoroseus

Figure 36: Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes.

2. Caractérisation biologique des isolats de champignons entomopathogènes

2.1. Effet du milieu de culture sur la croissance mycélienne

Les résultats, présentés dans la figure 37, montrent qu'après 8 jours d'incubation, est notée une croissance mycélienne moyenne qui varie entre 7,5 cm sur le milieu Czapek et 8,25 cm sur le milieu PDA pour *M. anisopliae*. La croissance mycélienne de *V. lecanii* a été de 7,73 cm sur le milieu Czapek et 8,33 cm sur le PDA ; alors que pour l'isolat de *P. fumosoroseus*, la croissance moyenne du mycélium a été de l'ordre de 7,65 cm sur le milieu Czapek et de 8 cm sur le milieu PDA. Sur le milieu SDAY, la croissance mycélienne des trois isolats a été de l'ordre de 8.1, 8.05 et 8.26 pour *M. anisopliae* ; *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* respectivement.

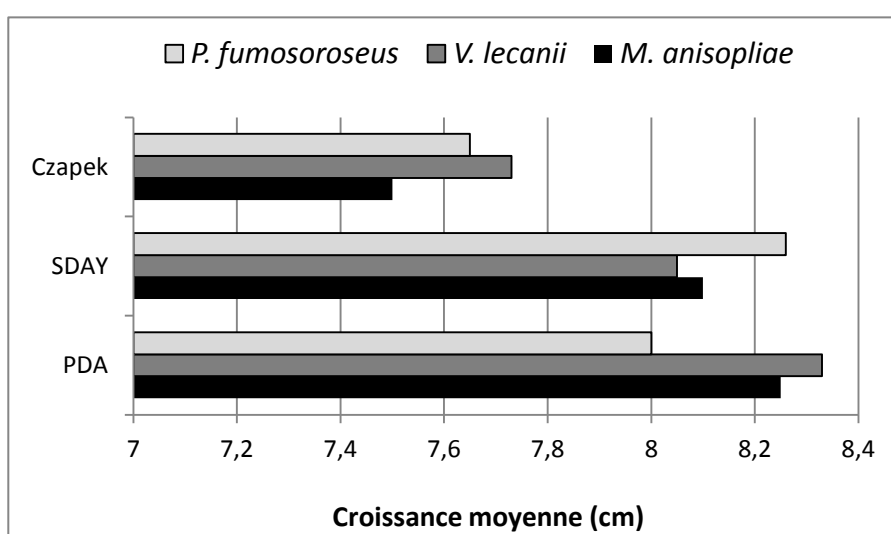


Figure 37 : Croissance mycélienne moyenne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur milieux, PDA, SDAY et Czapek après 8 jours d'incubation.

Le test Kruskal Wallis montre que l'effet de milieu de culture sur la croissance mycélienne moyenne est non significative, $p = 0,77$.

2.2. Effet du pH sur la croissance mycélienne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur milieu PDA

Après 8 jours d'incubation, la croissance mycélienne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur le milieu PDA à divers pH a atteint son maximum. D'après les résultats présentés dans la figure 38, la croissance mycélienne moyenne la plus élevée de l'ordre de 8,2 cm est enregistré à un $\text{pH} = 7$ pour l'isolat de *M. anisopliae*, sur le $\text{pH} = 8.5$ *P. fumosoroseus* a montré la croissance mycélienne la plus faible avec une moyenne de 7.3 cm.

Le pH 4.5 a permis des croissances moyennes qui varient entre 6.93 cm comme moyenne la plus faible pour *M. anisopliae* ; 7,32 cm pour *V. lecanii* et 7,12 cm pour l'isolat de *P. fumosoroseus*.

L'analyse de la variance montre que la croissance mycélienne moyenne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* dans le milieu PDA varie de façon très hautement significative selon le pH du milieu, $P= 2,87 \times 10^{-6}$. Le test de Newman et Keuls, fait apparaître deux groupes homogènes. Dans le groupe (a), est classé le pH : 7 et le groupe (ab) regroupe les pH : 4.5 et pH : 8.5.

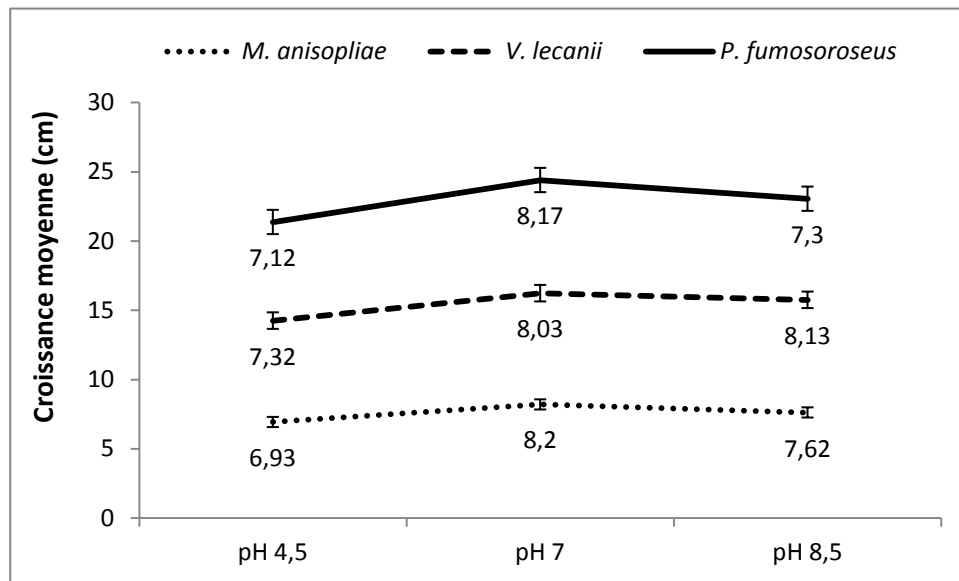


Figure 38 : Croissance mycélienne moyenne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur le milieu PDA en fonction du pH après 8 jours d'incubation.

2.3. Effet de la température sur la croissance mycélienne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur milieu PDA

La variation de la croissance mycélienne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* à différentes températures est très remarquable. Au bout du 8^{ème} jour de croissance sur le milieu PDA, les résultats que nous avons obtenus (figure 39) montrent que les meilleures moyennes de croissance sont observées à la température 25°C avec 8.13, 8.33 et 8.42 cm pour *P. fumosoroseus*, *V. lecanii* et *M. anisopliae* respectivement.

La température extrême la plus basse 5 °C a permis d'avoir une moyenne de croissance diamétrale de l'ordre de 0,8 cm pour les deux isolats de *M. anisopliae* et *P. fumosoroseus* et 0,5 cm pour *V. lecanii*.

Cependant, la température 10°C a permis d'avoir une croissance mycélienne moyenne qui varie de 5.53 à 6.7 cm pour *V. lecanii* et *M. anisopliae* respectivement.

L'analyse de la variance, montre que la croissance mycélienne moyenne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* dans le milieu PDA varie de façon très hautement significative selon la température d'incubation, $P= 5,95 \times 10^{-5}$.

Le test de Newman et Keuls, fait apparaître quatre groupes homogènes. Dans le groupe (a), est classée la température 25°C et dans le groupe (d), nous avons la température 5°C.

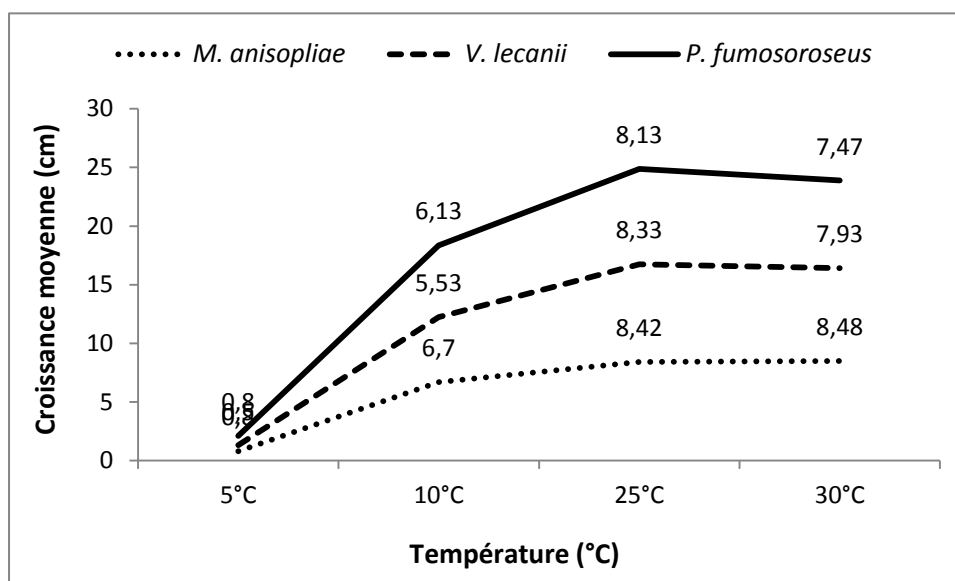


Figure 39 : Croissance mycélienne moyenne de *M. anisopliae*, *V. lecanii* et *P. lilacinus* sur le milieu PDA en fonction de la température après 8 jours d'incubation.

2.4. Sporulation de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur milieu PDA

Les résultats que nous avons obtenus (Figure 40) montrent que le milieu PDA est favorable à la sporulation de *M. anisopliae* avec une moyenne de $3,47 \times 10^6$ conidies/ml, suivi par *V. lecanii* avec une moyenne de $2,5 \times 10^6$ conidies/ml. Cependant, pour l'isolat de *P. fumosoroseus*, la plus faible moyenne de sporulation enregistrée est de l'ordre de $1,49 \times 10^6$ conidies/ml.

Le test Kruskal Wallis montre que l'effet de milieu de culture PDA sur la sporulation des trois isolats *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* est significative, $p = 0,02$. Le test de Dunn fait apparaître 3 groupes homogènes. Dans le groupe (a), est classée *M. anisopliae* et dans le groupe (ab), nous avons l'isolat de *V. lecanii*. Alors que *P. fumosoroseus* est classé dans le dernier groupe (b).

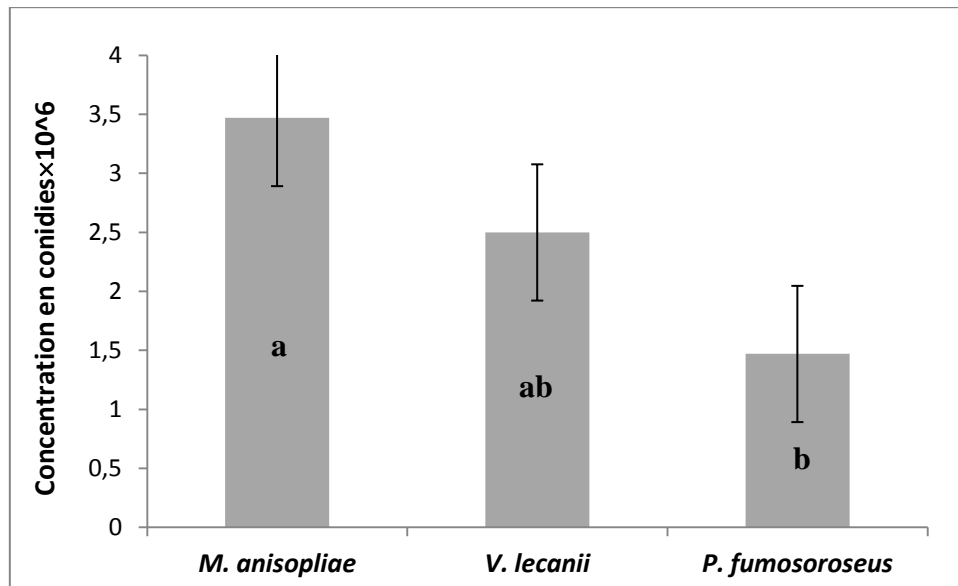


Figure 40 : Sporulation moyenne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur milieu PDA après 8 jours d'incubation.

2.5. Viabilité des spores de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur milieu PDA

Les résultats de la germination des spores (Figure 41) montrent que *M. anisopliae* et *V. lecanii* ont présenté les taux de germination les plus élevés avec une moyenne de 95.33 ± 4.51 et 85.67 ± 4.04 respectivement. Cependant, *P. fumosoroseus* a présenté le taux de germination de spores le plus faible avec une moyenne de 73.33 ± 9.09 .

L'analyse de la variance, montre que la germination moyenne des spores de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur le milieu PDA varie de façon très hautement significative selon l'espèce du champignon, $P = 0.014$. Le test de Newman et Keuls, fait apparaître 3 groupes homogènes. Dans le groupe (a), est classée *M. anisopliae* ; *V. lecanii* est classé dans le groupe (ab), et nous avons *P. fumosoroseus* dans le groupe (b).

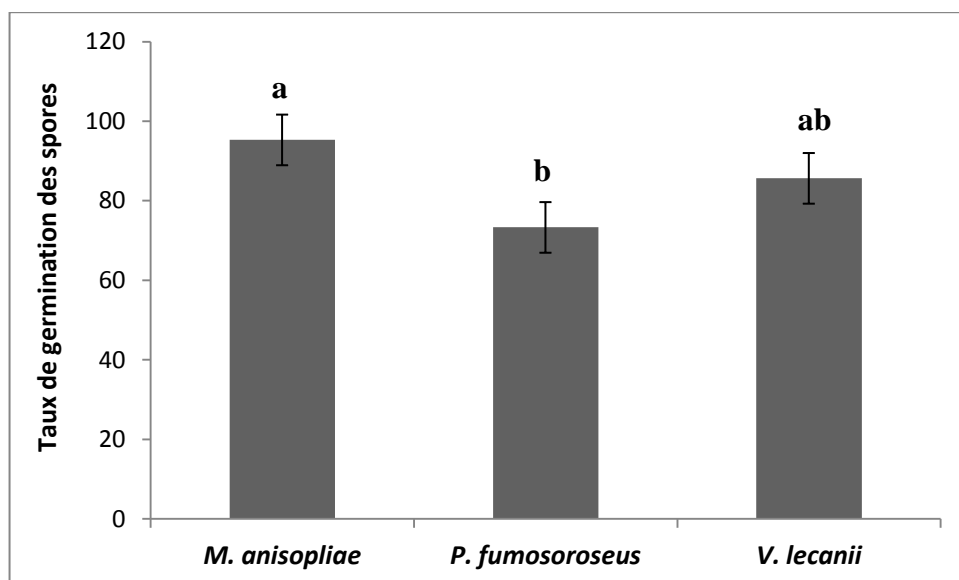


Figure 41 : Germination moyenne de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* sur milieu PDA après 24 h d'incubation (culture sur lame).

3. Discussion

Nos résultats ont montré que *M. anisopliae*, *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* croissent sur les trois milieux de culture PDA, SDAY et Czapek. Ces résultats sont similaires à ceux notés par Robl et al (2009) qui rapportent que *P. fumosoroseus* est capable de se développer sur une large gamme de milieux de culture et à ceux signalé par Kamp et Bidochka (2002) qui ont trouvés que *M. anisopliae* et *V. lecanii* ont une bonne croissance mycélienne sur différents milieux de culture.

Quant à la sporulation, nous avons constaté que *M. anisopliae* sporule mieux que *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* sur le milieu PDA. Le milieu PDA a été utilisé par plusieurs auteurs comme milieu nutritif induisant une meilleure production de spores et un bon développement mycélien (Yasser et al., 2000; Kamp et Bidochka, 2002; Robl et al., 2009). Par ailleurs, *M. anisopliae* a présenté le taux de germination le plus élevé, suivi par *V. lecanii* et *P. fumosoroseus*. D'autre part, Alavo et al (2002) indiquent que la sporulation et la germination des conidies jouent un rôle important dans la capacité des champignons à pénétrer et à infecter avec succès les insectes ravageurs.

Les résultats obtenus concernant l'effet du pH sur la croissance mycélienne, montrent que *M. anisopliae*, *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* tolèrent bien les variations de pH. La production de mycélium est bonne entre pH 4,5 et pH 8.5.

Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Hallsworth et Magan (1996), qui ont prouvé que *M. anisopliae* et *P. farinosus* se développent dans une gamme de pH comprise entre 5 et 8. De même, nos résultats s'accordent avec ceux de Gulsar Banu et al., (2006) qui constatent que le pH=7 est optimal pour la croissance mycélienne de *P. fumosoroseus*.

Nos résultats sont aussi assez proche de ceux de Beyer et al., (1997) qui ont constaté que *V. lecanii* tolère un pH qui varie entre 5 et 9 et qui ont déduit que le pH 7 est optimal pour la croissance de *V. lecanii*. De plus Vu et al (2008), ont aussi prouvé qu'un pH variant entre 5.5 et 6 est optimal pour une meilleure croissance et production de spores pour *V. lecanii*.

Concernant l'effet de la température sur la croissance mycélienne, les résultats obtenus montrent que la croissance de *M. anisopliae*, *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* est meilleure entre 25 et 30°C ; elle est optimale à 25°C. Ces résultats corroborent avec les résultats de Kiewnick (2006) qui a déduit que la température optimale de développement de *P. fumosoroseus* est comprise entre 24 et 30°C. Il a aussi constaté que ce champignon pousse à 5°C mais non au-delà de 36°C. De plus, Selon Tabuc (2007), en dehors de l'intervalle de température compris entre 20 et 25°C, les hyphes se développent lentement.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Yeo et al (2003) qui ont trouvé que la croissance optimale de *M. anisopliae* et *V. lecanii* est entre 20 et 25 °C. Ouedraogo et al (1997) ont aussi prouvé que la croissance mycélienne de *M. anisopliae* est optimale à 25 °C.

4. Effet bioinsecticide des suspensions conidiennes de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* et *V. lecanii* à l'égard des stades immatures de *C. capitata*

4.1. Taux de mortalité larvaire

La mortalité moyenne des larves après leur immersion dans les suspensions conidiennes était significativement plus élevée que celle des témoins (Figure 42). Le pourcentage moyen de mortalité larvaire de *C. capitata* traité avec différentes concentrations de champignons a montré une augmentation significative de la mortalité (valeur $p < 0,05$) d'une manière dépendante de la concentration (Figure 42 ; Annexe 4 : Tableau 1).

M. anisopliae a provoqué les pourcentages les plus élevés de mortalité du troisième stade larvaire qui se situaient entre 10 et 56,67% à 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml respectivement. Le taux de mortalité semblait augmenter avec la concentration. De même, *V. lecanii* s'est classé deuxième avec 6,67 et 46,67% de mortalité larvaire à 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml, respectivement.

Inversement, *P. fumosoroseus* a provoqué le plus faible pourcentage de mortalité larvaire allant de 6,67 à 30 % à 1×10^6 et 1×10^8 conidies/ml respectivement.

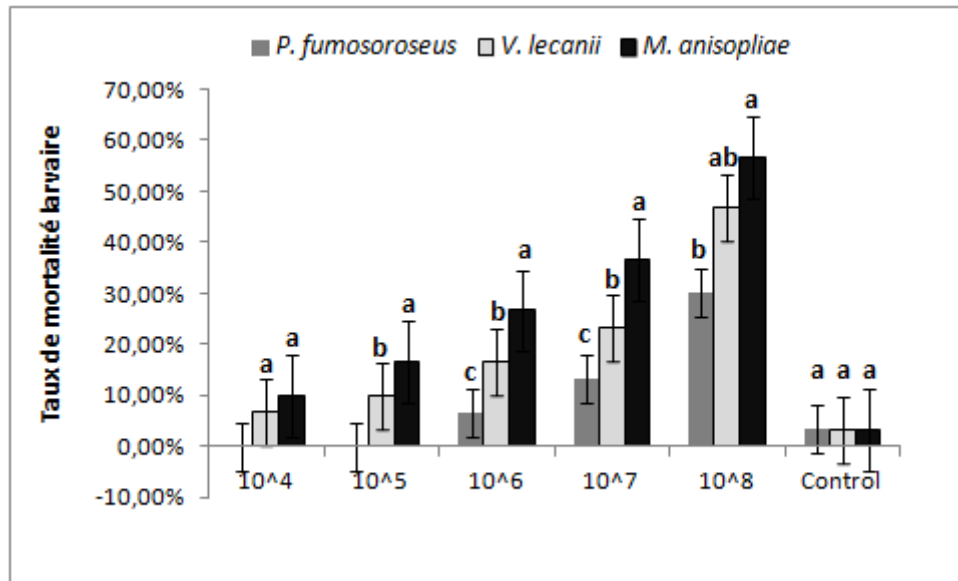


Figure 42 : Pourcentage moyen de mortalité de troisième stade larvaire de *Ceratitis capitata* traité avec différentes concentrations de *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. fumosoroseus*. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence de sensibilité larvaire entre les champignons entomopathogènes à la plus faible concentration, mais seulement pour *M. Anisopliae* et *V. lecanii* à la dose de 1×10^4 (Figure 42). Cependant, à des concentrations élevées, *M. Anisopliae* et *V. lecanii* ont provoqué une plus grande mortalité que *P. fumosoroseus*. Les concentrations les plus faibles de 1×10^4 et 1×10^5 chez les larves traitées par *P. fumosoroseus* n'ont provoqué aucune mortalité larvaire (Figure 42 ; Annexe 4 : Tableau 1).

Les concentrations sublétales ; LC10, LC30, et les concentrations létales ; LC50 et LC90 des 3 champignons entomopathogène ont montré que *M. Anisopliae* s'est classé en tête, causant la mortalité des larves de fin de troisième stade, suivi par *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* (Tableau 11 ; Annexe 6 : Figures 1, 2, 3).

Tableau 11. Toxicité de *M. anisopliae*, *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* au troisième stade larvaire et au stade nymphal de *Ceratitis capitata*.

Stade	LC10	LC30	LC50	LC90	Slope ± SE	P
	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml		
<i>M. anisopliae</i>						
3ème stade larvaire	1.12×10^7	3.98×10^7	9.55×10^7	7.94×10^8	1.386 ± 0.503	0.111
Pupe	1.78×10^{21}	4.27×10^{23}	1.78×10^{25}	1.78×10^{29}	0.323 ± 0.052	0.009
<i>V. lecanii</i>						
3ème stade larvaire	3.39×10^{14}	3.36×10^{16}	7.76×10^{17}	1.82×10^{21}	0.375 ± 0.063	0.027
Pupe	1.48×10^{32}	3.02×10^{35}	4.79×10^{37}	2×10^{43}	0.222 ± 0.030	0.005
<i>P. fumosoroseus</i>						
3ème stade larvaire	7.24×10^{16}	1.07×10^{19}	3.2×10^{20}	1.48×10^{24}	$0,354 \pm 0.021$	0.000
Pupe	4.27×10^{39}	4.27×10^{43}	2.34×10^{46}	1.29×10^{53}	0.194 ± 0.022	0.003

4.2. Susceptibilité des pupes de *C. capitata*

D'après les résultats présentés dans la figure 43, le témoin n'a pas de pupes malformées. En effet, *P. fumosoroseus* a semblé être supérieur en causant la malformation des pupes en enregistrant les pourcentages moyens les plus élevés de pupes malformées de 53,33% à 1×10^4 conidies/ml. D'autre part, *V. lecanii* a causé 13-20% de malformation des pupes à 1×10^8 et 1×10^5 respectivement. Cependant, *M. Anisopliae*, a montré les plus faibles pourcentages de malformation des pupes qui ont varié entre 6,67 et 13% sans aucun effet de l'augmentation de la concentration fongique sur la malformation des pupes (Annexe 4 : Tableau 2).

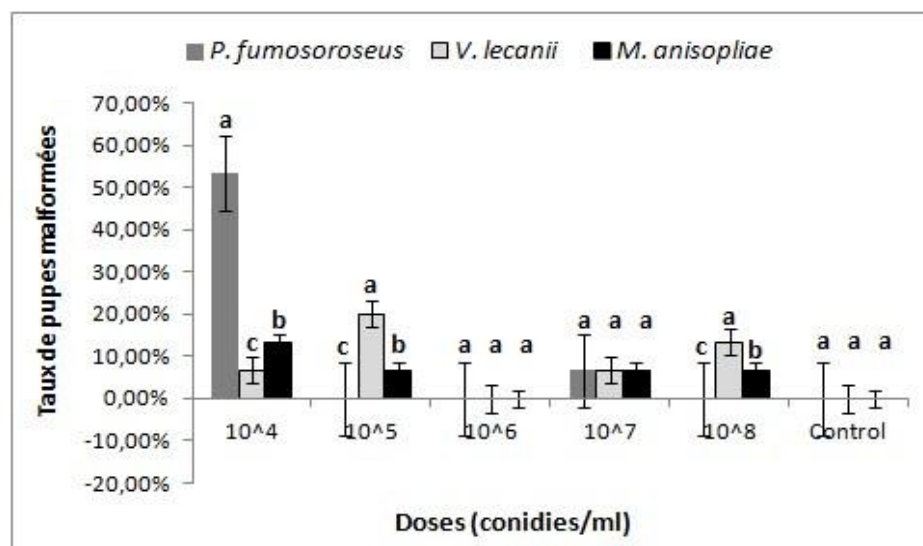


Figure 43 : Taux de pupes mal formées de *C. capitata* en fonction des différentes doses des suspensions conidiennes de *M. anisopliae*, *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* après 48 heures de traitement.

Le test de Tukey montre une différence significative du taux de pupes malformées suivant les différentes doses des suspensions conidiennes ($P = 0.002$).

Les pupes issues des larves traitées étaient sensibles à tous les champignons testés (Figure 44). *M. anisopliae* a causé une mortalité pupale de 70,83 et 91,67 % aux concentrations de 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml, respectivement ; alors que *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* ont enregistré des mortalités de l'ordre de 71,43-83,33% et 64,29-71,43% de pupes issue de larves traitées, respectivement aux concentrations de 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml. Chez les pupes issues des larves traitées, tous les champignons ont augmenté la mortalité à mesure que la concentration augmente (Annexe 5 : Tableau 1).

Les trois espèces fongiques étaient pathogènes pour les pupes de *C. capitata*, la mortalité moyenne des pupes après leur immersion dans les suspensions conidiennes était significativement plus élevée que celle des témoins (Figure 45) ; *M. anisopliae* a montré le taux de mortalité le plus élevé, allant de 30 à 80 % à 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml respectivement. Les pupes traitées par *V. lecanii* ont enregistré un taux de 36,67 à 70% de mortalité.

Contrairement aux larves de troisième stade, *P. fumosoroseus* a montré une plus grande activité sur les pupes et a entraîné une mortalité pupal qui varie entre 33,33 et 63,33 % à 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml respectivement. Chez les pupes traitées, tous les champignons ont augmenté la mortalité à mesure que la concentration augmentait (Annexe 5 : Tableau 2). Les taux de mortalité des pupes traitées ont été comparés à la même concentration (Figure 45).

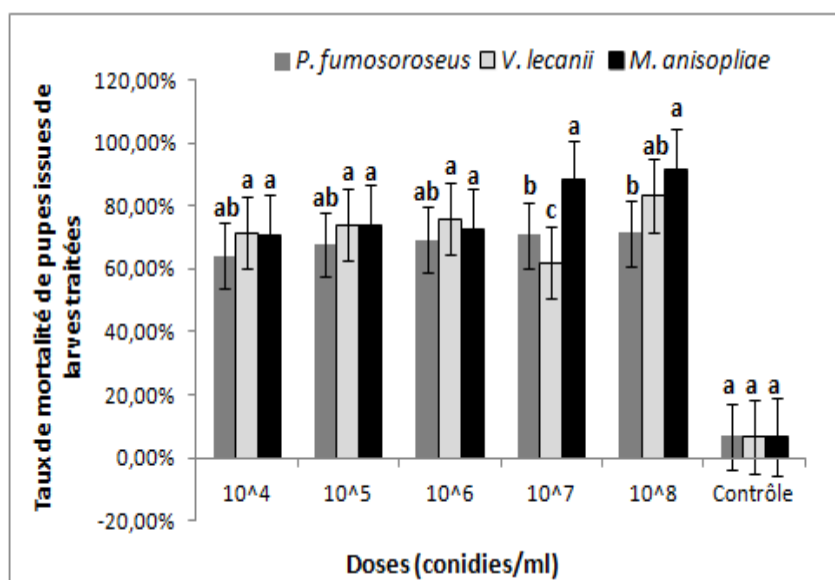


Figure 44 : Pourcentage moyen de mortalité des pupes issues de larves traités de *C. capitata* traité avec différentes concentrations de *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. fumosoroseus*. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

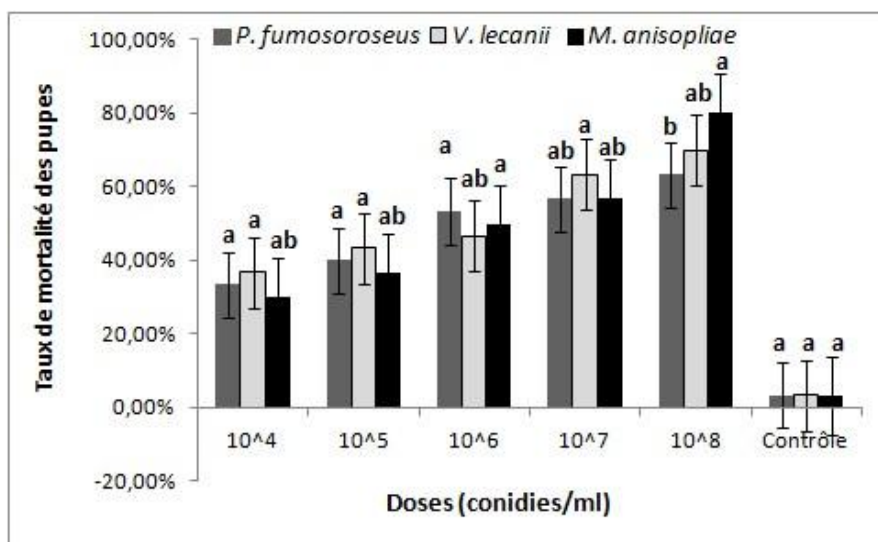


Figure 45 : Pourcentage moyen de mortalité des pupes de *C. capitata* traité avec différentes concentrations de *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. fumosoroseus*. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Les concentrations sublétales LC10, LC30, et les concentrations létales ; LC50 et LC90 des 3 champignons entomopathogènes ont montré que *M. anisopliae* se classait au premier rang pour sa pathogénicité envers les pupes, suivi par *V. lecanii* et *P. fumosoroseus*, (Tableau 11 ; Annexe 7: Figures 1,2 et 3).

5. Discussion

Les champignons entomopathogènes utilisés ont provoqué des effets létaux lorsqu'ils ont été appliqués contre les larves et les pupes de *C. capitata*. Les niveaux de mortalité allaient de 6,67 à 80 % selon les espèces de champignons, les doses et les stades de développement (larves, pupes). Tous les champignons testés ont montré des effets de mortalité similaires contre les larves de *C. capitata* à la concentration la plus faible de 1×10^4 . Cependant, aux concentrations les plus élevées, les performances de *M. Anisopliae* et *V. lecanii* ont causé une plus grande mortalité que *P. fumosoroseus*. En outre, *P. fumosoroseus* a tendance à provoquer des niveaux de mortalité plus faibles parmi les larves et les pupes des larves traitées, par rapport à *M. anisopliae* et *V. lecanii*.

Nos résultats sont similaires à ceux enregistrés par Soliman et al (2020) après avoir exposé des larves de la mouche méditerranéenne des fruits à *M. anisopliae* et *P. lilacinus* dans lesquels *M. anisopliae* a causé la plus grande mortalité allant de 15 à 65% et de 10 à 17,5% pour *P. lilacinus* pour les concentrations de 1×10^4 et 1×10^8 respectivement.

La variabilité des résultats des essais biologiques et l'impossibilité de définir clairement les caractéristiques associées à la virulence d'une souche d'un champignon

entomopathogène envers une espèce d'insecte spécifique ont été discutées et l'amélioration des spores en utilisant un adjuvant a été suggérée (Alavo et al, 2002).

En général, il a été enregistré que la pathogénicité des champignons entomopathogènes varie sur les insectes et autres arthropodes (Soliman et al., 2020). Par exemple, la pathogénicité de quatre espèces d'EPFs : *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *M. flavoviride*, et *Paecilomyces fumosoroseus*, à différents stades de développement des tiques *Rhipicephalus sanguineus* (Acari : Ixodidae) a été comparée dans des conditions de laboratoire. L'isolat le plus virulent, *M. anisopliae*-108, a provoqué une mortalité de 92 à 96% (Samish et al., 2001). De même, la pathogénicité de 13 isolats de *M. anisopliae* et de 2 isolats de *B. Bassiana* pour *C. capitata* et *C. rosa* a montré des fluctuations dans les taux de mortalité des larves (Ekesi et al., 2002).

A notre connaissance, l'activité larvicide de *V. lecanii* contre les larves de *C. capitata* n'a pas été testée auparavant. Par conséquent, nos résultats sont les premiers à être enregistrés pour ce champignon. Cependant, de nombreuses recherches ont démontré ses effets insecticides et larvicides contre plusieurs espèces d'insectes (Soni & Prakash, 2012 ; Thiyagarajan et al., 2014 ; Anshary et al., 2019).

En général, les pupes étaient très sensibles aux EPFs sous les concentrations d'application que nous avons utilisées. Les mortalités enregistrées par d'autres chercheurs étaient assez proches à celles que nous avons trouvées (Ekesi et al., 2002 ; Quesada-Moraga et al., 2006). Au contraire, Beris et al (2013) ont trouvé que les pupes n'étaient que légèrement sensibles aux EPFs. Ces différences pourraient s'expliquer par les différentes méthodes d'exposition aux EPFs, l'histoire de la population du ravageur et le stade physiologique de la pupa. Par exemple, Ekesi et al (2002) ont évalué la pathogénicité de *M. anisopliae* contre les pupes de trois espèces de Tephritid, dont *C. capitata*, et ils ont constaté que la sensibilité des pupes diminuait avec l'augmentation de leur âge. À l'inverse, Soliman et al (2020) ont trouvé que la pupa âgée de 5 jours tend à être plus sensible que la pupa âgée d'un jour et de 8 jours.

Dans l'ensemble, les isolats de *M. Anisopliae*, *V. lecanii* et *P. fumosoroseus* ont provoqué une mortalité significative lorsqu'ils ont été appliqués contre les larves et les pupes de *C. capitata* en les immergeant dans des suspensions conidiennes. Ces résultats indiquent que ces champignons pourraient être des agents de lutte biologique prometteurs contre *C. capitata*.

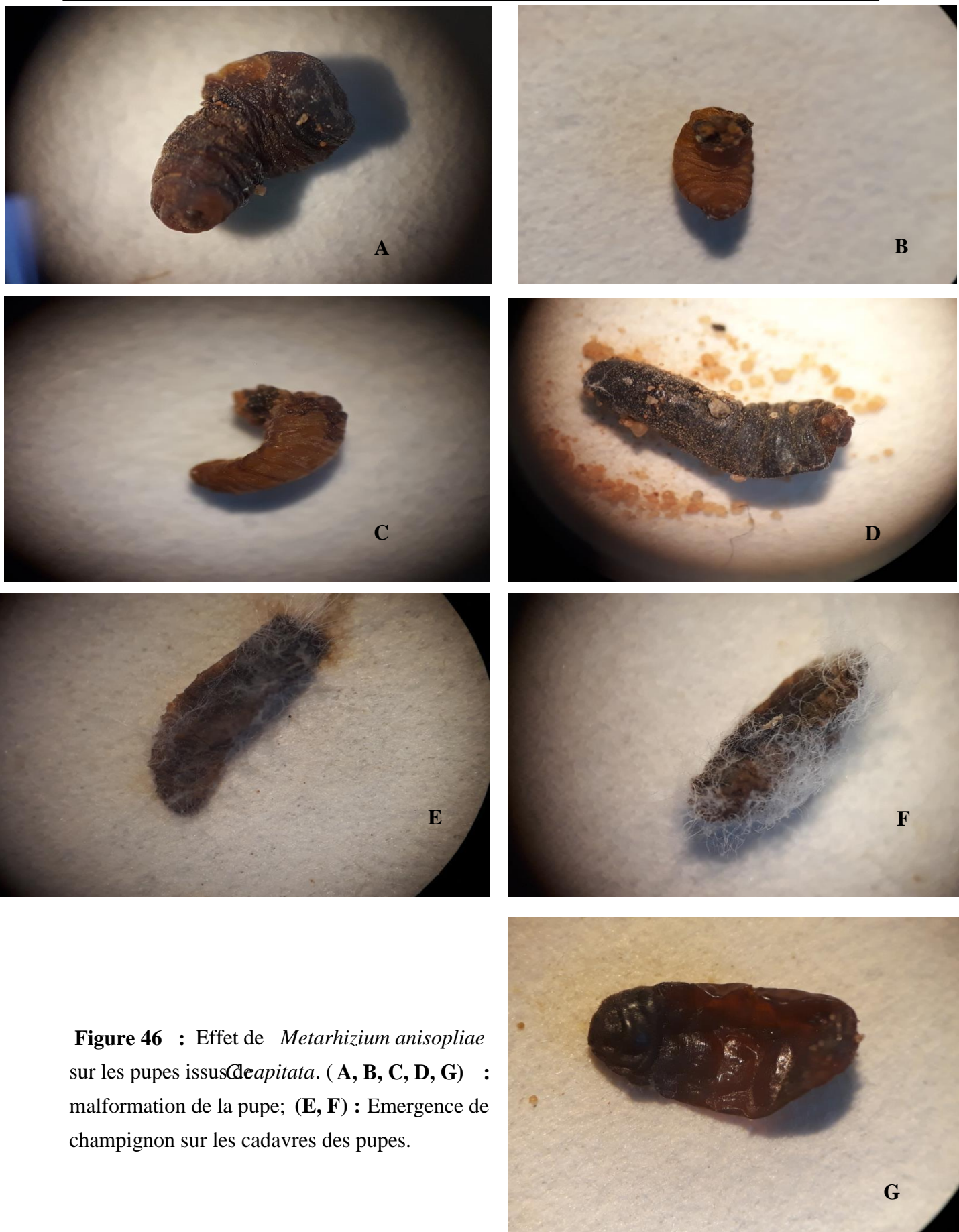


Figure 46 : Effet de *Metarhizium anisopliae* sur les pupes issus de *C. capitata*. (A, B, C, D, G) : malformation de la pupe; (E, F) : Emergence de champignon sur les cadavres des pupes.



Figure 47 : Effet de *P. fumosoroseus* sur les larves et sur les pupes issues de larves traités (A, B, C, D) malformation des pupes ; (E, F) : émergence du champignon sur cadavre de pupes et (G) : émergence du champignon sur cadavre larve (Original, 2021)



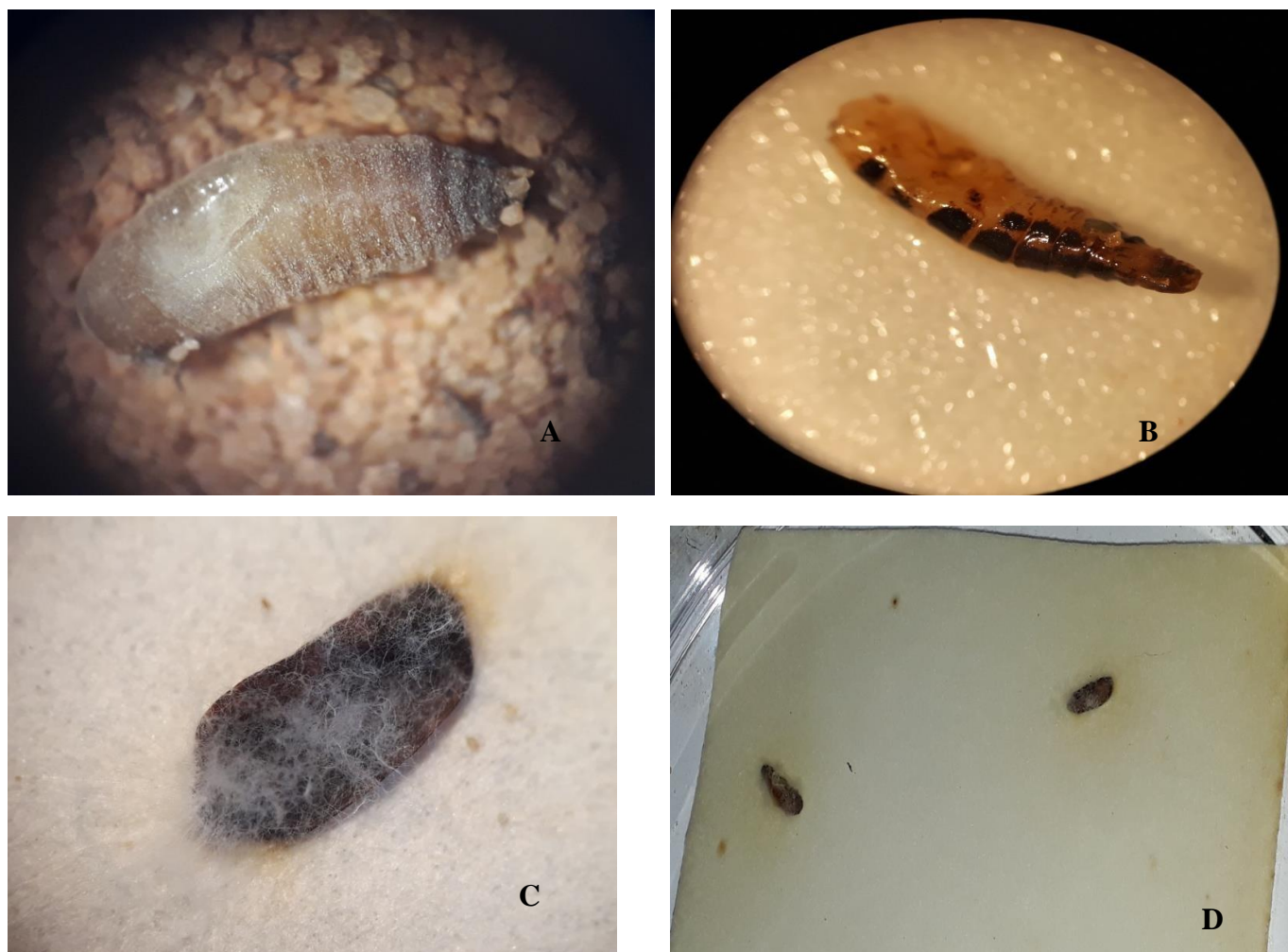


Figure 48 : Effet de *Verticillium lecanii* sur les larves L3 et les pupes de *C. capitata*.
(A) : malformation de la puce ; (B) : larve L3 morte ; (C, D) : l'émergence de champignon sur les cadavres des pupes de *C. capitata* (Original, 2021).

**Chapitre III : Essais d'efficacité des
extraits aqueux de trois plantes
médicinale sur *C. capitata***

Chapitre 3 :

Essais des extraits aqueux de trois plantes médicinales sur *C. capitata*

1. Teneur en polyphénols totaux des extraits aqueux de *R. communis*, *R. officinalis* et *L. stoechas*

La teneur en polyphénols totaux de l'extrait du ricin, romarin et de la lavande (Figure 49), en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (Annexe 8 : Figure 1), est respectivement de l'ordre de 115.6, 53.5 et 62 mg EAG/gMS.

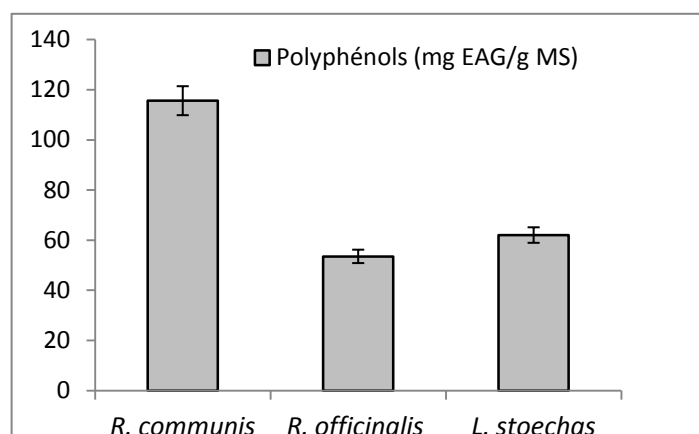


Figure 49 : Polyphénols totaux de l'extrait de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*

2. Teneur en flavonoïdes des extraits aqueux de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*

La teneur en flavonoïdes (Figure 50), des extraits du ricin, du romarin et de la lavande, en se référant à la courbe d'étalonnage de la quercitine (Annexe 8 : Figure 2), est respectivement de l'ordre de 99.6, 38.7 et 22.5 mg eq de quercitine/g de matière sèche.

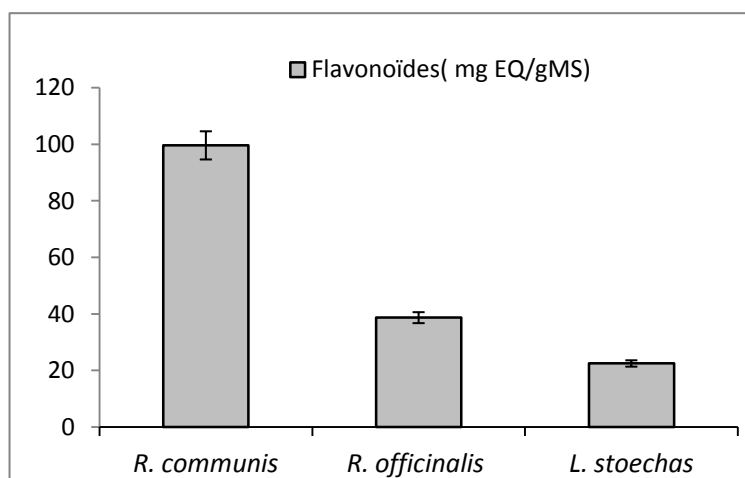


Figure 50 : Flavonoïdes totaux de l'extrait de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*

3. Effet bioinsecticide des extraits aqueux *R. communis*, *R. officinalis* et *L. stoechas* à l'égard de larves et pupes de *C. capitata*

3.1. Taux de mortalité larvaire

3.1.1. Effet de l'extrait aqueux de *R. communis*

Les résultats, illustrés dans la figure 51, montrent que le pourcentage moyen de mortalité larvaire augmente de manière hautement significative en augmentant les doses de l'extrait utilisé. Le taux de mortalité larvaire le plus élevé a été de l'ordre de 43,33% à la dose 40 μ l. Ce dernier diminue jusqu'à 13,33% à la dose de 20 μ l. Par ailleurs, nous avons enregistré 3,33% de mortalité larvaire pour le témoin.

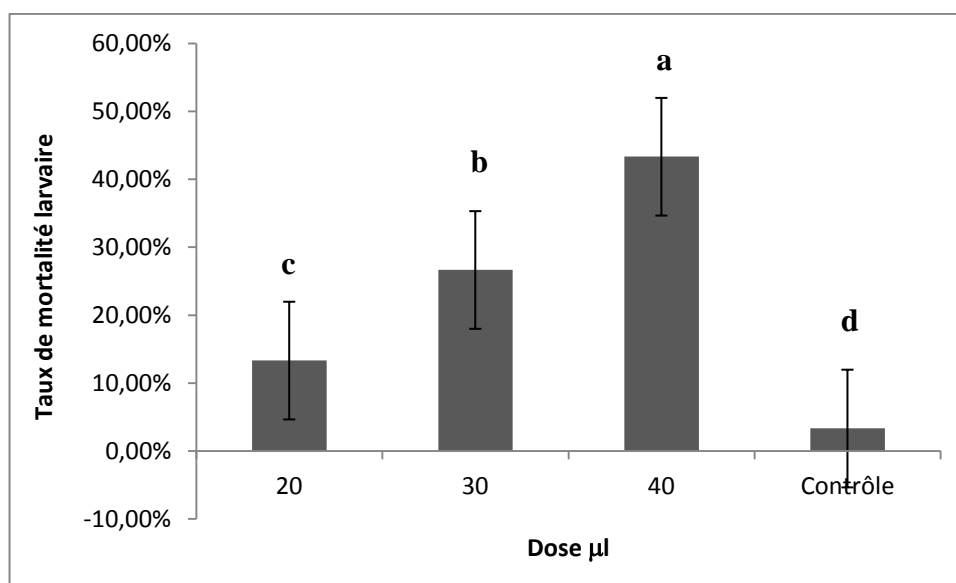


Figure 51 : Taux de mortalité larvaires de *C. capitata* en fonction des doses testées de l'extrait de *R. communis*.

L'analyse de la variance, au seuil de 5%, a révélé un effet hautement significative pour le facteur dose d'extrait utilisé ($P=6.76e^{-3}$).

Le test de Newman et Keuls classe le taux de mortalité larvaire selon les doses en quatre (04) groupes homogènes. Le groupe (a) présente le pourcentage de mortalité larvaire le plus élevé pour la dose la plus élevée 40 μ l.

3.1.2. Effet de l'extrait aqueux de *R. officinalis*

Les résultats, présentés par la figure 52, montrent que le pourcentage moyen de mortalité larvaire augmente de manière hautement significative en augmentant les doses de l'extrait du romarin utilisé. Nous avons obtenu un taux de mortalité larvaire de 10% à la dose 20 μ l après. Ce dernier augmente jusqu'à 23,33% à la dose 40 μ l. D'autre part, un pourcentage de 3,33% de mortalité larvaire a été enregistré pour le témoin.

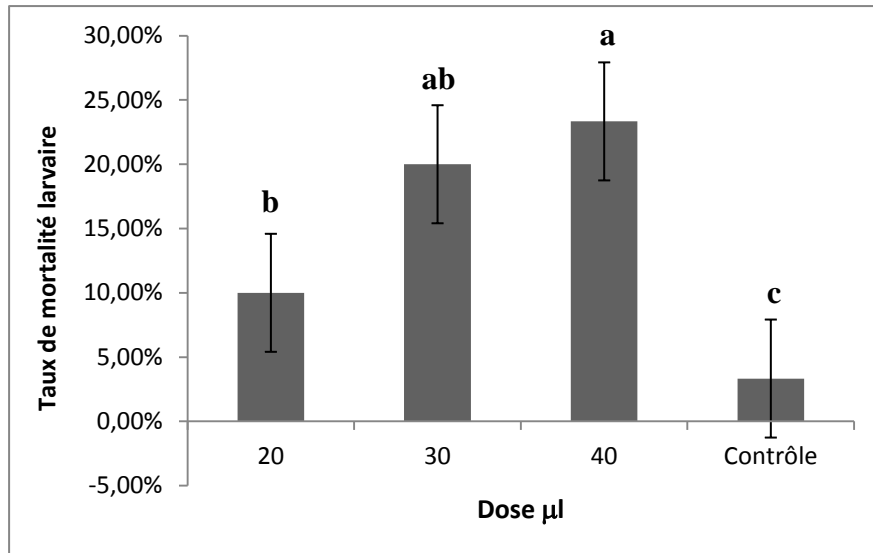


Figure 52 : Taux de mortalité larvaires de *C. capitata* en fonction des doses testées de l'extrait de *R. officinalis*.

L'analyse de la variance, au seuil de 5%, a montré un effet significative pour le facteur dose d'extrait utilisé ($P = 0.039$).

Le test de Newman et Keuls, classe le taux de mortalité larvaire selon les doses en quatre (04) groupes homogènes. Le groupe (a) présente le pourcentage de mortalité larvaire le plus élevé pour la dose la plus élevée 40 μl .

3.1.3. Effet de l'extrait aqueux de *L. stoechas*

Les résultats, illustrés par la figure 53, montrent que le pourcentage moyen de mortalité larvaire augmente de manière hautement significative en augmentant les doses de l'extrait de la lavande utilisé. Nous avons obtenu un taux de mortalité larvaire de 6.67% à la dose 20 μl après. Ce dernier augmente jusqu'à 13,33% à la dose 40 μl . Par ailleurs, nous avons noté 3.33% de mortalité larvaire pour le témoin.

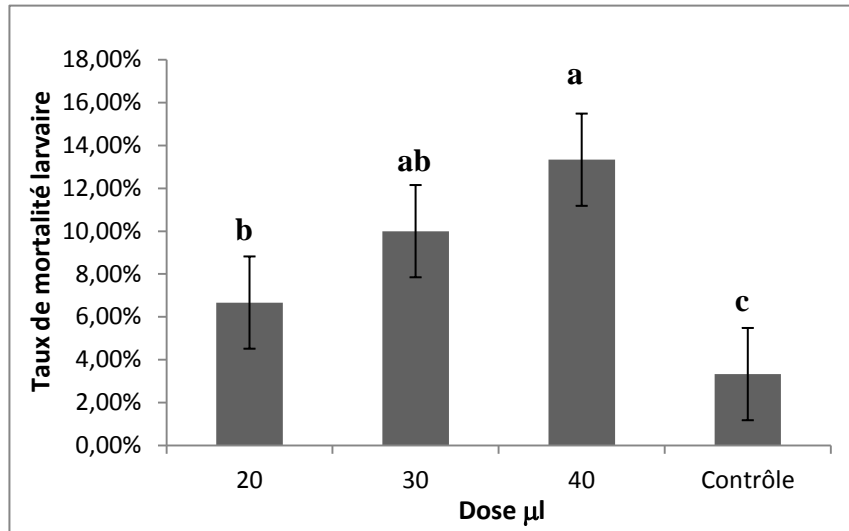


Figure 53 : Taux de mortalité larvaires de *C. capitata* en fonction des doses testées de l'extrait de *L. stoechas*.

L'analyse de la variance, au seuil de 5%, a montré un effet significative pour le facteur dose d'extrait utilisé ($P = 0.039$).

Le test de Newman et Keuls, classe le taux de mortalité larvaire selon les doses en quatre (04) groupes homogènes. Le groupe (a) présente le pourcentage de mortalité larvaire le plus élevé pour la dose la plus élevée 40 µl et le groupe (c) représente la contrôle.

3.2. Taux de larves transformées en pupes

3.2.1 Effet de l'extrait aqueux de *R. communis*

Les résultats, présentés par la figure 54, montrent que le taux de larves transformées en pupes diminue de manière significative en fonction des différentes doses testées de l'extrait aqueux de *R. communis*. A la dose 20µl, nous avons enregistré un pourcentage moyen de 86.67% de larves transformées en pupes. Ce taux diminue jusqu'à 63,33% à la dose 40 µl. Le témoin a enregistré un taux de 99.67% de larves transformées en pupes.

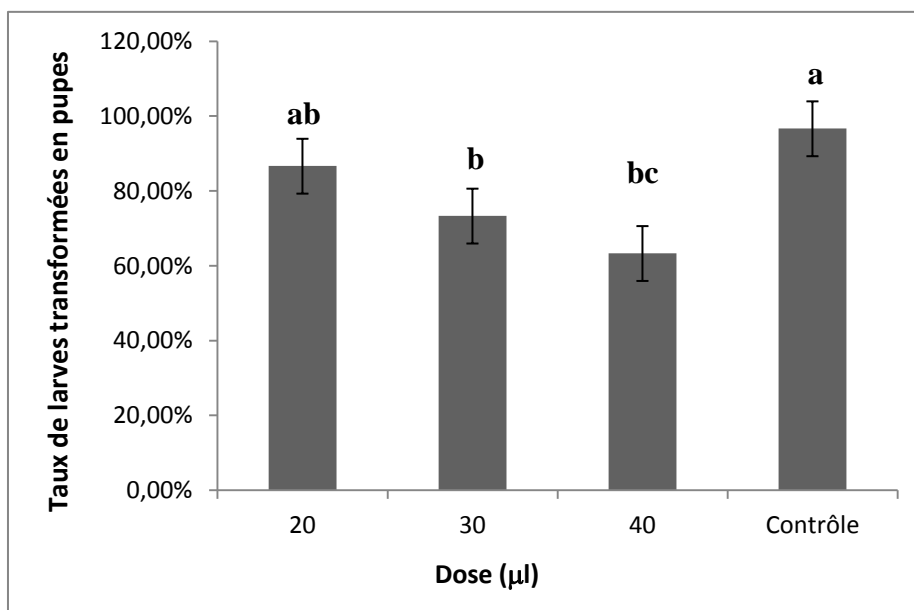


Figure 54 : Taux de larves transformées en pupes en fonction des doses testées de l'extrait aqueux de *R. communis*.

L'analyse de la variance, au seuil de 5% révèle une différence significative pour le facteur dose ($P= 0.04$). Le test de Newman et Keuls révèle 4 groupes homogènes. Dans le groupe (a), nous avons le témoin et dans le groupe (bc), la dose 40 µl.

3.2.2. Effet de l'extrait aqueux de *R. officinalis*

Les résultats, exposés dans la figure 55, montrent que le taux de larves transformées en pupes diminue de manière significative en fonction des différentes doses testées de l'extrait aqueux de *R. officinalis*. A la dose 20µl, 90% de larves sont transformées en pupes. Ce taux diminue jusqu'à 76,67% à la dose 40 µl. Pour le témoin, nous avons enregistré un taux de l'ordre de 99,67% de larves transformées en pupes.

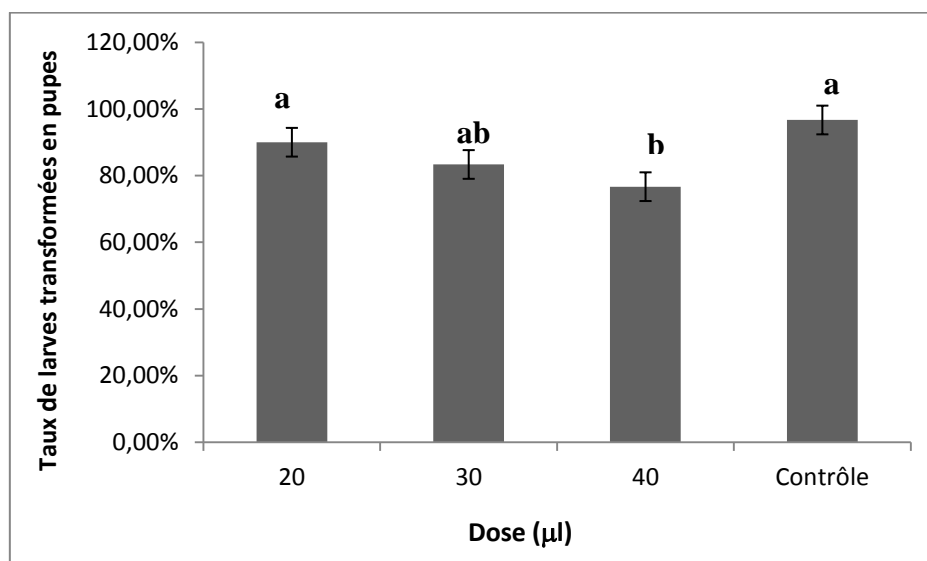


Figure 55 : Taux de larves transformées en pupes en fonction des doses testées de l'extrait aqueux de *R. officinalis*.

L'analyse de la variance, au seuil de 5%, révèle une différence significative pour le facteur dose ($P= 0.044$). Le test de Newman et Keuls révèle (trois) (03) groupes homogènes. Dans le groupe (a), nous avons le témoin et dans le groupe (b), la dose 40 μ l.

3.2.3. Effet de l'extrait aqueux de *L. stoechas*

Les résultats obtenus (Figure 56) montrent que le taux de larves transformées en pupes varie de manière significative en fonction des doses testées de l'extrait aqueux de *L. stoechas*. Le taux le plus élevé est enregistré pour le témoin avec une valeur de 96.67%. Ce dernier diminue jusqu'à 6.67% à la dose 40 μ l pour l'extrait du ricin. Cependant, un taux de 33.33% a été enregistré pour les deux autres extraits à la même dose de 40 μ l.

L'analyse de la variance, au seuil de 5%, révèle une différence significative pour le facteur dose ($P= 0.045$). Le test de Newman et Keuls révèle deux (02) groupes homogènes. Dans le groupe (a), nous avons le témoin et les doses 20 et 30 μ l, et dans le groupe (ab) s'est classée la dose 40 μ l.

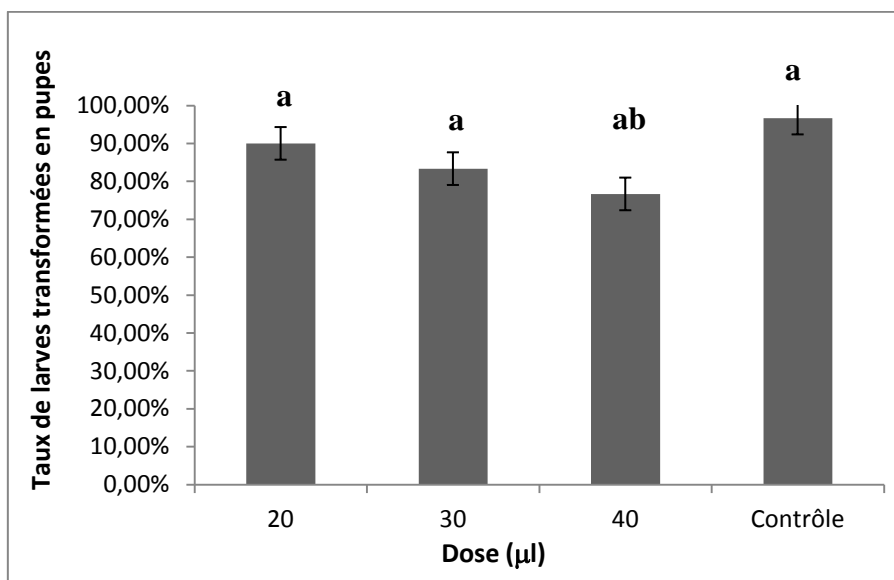


Figure 56 : Taux de larves transformées en pupes en fonction des doses testées de l'extrait aqueux de *L. stoechas*.

3.3. Taux d'émergence

Les résultats obtenus (Figure 57) montrent que le taux d'émergence varie de manière hautement significative en fonction des doses testées des extraits utilisés. Le taux le plus élevé est enregistré pour le témoin avec une valeur de 100%. Ce dernier diminue jusqu'à 6.67% à la dose 40 μ l pour l'extrait du ricin. Cependant, un taux de 33.33% a été enregistré pour les deux autres extraits à la même dose de 40 μ l.

Le test de Tukey montre une différence significative du taux d'émergence d'adultes suivant les différentes doses des extraits aqueux utilisés ($P = 4.96e^{-5}$).

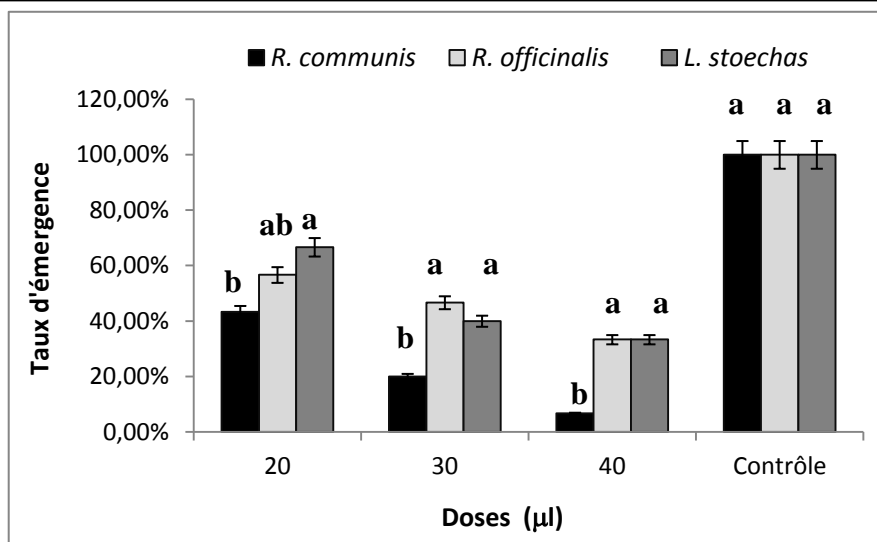


Figure 57 : Taux d'émergence d'adulte de *C. capitata* issues de larves traitées en fonction des doses testées des extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

3.4. Taux de mortalité de pupes issues de larves traitées

Les résultats, exposés dans la figure 58, montrent que le taux de mortalité de pupes issues de larves traitées aux différents extraits varie de manière hautement significative en fonction des doses testées. Le taux le plus élevé est noté pour l'extrait de ricin à la dose de 40 µl avec une valeur de 56,67% suivi par l'extrait de la lavande et de romarin avec des taux de 53,33 et 43,33% respectivement pour la même dose. Ce dernier diminue jusqu'à 0% pour le témoin.

Le test de Tukey montre une différence significative du taux de mortalité de pupes issues de larves traitées suivant les différentes doses des extraits aqueux utilisés ($P= 1.19e^{-4}$).

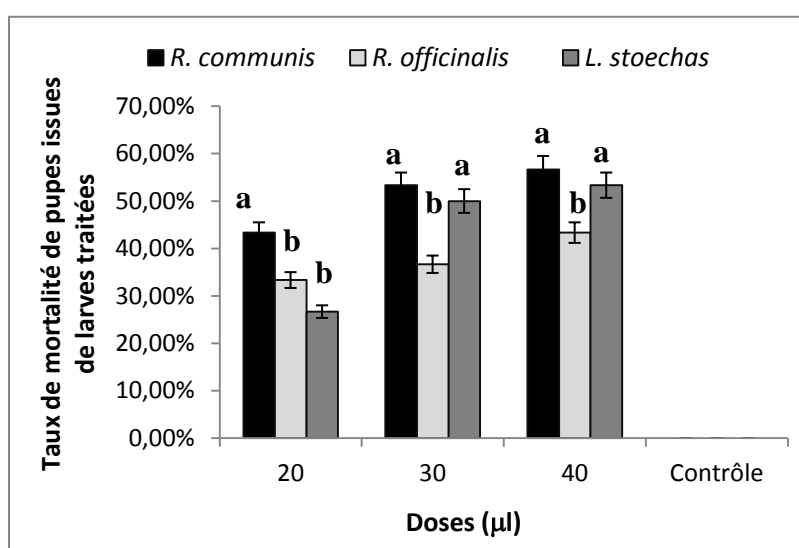


Figure 58 : Taux de mortalité de pupes de *C. capitata* issues de larves traitées en fonction des doses testées des extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

3.5. Calcul des doses létales et sublétales

Les concentrations sublétales : LC10, LC30, et les concentrations létales : LC50 et LC90 des extraits aqueux, ont montré que *R. communis* s'est classé en tête, causant la mortalité des larves de troisième stade et des pupes issues de larves traitées, suivi par *R. officinalis* et *L. stoechas* (Tableau 12 ; Annexe 9 et 10).

Tableau 12 : Toxicité de *R. communis*, *L. stoechas* et *R. officinalis* au troisième stade larvaire et au stade nymphal de *Ceratitis capitata*.

Stade	LC10 μl	LC30 μl	LC50 μl	LC90 μl	Slope ± SE	P
<i>R. communis</i>						
3 ^{ème} stade larvaire	17.38	31.62	46.77	125.89	2.99±0.003	0.117
Pupes issue de larves traitées	26.30	39.81	44.67	151.36	1.12±3.398	0.063
<i>R. officinalis</i>						
3 ^{ème} stade larvaire	346.74	8.5×10 ²	1.55×10 ³	7.08×10 ³	1.94±1.207	0.072
Pupes issue de larves traitées	100	2.04×10 ²	3.31×10 ²	1.1×10 ³	0.97±3.298	0.016
<i>L. stoechas</i>						
3 ^{ème} stade larvaire	2.09×10 ⁴	8.13×10 ⁴	2.09×10 ⁵	2.04×10 ⁶	1.28±1.834	0.121
Pupes issue de larves traitées	31.81	44.67	64.57	1.05×10 ²	2.46±1.215	0.129

4. Etude de la toxicité de l'extrait de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas* sur les pupes de *C. capitata*

4.1. Test par inhalation sur les pupes

4.1.1. Taux d'émergence d'adulte de *C. capitata*

Les résultats, illustrés par la figure 59, montrent que le taux d'émergence varie de manière très hautement significative selon les doses testées. Nous avons enregistré un taux d'émergence moyen de l'ordre de 46.67% à la dose 40μl pour l'extrait de la lavande. Ce taux diminue jusqu'à 33.33% à la même dose pour l'extrait du ricin. Le témoin présente un taux d'émergence de 100%. Pour la dose la plus faible, nous avons noté des taux assez élevés qui varient entre 53.33 et 60% pour les extraits du ricin, romarin et la lavande respectivement.

Le test de Tukey montre une différence significative du taux d'émergence d'adultes de *C. capitata* en fonction des différentes doses des extraits aqueux utilisés ($P = 2.23e^{-06}$).

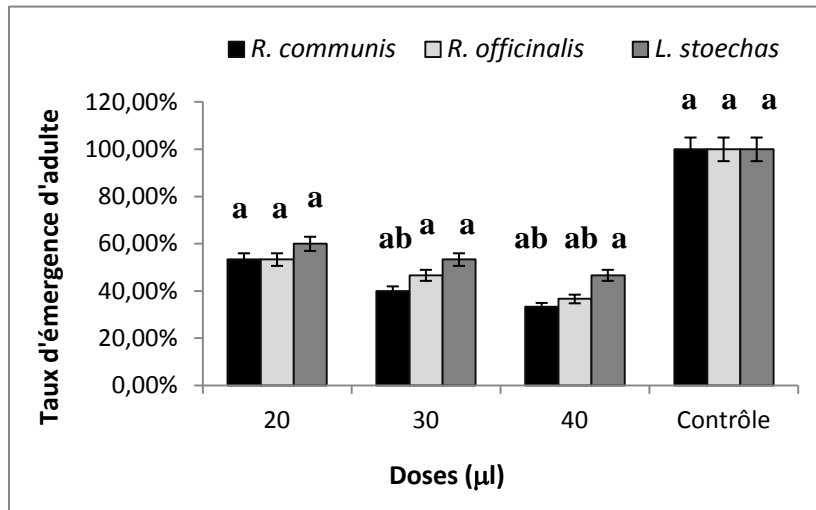


Figure 59 : Taux d'émergence d'adultes de *C. capitata* issues de test par inhalation sur les pupes en fonction des doses testées des extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

4.1.2. Taux de mortalité de pupes saines issus de test par inhalation

Les résultats, montrés par la figure 60, montrent que le taux de mortalité de pupes saines issues de test par inhalation aux différents extraits varie de manière hautement significative en fonction de l'extrait et des doses testées. Le taux le plus élevé est enregistré pour l'extrait de ricin à la dose de 40 µl avec une valeur de 66.67% suivi par l'extrait de romarin et de la lavande avec des taux de 63.33 et 53.33% respectivement pour la même dose. Ce dernier diminue jusqu'à 0% pour le témoin.

Le test de Tukey montre une différence hautement significative du taux de mortalité des pupes saines de *C. capitata* issues de test par inhalation en fonction des différentes doses des extraits aqueux utilisés ($P = 2.32e^{-06}$).

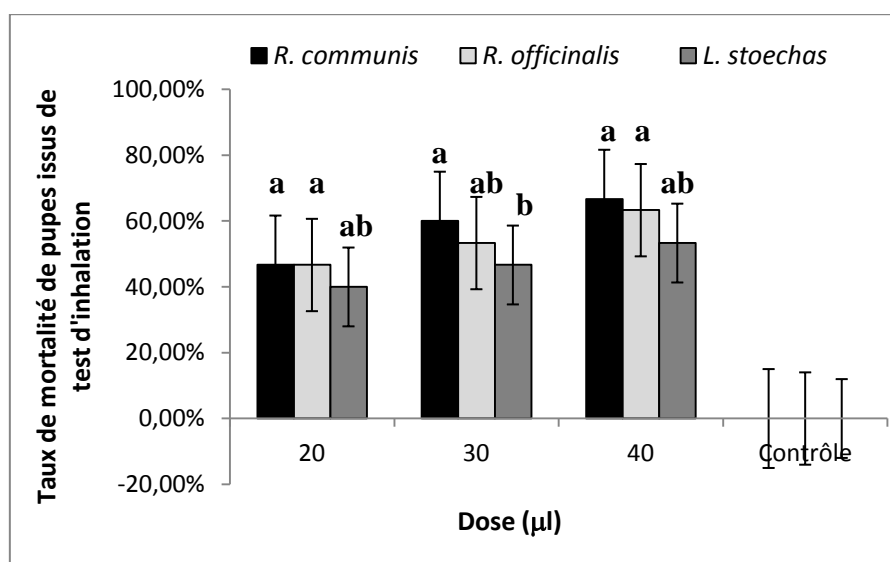


Figure 60 : Taux de mortalité de pupes saines de *C. capitata* issues de test par inhalation en fonction des doses testées des extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

4.1.3. Calcul des doses sublétales et létales

Les concentrations sublétales : LC10, LC30, et les concentrations létales : LC50 et LC90 des extraits aqueux, ont montré que *R. communis* s'est classé en tête, causant la mortalité des larves de troisième stade et des pupes issues de larves traitées, suivi par *L. stoechas* et *R. officinalis* (Tableau 13 ; Annexe 11).

Tableau 13 : Toxicité de *R. communis*, *L. stoechas* et *R. officinalis* aux pupes de *Ceratitis capitata* lors du test par inhalation.

Stade	LC10 µl	LC30 µl	LC50 µl	LC90 µl	Slope ± SE	P
<i>R. communis</i>						
Pupes issue de test d'inhalation	30.20	48.98	74.13	114.82	1.73±2.667	0.035
<i>R. officinalis</i>						
Pupes issue de test d'inhalation	32.36	54.95	79.43	190.55	1.24±3.286	0.045
<i>L. stoechas</i>						
Pupes issue de test d'inhalation	31.62	53.70	77.62	162.18	1.14±3.244	0.037

5. Discussions

Les résultats obtenus montrent que les extraits aqueux de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*, agissent de façon hautement significative, en fonction des doses, sur la mortalité larvaire.

D'après nos résultats, nous constatons que l'extrait de feuilles du *R. communis* semble plus efficace que les deux autres extraits. Ces résultats concordent avec ceux d'Aouinty et al. (2006) qui ont prouvé que l'extrait aqueux des feuilles du ricin ait une forte activité larvicides à l'égard des larves de *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas), *Culiseta longiareolata* (Aitken) et *Anopheles maculipennis* (Meigen), par rapport au extrait du bois de thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl).

L'extrait du romarin, quant à lui, s'est classé en deuxième position causant un taux de mortalité de 23.33%. Cependant, l'extrait de la lavande a causé le taux le plus faible à la même dose de 40µl. Ces résultats sont assez proches à ceux d'Aouati (2016) qui a constaté que l'extrait aqueux de *R. officinalis* montre un effet insecticide à l'égard des larves du quatrième stade de *Culex pipiens* (Diptera; Culicidae).

De plus, nos résultats obtenus rejoignent aussi ceux de Regnault Roger et al. (2004) qui ont testé l'effet insecticide des composés phénoliques de cinq Lamiacées contre *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). Par ailleurs, les résultats de l'analyse chromatographique indiquent que les polyphénols sont principalement des acides cinnamiques et des flavones. Les plus abondants étant l'acide rosmarinique et le luteolin-7- glucoside (Regnault Roger et al. 2004).

Inversement, Bachi (2018) a constaté que l'extrait aqueux de la lavande semble supérieur en terme d'effet larvicide vis-à-vis les larves de la cératite en se comparant avec l'extrait du romarin. Les taux de mortalités larvaires obtenues étaient respectivement de l'ordre de 96,6 et 83,33% pour l'extrait de la lavande et du romarin à la même dose de 40µl et après 24h d'exposition aux extraits.

D'après les résultats des tests par contact direct des larves du troisième stade avec les extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*, nous avons remarqué que les larves mortes montrent un aspect remarquable ; elles se sont vidées de leurs organes, devenant alors d'une forme plus au moins aplatis de couleur marron/marron foncé et se sont durcies. Ces observations sont en accord avec ceux de Bachi (2018), qui a enregistré les mêmes remarques pour les larves mortes traitées aux extraits aqueux du romarin et de la lavande sauvage.

Les résultats que nous avons obtenus montrent également que les extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*, exercent, aussi, un effet hautement significatif sur le nombre de larves transformées en pupes. Nous avons enregistré un taux de 96,67% de larves transformées en pupes pour le témoin. Quant aux lots traités avec les différentes doses des extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas*, le taux de pupes obtenu diminue en augmentant les concentrations de l'extrait étant donné qu'à 20 µl, nous avons enregistré respectivement des taux de 86.67, 90 et 93.33% de larves transformées en pupes. Ce taux a atteint 73.33, 83.33 et 90% à la dose 30µl pour les extraits du ricin, romarin et de lavande respectivement. Par contre, à la dose 40µl, les taux étaient de l'ordre de 63.33, 76.6 et 86.6%, respectivement pour le ricin, romarin et la lavande.

Pour le taux d'émergence des adultes de *C. capitata*, nous avons constaté qu'il diminue de façon hautement significative en fonction des doses testées. À la dose 20µl, nous avons enregistré un taux d'émergence de l'ordre de 43.33, 56.67 et 66.67%, respectivement pour les extraits du ricin, romarin et de lavande contre 100% pour le témoin. A la dose la plus élevée 40 µl, nous avons eu les taux d'émergence les plus faibles avec 6.67% pour l'extrait du ricin et 33.33% pour le romarin et la lavande.

Les résultats que nous avons obtenus sur le taux d'émergence des adultes de *C. capitata*, issues de pupes saines lors du test par inhalation, montrent que les extraits de *R. communis*, *R. officinalis* et de *L. stoechas* exercent un effet hautement significatif en fonction des doses testées. A la dose 20µl, nous avons eu 53.33% pour le ricin et le romarin et 60% pour la lavande. Ce taux diminue jusqu'à 33,33% à la dose 40 µl pour le ricin et à 36.67 et 46.67% respectivement pour l'extrait du romarin et de lavande, contre un témoin qui a présenté 100% d'émergence.

Ces résultats sont similaires à ceux de Bachi (2018), qui a constaté que les extraits de romarin et de la lavande ont un effet pupicide contre les pupes de *C. capitata*, et que cet effet augmente en augmentant les concentrations utilisées et le temps d'exposition.

Nous supposons donc que l'activité insecticide de l'extrait de *R. communis* est due vraisemblablement aux acides myristique et stéarique qui selon Sotelo-Leyva et al. (2020), provoquent la mort des adultes de *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). L'extrait de feuilles de ricin à la dose de 10.000ppm à causer la mortalité de 60% de la population d'adulte de *Melanaphis sacchari* après 24h d'exposition.

De même, Salinas-Sánchez et *al.* (2021), ont constaté que le squalène qui est un triterpène, isoprénoïde dans l'extrait de *R. communis*, cause la mort des adultes de *Melanaphis sacchari*.

Selon Ai et *al.* (2021), le groupe des flavonoïdes et de polyphénols totaux dans l'extrait de *R. communis* ont un rôle d'antagonisme des insectes. Les métabolites défensifs secondaires pourraient être stockés comme inactifs ou produits en réponse aux attaques d'insectes ou de bactéries. Les composés bioactifs tels que les phénoliques, les alcaloïdes, les benzoxazinoïdes, les glucosides cyanogènes, les glucosinolates et les terpénoïdes se sont avérés efficaces dans la lutte contre les insectes nuisibles (Fürstenberg-Hägg et *al.*, 2013).

L'activité insecticide de l'extrait du romarin vis-à-vis les stades immatures de la cératite serait dû, fort probablement, aux polyphénols contenus dans l'extrait. De plus, selon Pereira et *al.* (2002), les composés phénoliques produisent des types d'oxygène réactif dans le processus digestif, qui peut affecter les cellules de l'appareil digestif et précipiter les protéines et les enzymes digestives, ce qui diminue et affecte l'absorption des nutriments.

D'autre part, Regnault-Roger et *al.* (2004) ont prouvé que l'acide rosmarinique et la luteoline-7- glucoside étaient les composés les plus actifs contre les adultes de *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera : Bruchidae). Les flavonoïdes peuvent aussi avoir un effet négatif comme substance anti-appétante, comme réducteur de la digestion et comme toxines (Treutter, 2005).

Nous supposons aussi que l'activité insecticide de l'extrait de *L. stoechas* est due aux composés triterpénoïdes qui, selon Carpinella et *al.* (2003), provoquent la mort et les malformations chez les futures générations des insectes phytophages. En effet, Bachi (2018) a constaté un effet de toxicité élevé de l'extrait de *L. stoechas* à l'égard des larves L3 et des pupes de la cératite. A 40 µl d'extrait aqueux de *L. stoechas*, l'auteur a enregistré un taux de 96.66% de mortalité larvaire.



Figure 62 : Effet de l'extrait aqueux de *R. communis* sur les larves de la cératite, (A, B, C) : pupes malformés issus de larves traitées ; (D, E, F) : larves mortes vidées de leurs organes (Originale, 2021).



Figure 63 : Effet de l'extrait aqueux de *L. stoechas* sur les larves de la cératite, (A, B) : larves mortes; (C , D) : larves mortes vidées de leurs organes (Originale, 2021).

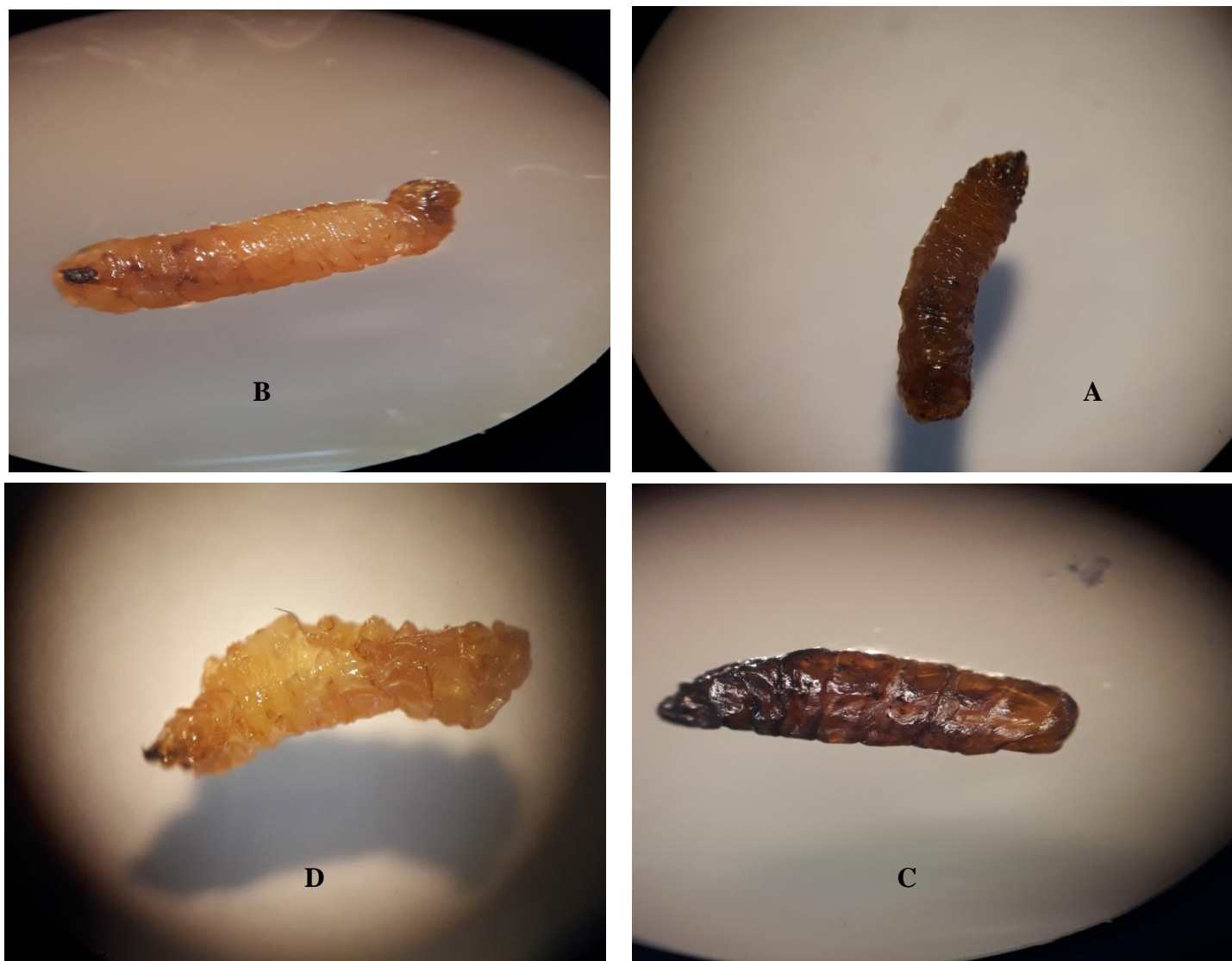


Figure 64 : Effet de l'extrait aqueux de *R. officinalis* sur les larves de la cératite, (A, B) : larves mortes; (C, D) : larves mortes vidées de leurs organes (Originale, 2021).

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail représente une contribution à l'étude de certains paramètres bio-écologiques de la mouche méditerranéenne des fruits : *Ceratitis capitata*, un ravageur qui n'a cessé de causer des dégâts considérables depuis son introduction en Algérie et qui restreint l'exportation de fruits d'importance économique.

Les données climatiques enregistrées durant la période d'étude à Mohammadia (Mascara) ont fait ressortir que les caractéristiques climatiques de cette région offrent des conditions optimales au développement de la cératite.

L'étude de la dynamique des populations de *C. capitata*, a été entreprise dans le but de suivre les fluctuations des populations de cet insecte sur trois différents hôtes, il s'agit d'agrumes, de figues et de poires. Cette étude a été menée dans la fermes de démonstration de l'Institut de l'Arboriculture Fruitières et de la Vigne (ITAFV) située à Mohammadia (Wilaya de Mascara). Cela a permis de formuler un certain nombre de conclusions :

- La cératite présente des effectifs importants durant les périodes printanière, estivale et automnale à cause de la présence des conditions écologiques et nutritionnelles favorables au développement de cet insecte nuisible.
- Les pièges sur les agrumes ont capturé le plus grand nombre de mouches soit un total de 842,35 APJ, confirmant la préférence des agrumes par la cératite.

Les deux pièges utilisés pour le suivi des populations de la cératite, le gobe mouche et le piège Réamol GF ont montré une similarité d'efficacité en terme de capture d'adulte pour le monitoring de ce ravageur. Les pièges Flycatcher (gobe mouche, McPhail) ont capturé un total de 4 041 d'adultes de *C. capitata* ; les pièges Delta (Réamol GF) ont ramassé 3 117 adultes au total.

L'estimation de l'infestation des fruits, en fonction du nombre de piqûres/fruit, révèle que parmi les variétés fruitières étudiées, l'orange Thomson est la plus piquée. Elle est suivie par la clémentine et la variété de poire Blanquilla. Nous pouvons ainsi conclure que la cératite semble être attirée par les fruits les plus volumineux et de couleur vive.

Cependant, les fruits les plus piqués ne donnent pas forcément un nombre de pupes élevé. C'est le cas de la variété Clémentine et la Thomson qui ont donné le nombre moyen le plus faible de pupes.

Par ailleurs, il ressort de nos résultats, que la variété fruitière agit sur les paramètres biologiques de la cératite notamment, la durée de pupaison, le taux d'émergence et la longévité. La durée de pupaison et le sex-ratio semblent dépendre aussi de la température car la durée de pupaison des fruits d'été a été plus courte que celle des fruits d'hiver et le sex-ratio est en faveur des femelles à la plus haute température.

Quant à la longévité, les résultats obtenus ont montré que les mouches femelles vivent plus longtemps que les mâles sur toutes les variétés fruitières étudiées.

Pour réaliser les essais de lutte biologique à l'égard de *C. capitata*. au laboratoire, nous avons testé l'efficacité des suspensions de trois champignons entomopathogènes et des extraits aqueux de trois plantes locales.

Les champignons utilisés pour les tests d'efficacité vis-à-vis de *C. Capitata* sont :

- ✓ *Metarhizium anisopliae* sp., qui a été isolé à partir d'échantillons de sol de l'ITAFV de Mohammadia ;
- ✓ *Verticillium lecanii*, qui a été isolé à partir de cadavres de vers blancs récupérés dans la zone d'étude ;
- ✓ *Paecilomyces (Isaria) fumosoroseus* : d'origine chinoise, conservé au niveau du Laboratoire LRSBG.

Les deux (02) champignons entomopathogènes, *M. anisopliae* et *V. lecanii* affecte de manière significative la survie des larves du troisième stade de *C. capitata*. A la concentration la plus élevée (10^8 conidies/ml), nous avons obtenu le pourcentage de mortalité larvaire le plus élevé par rapport au témoin. De plus, à cette même concentration, nous avons eu le taux de larves transformées en pupes le plus faible, le taux de pupes malformés le plus élevé ainsi que la diminution d'émergence des adultes de la cératite issus des larves traitées avec les différentes suspensions conidiennes. Cependant, *P. fumosoroseus* a provoqué le plus faible pourcentage de mortalité larvaire allant de 6,67 à 30 % à 1×10^6 et 1×10^8 conidies/ml respectivement.

Les trois espèces fongiques étaient pathogènes pour les pupes de *C. capitata*, la mortalité moyenne des pupes après leur immersion dans des suspensions conidiennes était significativement plus élevée que celle des témoins. *M. Anisopliae* a montré le taux de mortalité le plus élevé de l'ordre de 80 % à 1×10^8 conidies/ml. Les pupes traitées par *V. lecanii* ont enregistré un taux de 70% de mortalité à la même concentration.

Contrairement aux larves de troisième stade et aux pupes résultant des larves traitées, *P. fumosoroseus* a montré une plus grande activité sur les pupes et a entraîné une mortalité pupale qui varie entre 33,33 et 63,33 % à 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml respectivement. Chez les pupes traitées, tous les champignons ont provoqué l'augmentation du taux mortalité à mesure que la concentration augmentait.

Les larves et les pupes de *C. capitata*, révèlent une sensibilité variable, lors des tests par contact ou par inhalation. Ces sensibilités se traduisent par des taux de mortalité élevés aussi bien des larves que des pupes, des taux d'émergences faibles et des pupaisons incomplètes au fur et à mesure qu'on augmente la concentration des extraits aqueux utilisés.

Parmi les extraits de plantes testés, celui de *R. communis* se révèle plus efficace que les deux autres extraits de *R. officinalis* et de *L. Stoechas* à l'égard des larves de la cératite. La dose la plus élevée, de 40µl est considérée comme létale pour les larves de la cératite. Nous avons, en effet, enregistré des taux de mortalité respectifs de 43.33, 23.33% et 13.33% à la même dose ; la pupaison et le taux d'émergence sont affectés. 63,33% à la dose 40µl de larves se sont transformées en pupes avec l'extrait de *R. communis*. De même, seules 6.67% d'adultes se sont émergés pour ce même extrait et à la même dose. Cependant, un taux d'émergence de l'ordre de 33.33% a été enregistré pour les deux Lamiacées à la même dose de 40µl.

Lors du test par inhalation sur des pupes saines non traitées, l'extrait de *R. communis* s'est révélé plus efficace que les extraits de *R. officinalis* et de *L. stoechas*. En effet, avec 40µl de l'extrait de *R. communis*, nous avons noté un taux d'émergence de l'ordre de 33.33% ; alors que pour les deux Lamiacées *R. officinalis* et *L. stoechas*, les taux d'émergences étaient respectivement 36.67 et 46.67 par rapport à un témoin qui présente 100% d'émergence.

La diversité d'action des extraits aqueux de plantes que nous avons utilisée pourrait être due à leurs composés chimiques ou aux molécules bioactives de ces plantes. Il est suggéré que ces molécules peuvent exercer une action singulière ou encore avoir un effet synergique entre plusieurs composés à l'égard des larves et des pupes de la cératite qui y sont exposés.

A l'issu de ce travail, nous émettons quelques réflexions et recommandations sous forme de perspectives, il serait donc intéressant, à l'avenir de :

- ✓ Isoler les composants actifs de ces plantes afin de mieux valoriser les espèces végétales locales, d'un part, et de déterminer le mécanisme d'action de ces composés sur les larves et les pupes de la cératite, d'autre part ;
- ✓ Tester l'effet des extraits aqueux du ricin, romarin et de la lavande sur les adultes de la cératite ;
- ✓ Tester l'effet bioinsecticide des huiles essentiels du ricin, romarin et de la lavande sur les adultes, les larves et les pupes de la cératite afin de les comparer aux extraits aqueux et déduire l'approche la plus efficace et la plus rentable ;
- ✓ Déterminer par quel processus s'effectue l'action parasitaire de *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. lilacinus* et quels sont les mécanismes enzymatiques impliqués. Il serait judicieux également de réaliser des essaies de production d'enzyme issues de champignons entomopathogènes tels que la protéase et la chitinase ;
- ✓ Réaliser des tests dans les vergers, d'optimiser les modes d'application des bioinsecticides que nous avons testé au laboratoire et de préciser les concentrations qu'il faut appliquer et d'établir les temps optimaux ainsi que les fréquences d'application ;
- ✓ Penser à réaliser une étude technico-économique dans le but d'évaluer les coûts de la stratégie sélectionnée afin de permettre la validation de la rentabilité de l'approche.

Les travaux ultérieurs tenteront, sans aucun doute, de répondre à ces préoccupations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abbott W S., 1925. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. Journal of Economic Entomology, 18, 265-267. <http://dx.doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>, 19

68.

Aboussaid H., El Messoussi S. et Oufdou K., 2009. Activité insecticide d'une souche marocaine de *Bacillus thuringiensis* sur la mouche méditerranéenne : *Ceratitis capitata* Wied, 1824 (Diptera : Tephritidae). Afrique Science 05(1).Maroc: 160-172.

Ai T T T, Phien H H and Men T T., 2021. Phytochemical Constituents and Toxicity of the Ethanol Extract of *Ricinus communis* (L.) in *Drosophila melanogaster*. Asian Journal of Biology 13(4): 12-21, 2021; Article no.AJOB.77558

Alavo TBC, Sermann H, Bochow H., 2002. Virulence of strains of the entomopathogenic fungus *Verticillium lecanii* to aphids: Strain improvement. Archives of Phytopathology and Plant Protection 34(6):379-398.

Albajes R Y and Santiago Alvarez C., 1980a. Influencia de la temperatura en el desarrollo de *Ceratitis capitata* (Diptera, Trypetidae) AN. INIA/Ser Agric. (13): 184-19.

Albajes R Y and Santiago Alvarez C., 1980b. Efectos de la densidad larvaria y de la alimentacion en la proporcion de sexos de *Ceratitis capitata* (Diptera, Trypetidae). AN. INIA/Ser. Agric. / N° 13, pp: 175 – 182.

Al-mazra'awi MS, Shipp L, Broadbent B & Kevan P (2006). Biological control of *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae) and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) by *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) vectored *Beauveria bassiana* in greenhouse sweet pepper. *Biological Control* 37: 89-97.

Alonso A., García-Marí F. 2004. Control de *Ceratitis capitata* en cítricos utilizando trampeo masivo. *Phytoma España* 157:28-37.

Angiosperm Phylogeny Group, An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III , Botanical Journal of the Linnean Society, Wiley-Blackwell, Linnean Society of London et Oxford University Press, vol. 161, n° 2, 8 octobre 2009, p. 105–121. doi:10.1111/J.1095-8339.2009.00996.X

Anshary A, Saleh, Pasaru F., 2019. Influence of the Entomopathogenic Fungus, *Verticillium lecanii* (Zimm.) on the Cocoa Pod Borer, *Conopomorpha cramerella* (Snellen) Under in-Vitro Conditions. Advances in Biological Sciences Research. In: Proceedings of the International Conference and the 10th Congress of the Entomological Society of Indonesia (ICCESI 2019). Volume 8: pp 54-58.

Aouati A., 2016. Etude de la toxicité d **Amroun M., Bensidhoum M., Delattre P., Gaubert P., 2013.** Feeding habits of the common genet (*Genetta genetta*) in the area of Djurdjura, north of Algeria. *Mammalia*, Volume 78, 1, 35-43.

Aouinty B, Oufara S, Mellouki F & Mahari S., 2006. Evaluation préliminaire de l'activité larvicide des extraits aqueux des feuilles du ricin (*Ricinus communis* L.) et du bois de thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.) sur les larves de quatre moustiques culicidés : *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas), *Culiseta longiareolata* (Aitken) et *Anopheles maculipennis* (Meigen), *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 10 (2) : 67-71.

- Appiah E.F, Afreh-Nuamah K and Obeng-Ofori. D, 2009.** Abundance and distribution of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), in Late Valencia citrus orchards in Ghana. *International Journal of Tropical Insect Science*, 29 (1): 11–16. doi:10.1017/S1742758409351036
- Bachi K ., 2018.** Bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* Wied. 1824 (Diptera; Tephritidae) sur quelques variétés fruitières en Kabylie. Essai de lutte biologique au laboratoire. Thèse de Doctorat Univ. Mouloud Mammeri T.O. 197p.
- Bachi K and Sadoudi- Ali Ahmed D, 2017.** Effect of citrus essential oils on the larvae evolution of *Ceratitis capitata* Wied. 1824 (Diptera: Tephritidae). *BIOSCIENCE RESEARCH*, 14(3): 686-693.
- Bachi K, Sahmoune-Sidi Mansour F and Sadoudi-Ali Ahmed D., 2018.** Insecticidal Effect of Two Lichen Species Extracts *Ramalina farinacea* (L.) Ach. and *Parmelia acetabulum* (Neck.) Duby on adults of *Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 (Diptera: Tephritidae). *Annals of Biological Research*, 2018, 9 (1): 1-6.
- Bachiri L., Echchegadda G., Ibijbijen J., Nassiri L., 2016.** Etude phytochimique et activité antibactérienne de deux espèces de lavandes autochtones au Maroc: *Lavandula stoechas* L. et *Lavandula dentata* L. *European Scientific Journal* 12 (30) : 1857- 7881.
- Bagnouls F et Gaussen H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* (88). 3-4 et 193-239.
- Balachowsky A S and Mesnil L., 1935.** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Ed. Busson, tome 1, Paris : 242-253.
- Bali, E.M.D, Moraiti C.A and Ioannou C.S. 2021.** Evaluation of Mass Trapping Devices for Early Seasonal Management of *Ceratitis Capitata* (Diptera: Tephritidae) Populations *Agronomy.*, 2021, 11: 1101. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061101>.
- Bateman M A., 1972.** The ecology of fruit flies. *Ann. Rev. Entomol*, (17): 493-518.
- Baverstock J, Roy HE & Pell JK., 2010.** Entomopathogenic fungi and insect behaviour: from unsuspecting hosts to targeted vectors. *BioControl* 55: 89-102.
- Behle RW., 2006.** Importance of direct spray and spray residue contact for infection of *Trichoplusia ni* larvae by field applications of *Beauveria bassiana*. *Journal of Economic Entomology* 99: 1120-1128.
- Bell R L, Itai A, 2009** « Chapter 3: Pyrus », dans Chittaranjan Kole (ed.), *Compendium of Transgenic Crop Plants*, Blackwell Publishing Ltd.
- Benabdelkader T., 2012.** Biodiversité, Bioactivité et Biosynthèse des composés Terpéniques volatils des lavandes ailées. *Lavandula stoechas* Sensu lato, un complexe d'espèces méditerranéennes d'intérêt pharmacologique. Thèse de doctorat. Univ. Jean-Monnet de Saint-Etienne, France.289.
- Benelli G, Flamini G, Canale A, Cioni PL, Conti B., 2012.** Toxicity of some essential oil formulations against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae). *Crop Prot.* 42:223 – 229.
- Bennai M et Hamadache A., 2012.** Protection phytosanitaire des arbres fruitiers et de la vigne. Ecole national supérieur d'agronomie, El harrach, Alger, 152 p.

- Benz G., 1987.** Environment. *Epizootiology of insect diseases*, Fuxa JR & Tanada Y (Édit.) Wiley-Interscience, New York, USA. p 177-214.
- Berec, L. Kean, J.M. Epanchin-Niell, R. et al 2015.** Designing efficient surveys: spatial arrangement of sample points for detection of invasive species. *Biological Invasions.*, 17: 445–459. <https://doi.org/10.1007/s10530-014-0742-x>
- Beris EI, Papachristos DP, Fytrou A, Antonatos SA, Kontodimas DC., 2013.** Pathogenicity of three entomopathogenic fungi on pupae and adults of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Pest Science* 86: 275–284.
- Beyer, P. U., et al., 1997.** “The Behaviour of the Entomopathogenic Fungus *Verticillium Lecanii* (Zimm.) Viegas in Soil I. Viability in Soil at Different Ecological Conditions / Das Verhalten Des Entomopathogenen Pilzes *Verticillium Lecanii* (Zimm.) Viegas Im Boden I. Überdauerung Im Boden Unter Verschiedenen Ökologischen Bedingungen.” *Zeitschrift Für Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz / Journal of Plant Diseases and Protection*. vol. 104 (1) : 54–64, <http://www.jstor.org/stable/43386941>. Accessed 4 May 2022.
- Bhagat S, Birah A, Kumar R. Yadav M S, & Chattopadhyay C. 2014.** Plant disease management: Prospects of pesticides of plant origin. In D. Singh (Ed.), *Advances in Plant Biopesticides*, pp. 119–129. Springer India.
- Bidochka, M J., Small, C L., 2005.** Phylogeography of *Metarhizium*, an insect pathogenic fungus Insect-fungal associations: ecology and evolution. Oxford University Press, New York, NY, pp. 75–118.
- Bloomquist J R., 1996.** Ion channels as targets for insecticides. *Annual Review of Entomology*, 41, 163–90.
- Bodenheimer F., 1951.** *Citrus entomology in the Middle East*. Junk, The Hague: 663.
- Boizot N et Charpentier J P., 2006.** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénolique des organes d'un arbre forestier. *Cah. Tech INRA*. N° spécial : 79-82.
- Boualem M., 2010.** Etude bioécologique de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) et de son complexe parasitaire dans la région de Mostaganem." Thèse de doctorat ; université de Mostaganem.200 p.
- Boucias D G et Pendland J C., 1988.** Nonspecific factors involved in the attachment of entomopathogenic deuteromycetes to host insect cuticle. *Appl. Environ. Microbiol.* 54(7): 1795-1805
- Boudjelida, H., and N. Soltani.2011.** Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* (Metsch) on *Ceratitis capitata* L.(Diptera: Tephritidae).*Annals of Biological Research*. Depart. Ento. Univ. Badji Mokhtar,Annaba, Algeria,2(2): 104- 110.
- Boukhelfa T., 1991 -** *Apport du couplage CPG/SM ET CPG/TR.Techniques des analyses des mélanges naturels complexe exemple de l'huile essentielle de romarin*.U.S.T.B.H.Alger.126p.
- Bovey R ., Bolay A. & Mathys G., 1948.** *La défense des plantes cultivées*. Ed. Payot, Lausanne.: 474-476.
- Braga GUL, Destefano RHR, Messias CL., 1999.** Protease production during growth and autolysis of submerged *Metarhizium anisopliae* cultures. *Rev Microbiol* 30:107–113
- Bretaudeau J. & Faurey., 1992:** *Atlas d'arboriculture fruitière*. Vol. IV, 263p.

Burges, H. D., 1981 : Microbial Control of Pests and Plants Diseases 1970-1980. Academic Press, London , N.Y., 949p.

Butt T M and Goettel M S., 2000. Bioassays of Entomogenous Fungi. In: Navon, A. and Ascher, K.R.S., Eds., Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes, CAB International, Wallingford, UK, 141-195. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851994222.0141>

CABI 2014. Datasheet *Ceratitis capitata* (Mediterranean fruit fly). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/12367#tosummaryOfInvasiveness>

CABI 2019. Datasheet *Paecilomyces fumosoroseus*. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/38465>

Cardé R T and Elkinton J S., 1984. Field Trapping with Attractants: Methods and Interpretation. In: Hummel H E, Miller T A (eds) Techniques in Pheromone Research. Springer Series in Experimental Entomology. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5220-7_4

Carreck NL, Butt TM, Clark SJ, Ibrahim L, Isgar EA, Pell JK & Williams IH (2007). Honey bees can disseminate a microbial control agent to more than one inflorescence pest of oilseed rape. *Biocontrol Science and Technology* 17: 179-191.

Casaña-Giner V, Gandía-Balaguer A, Mengod-Puerta C, Primo-Millo J, Primo-Yúfera E, 1999. Insect growth regulators as chemosterilants for *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 92(2):303-308

Casida J E, McLaughlin Gormley King Co M., 1973. Pyrethrum Board of Kenya Pyrethrum, the natural insecticide. Academic Press.

Castillo M A, Moya P, Hernández E et al 2000. Susceptibility of *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) to Entomopathogenic Fungi and Their Extracts. *Biological Control*, 19 (3): 274–282. doi:10.1006/bcon.2000.0867.

Causse R. & Feron M., 1967. Influence du rythme photopériodique sur l'activité sexuelle de la mouche méditerranéenne des fruits : *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera, Trypetidae). *Ann. Epiphyties/INRA*, Vol 18, N°2: 157-192.

Causse R., 1974. Etude du rythme Circadien du comportement de pré-nymphose chez *Ceratitis capitata* Wied. 1824 (Diptera : Trypetidae). *Ann. Zod. Anim*, N° 6, pp 475-498.

Cavalloro R, Delrio G., 1978. Sur la profondeur d'enfouissement de *Ceratitis capitata* Wied. *Rev. Path. Veg. Agric. Fr.* 32 : 45-49.

Cayol J.P., Causse R., Louis C and Barthes J., 1994. Medfly *Ceratitis capitata* as a rot vector in laboratory conditions. *Journal of Applied Entomologie*, 117: 338-343.

Chang C L, Cho I K, Li Q X, 2009. Insecticidal Activity of Basil Oil, trans-Anethole, Estragole, and Linalool to Adult Fruit Flies of *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae*. *Journal of Economic Entomology*. 102 (1), 203-209. DOI:10.1603/029.102.0129

Chapot H., 1963. La Clémentine 'Al Awania', Rabat. (7) 1-34.

Chaudhary S, Kanwar R K, Sehgal A, Cahill D M, Barrow C J, Sehgal R & Kanwar J R. 2017. Progress on *Azadirachta indica* based biopesticides in replacing synthetic toxic pesticides. *Frontiers in Plant Science*, 8(5),1-13.

- Cheik M et Ben Salah H., 1976.** Degré et époques des infestations des principaux hôtes de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wied (Diptera: Trypetidae). Communication présentée au colloque du CLAM (Comité de liaison de l'agrumiculture Méditerranéenne).
- Cheikh M, Howell J F, Harris E J, Ben Salah H, Soria F. 1975.** Suppression of the Mediterranean Fruit Fly in Tunisia with Released Sterile Insects, *Journal of Economic Entomology*, Volume 68 (2), 237–243, <https://doi.org/10.1093/jee/68.2.237>
- Chergui S., 2021.** Bio-écologie de la mouche Méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera : Tephritidae) en Mitidja et essais de lutte biologique en laboratoire. ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURES D'AGRONOMIE-EL HARRACHALGER. 216p.
- Chouvenc T, Su N-Y & Elliott ML. 2008.** Interaction between the subterranean termite *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae) and the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* in foraging arenas. *Journal of Economic Entomology* 101: 885-893.
- Clarkson J.M. et Charnley A.K., 1996.** New insights into the mechanisms of fungal insect pathogenesis in insects. *Trends Microbiol.*, 4, 197-203.
- Colom, O. A., Barrachina, I., Mingol, I. A., Mas, M. C. G., Sanz, P. M., Neske, A., & Bardon, A. (2008).** Toxic effects of annonaceous acetogenins on *Oncopeltus fasciatus*. *Journal of Pest Science*, 81(2), 85–89.
- Copping L G. 2009.** The Manual of Biocontrol Agents 4th Edition. British Crop Production Council (BCPC), Farnham, Surrey UK; 851 pp.
- Cremer S, Armitage SAO & Schmid-Hempel P., 2007.** Social immunity. *Current Biology* 17: R693-R702.
- Crovetti A., CONTI B. & DELRIO G., 1984:** Effect of abiotic factors on *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera, Tephritidae)- II. Pupal développement under constant temperatures, Fruit fly of economic importance. pp: 141-147.
- Dajoz R., 1985.** Précis d'écologie. Paris, Dunod Université, 505 p.
- De Breme, F. 1842.** Note sur le genre *Ceratitis* de M. MacLeay (Diptera), *Annale de la Société Entomologique Française.*, 11: 183–190.
- De Kesel A., 1995.** Relative importance of direct and indirect infection in the transmission of *Laboulbenia slackensis* (Ascomycetes, Laboulbeniales). *Belgian Journal of Botany* 128: 124-130.
- De Meyer M, Copeland RS, Lux SA, Mansell M, Quilici S, Wharton R, White IM, Zenz NJ, 2002.** Annotated check list of host plants for Afrotropical fruit flies (Diptera: Tephritidae) of the genus *Ceratitis*. Koninklijk Museum voor Midden-Afrika Tervuren Belge, Zoölogische Documentatie, 27:1-91
- DE MEYER M., EKESI S., 2016** – Chapter 7 Exotic invasive fruit fly (Diptera, Tephritidae): In and out Africa - S. Ekesi et al. (eds.), *Fruit Fly Research and Development in Africa – Towards a Sustainable Management Strategy to Improve Horticulture*: 127-150. Doi: 10.1007/978-3-319-43226-7_7
- De ravel d'escalopon G., 1967.** Traité pratique d'arboriculture fruitière méridionale, à l'usage des agriculteurs, des professeurs et élèves des lycées agricoles, 481p.

- Debouzie D., 1977.** Etude de la compétition larvaire chez *Ceratitis capitata* (Diptera, Trypetidae). Arch. Zool. Exp Gen. T. 118, Fac c3: 316-334.
- Dehpour A A, Ibrahimzadeh M A, Seyed Fazel N et Seyed Mohamed N., 2006.** Antioxydant activity of the methanol extract of *Ferula assafoetidae* and its essential oil composition. Grasas Y Aceites. Vol 60 : 405-412.
- Delanoue P. & Soria F., 1954.** Contribution à l'étude biologique de la mopuche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wied. Fruit et primeurs N°159 : 353-354.
- Delanoue P., 1951.** Encore la cératite. Extrait de la feuille d'information viticole de Tunisie. N°24 : 8-18.
- Delanoué P., et Soria F., 1962.** Au sujet de l'avortement de l'évolution de *Ceratitis capitata* Wied dans certains agrumes de Tunisie. Ann de l'INRAT vol. 35 : 75-96.
- Delassus M, Bricet J, Balachowsky A & Lepigne A., 1931.** Les ennemis des cultures fruitières en Algérie et les moyens pratiques de les combattre. Ed. Recher. Agro.Algerie.Pp : 53-62.
- Delrio G., 1985.** Tephritid pests in citriculture. CEC/Porc. Experts meeting. Acireal; Balkema. Rotterdam Integrated pest control in citrus. Ed. Recher. Cavaloro and Dimartino: 135 149.
- Dhouibi M.H., Gabbich H. & Saadie B., 1995.** Evolution de l'attaque des fruits par *Ceratitis capitata* en fonction de la position sur l'arbre et du degré de maturité des oranges. Fruits. Vol 50.N° 1: 39-49.
- Diez JM., 2007.** Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedmann).Depar. Of Entom. Honolulu, Hawaii.4p
- Dimetry N Z. 2014.** Different Plant Families as Bioresource for Pesticides. In D. Singh (Ed.), Advances in Plant Biopesticides (Springer, pp. 1–20). New Delhi: Springer.
- Djebaili S., 1978.** Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct., Montpellier, 229p.
- Doré T, Roger-Estrade J, Le Bail M et Ney B M P., 2006.** L'agronomie aujourd'hui, Quae eds. 384p.
- Dowd PF & Vega FE (2003).** Autodissemination of *Beauveria bassiana* by sap beetles (Coleoptera: Nitidulidae) to overwintering sites. *Biocontrol Science and Technology* 13: 65-75.
- Dridi B., 1993.** La mouche méditerranéenne des fruits ou cératite, *Ceratitis capitata*. Journée technique d'information. C .R.IA.A.SRPV de Boufarik.9p.
- Dridi B., 1995.** Journées techniques sur la lutte contre la mineuse et la cératite des agrumes. Alger (PINS MARITIMES 29630 JANVIER.). La lutte autocide contre la mouche méditerranéenne des fruits : *Ceratitis capitata*. I.N.P.V. EL HARRACH : 1-9.
- Duarte A, Fernandes MJ, Bernandes JP, Miguel MG., 2016.** Citrus as a component of the Mediterranean Diet. *Journal of Spatial and Organizational Dynamycs* 4:289-304.
- Durand E., 1912.** *Manuel pratique de culture fruitière*, Paris, Charles Amat, 568 p.
- Duyck P F., 2005.** Compétition interspécifique et capacité invasives. Le cas des *Tephritidae* de l'île de la Réunion. Thèse de doc. Uni. La Réunion.157p.

- Dyck V.A., Hendrichs J. and Robinson A.S., 2005.** Sterilizing insects with ionizing radiation. Sterile Insect Technique, principals and practice in Area-wide integrated pest management: Joint FAO/IAEA programme, Vienna, Austria: 250-253, 431.
- Ekesi S, Maniana N.K, Lux S.A, 2003.** Effect of soil temperature and moisture on survival and infectivity of *Metarhizium anisopliae* to four Tephritid fruit fly puparia. *J. Inverteber.Path.*83 : 157-167.
- Ekesi S, Maniana NK, Lux SA., 2002.** Mortality in three African Tephritid fruit fly puparia and adults caused by the entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. *Biocontrol Science Technology* 12:7–17.
- El Bouzidi S 2002.** Le figuier : histoire, rituel et symbolisme en Afrique du Nord, Dialogues d'histoire ancienne, V. 28 n°2, 103-120.
- El Sahzly A and Hussein K T., 2004.** Chemical analysis and biological activities of the essential oil of *Teucrium leucocladum* Boiss. (Lamiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 32(7):665-674. DOI: 10.1016/j.bse.2003.12.009
- Emberger L., 1936.** Remarques critiques sur les étages de végétation dans les montagnes marocaines. *Bull. Soc. Bot. Suisse*, vol. jub. Rübel, 46: 614–631.
- Fahad K, Gmira N, Benziane T et Sekkat A., 2013.** Etude de la bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann (1824) sur rosacées dans la région de Sefrou Maroc. *Faunistic Entomology* 2014 (67): 85 -95.
- FAO stat 2020.** Database of Agricultural Statistics. Food and Agriculture organisation of United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en>
- FAO/IAEA. 2013.** Trapping guidelines for area-wide fruit fly programmes. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.
- Fargues J, Goettel MS, Smits N, Ouedraogo A & Rougier M., 1997a.** Effect of temperature on vegetative growth of *Beauveria bassiana* isolates from different origins. *Mycologia* 89: 383-392.
- Fargues J, Goettel MS, Smits N, Ouedraogo A, Vidal C, Lacey LA, Lomer CJ & Rougier M., 1996.** Variability in susceptibility to simulated sunlight of conidia among isolates of entomopathogenic hyphomycetes. *Mycopathologia* 135: 171-181.
- Fargues J, Ouedraogo A, Goettel MS & Lomer CJ., 1997b.** Effects of temperature, humidity and inoculation method on susceptibility of *Schistocerca gregaria* to *Metarhizium flavoviride*. *Biocontrol Science and Technology* 7: 345-356.
- Faria M & Wraight SP., 2001.** Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Protection* 20: 767–778.
- Fellah H., 1996.** Contribution à l'étude de la bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Weidemann (Diptera : Tephritidae) sur les fruits d'été. Mémoire de fin de cycle de spécialisation de l'INAT. Tunisie.
- Feng Z, Carruthers RI, Roberts DW & Robson DS., 1985.** Age-specific dose-mortality effects of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) on the european corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 46: 259– 264.
- Feron M., 1957.** Le comportement de ponte de *Ceratitis capitata* Wied: influence de la lumière. *Revu.Path.Veg .Ent. Agr. Fr.* 36 : 127-143.

- Ferradji A, Chabour H, Malek A. 2011.** Séchage solaire des figues : Bilan thermique et isotherme de désorption. *Revue des Energie Renouvelables*, V. 14, n° 4, 717-726.
- Ferron P, Fargues J et Riba G., 1991.** Fungi as microbial insecticides against pests. In *Handbook of Applied Mycology. Humans, animals and insects* (Arora, D.K., Ajello, L., Mukerji, K.G., Eds.), *Marcel Dekker*, New York, Vol 2, 665-706
- Ferron P., 1978.** Biological control of insects pests by entomogenous fungi. *Ann. Rev. Entomol.* 23: 409-442.
- Fimiani, P. 1989.** Part 2. Pest Status. Chapter 2.1. Mediterranean Region. Robinson AS, Hooper G, eds. *World Crop Pest, 3A. Fruit Flies Their Biology, Natural Enemies and Control.* Elsevier, Amsterdam, Netherlands: 39–50.
- Fitt, G.P., 1986.** The roles of adult and larval specializations in limiting the occurrence of five species of *Dacus* (Diptera, Tephritidae) in cultivated fruits. *Oecologia*, 69: 101-109.
- Fürstenberg-Hägg J, Zagrobelny M, Bak S., 2013.** Plant defense against insect herbivores. *Int J Mol Sci*,14(5):10242-10297.
- Gahbiche H., 1993.** Contribution à l'étude de la bioécologie de la mouche Méditerranéenne des fruits *Ceratitiscapitata* Wiedmann 1829 (Diptera: Tephritidae) dans deux biotopes du nord de la Tunisie. Mémoire de fin d'études de cycle de spécialisation, INAT, Université de Carthage
- Gams W et Zare R. 2001.** A revision of *Verticillium* sect. *Prostrata*. III. *Generic classification*, vol. 72 : 329–337. DOI 10.1127/nova.hedwigia/72/2001/329
- Geoffrion R., 2003.** Réchauffement climatique et maladies des plantes. *Bull. Comité météorologique départemental de Maine et Loire* 3p.
- Ghniimi Wafa., 2015.** Étude phytochimique des extraits de deux Euphorbiaceae : *Ricinus communis* et *Jatropha curcas*. Évaluation de leur propriété anti-oxydante et de leur action inhibitrice sur l'activité de l'acétylcholinestérase. Autre. Université de Lorraine, Français. NNT : 2015LORR000tel-0175129. Thèse de doctorat.
- Gilmore, J E., 1989.** Control sterile insect technique (SIT); overview. In: *World Crop Pests 3(B) Fruit flies; their biology, natural enemies and control* (Ed. By Robinson, A.S.; Hooper, G.), pp. 353-363. Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas
- Gilmour O., 1968.** *Metabolismo de los insectos*. Version espagnola de Polar Alonso Sanjum. Editorial Alhambra S.A.Madrid.
- Goettel M S and Inglis D G., 1997.** Fungi: Hyphomycetes. In "Manual of Techniques in Insect Pathology", (L. Lacey, Ed.), pp 213–249. Academic Press, London.
- Goettel M S et St Leger R J., 1990.** Pathogenicity and growth of *Metarhizium anisopliae* stably transformed to benomyl resistance. *Curr. Genet.* 17: 129-132.
- Goettel M.S., 1992.** Des champignons comme agent de lutte biologique. In: *PIbadam, CAB International, IITA, La lutte biologique contre les acridiens, Nigeria*, p. 122-131.
- Greathead D J, Kooyman C, Launois-Luong M H et Popov G B., 1994.** Les ennemis naturels des criquets du Sahel. ed. Cirad/Prifas, Collection Acridologie Opérationnelle, Montpellier, 147p.

- Green B T, Welch K D, Panter K E & Lee ST, 2013.** Plant Toxins That Affect Nicotinic Acetylcholine Receptors: A Review. *Chemical Research in Toxicology*, 26(8), 1129–1138.
- Groden, E., and Lockwood, J.L. 1991.** *J. Invert. Pathol.* 57(1), 7.
- Hajek A E and St.leger R J., 1994.** Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Ann. Rev. Entomol.*, 39, 293-322.
- Hajek AE, Huang B, Dubois T, Smith MT & Li Z., 2006.** Field studies of control of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) using fiber bands containing the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology* 16: 329-343.
- Hallsworth JE & Magan N., 1999.** Water and temperature relations of growth of the entomogenous fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Paecilomyces farinosus*. *Journal of Invertebrate Pathology* 74: 261-266.
- Harris, E.J., 1977.** The threat of the Mediterranean fruit fly to American agriculture and efforts being made to counter this threat. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* 22: 475–80.
- Heath, R.R. Epsky, N.D. Dueben, B.D., 1997.** Adding methyl-substituted ammonia derivatives to a food-based synthetic attractant on capture of the Mediterranean and Mexican fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 90: 1584-1589.
- Hendrichs J, Hendrichs MA, 1990.** Mediterranean fruit fly (Diptera, Tephritidae) in nature: Location and diel pattern of feeding and other activities on fruiting and nonfruiting hosts and nonhosts. *Annals of the Entomological Society of America*, 83:632–641.
- Heppner J B. 1985.** larvae of fruit flies.II. *Ceratitidis capitata* (mediterranean fruit fly) (Diptera: Tephritidae).*Entom.Circu.*273. 2p.
- Howe G A, Jander G. 2008.** Plant immunity to insect herbivores. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 41–66.
- Humber R A. 2012.** Identification of entomopathogenic fungi. In: Lacey, L.A. (Ed.), *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Academic Press, Amsterdam, the Netherlands, pp. 151–187.
- Inglis D G, Goettel S M, Butt M T and Strasser H., 2001.** Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In *Fungi as Biocontrol agents, Progress, Problem and Potential*. Eds. Butt T M, Jackson C and Morgan N., pp. 23-69. Oxon, UK: CAB International. ISBN 0-82478435-9.
- Integrated Taxonomic Information System – Report (ITIS), *Ceratitidis capitata*** (Wiedemann, 1824), Taxonomic Serial No.: 143196, <https://www.itis.gov> (01/02/2019).
- Ioannou C.S., Papadopoulos A N.T., Kouloussis N.A., Tananaki C.I., Kastoyanos B.I., Jaronski ST., 2010.** Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl* 55: 159–185.
- Ioannou C.S., Papadopoulos A N.T., Kouloussis N.A., Tananaki C.I., Kastoyanos B.I., 2012.** Essential oils of citrus fruit simulate oviposition in the mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* (Diptera : Tephritidae).*Physiological Entomology*, volume 37 (4): 330 339.

- Isman M B. 2017.** Bridging the gap: Moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. *Ind. Crops Prod.* 110, 10–14.
- ITAFV, 2004.** La culture des agrumes. Institut Technique de l'Arboriculture Fruitières et de la Vigne. 24p
- Jaronski ST, 2010.** Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl* 55: 159–185.
- Jatala P, 1986.** Biological control of plant-parasitic nematodes. *Ann. Rev. Phytopath.* 24: 453-489.
- Jena J & Gupta A K. 2012.** *Ricinus communis* linn: A phytopharmacological review. *Int J Pharm Pharm Sci*, 4(4), 25–29.
- Jennifer M A & Nisbet A J. 2000.** Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against insects. *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 29(4), 615–632.
- Jones V P, 1988.** Longevity of apple maggot (Diptera: Tephritidae) lures under laboratory and field conditions in Utah. *Environmental Entomology.*, 17: 704-708. <https://doi.org/10.1093/ee/17.4.704>
- Karboa M., 2001.** L'agrumiculture en Algérie. Option méditerranéenne n°43. Ed : CIHEAM. pp 21-26.
- Katsoyannos B I, Heath R R, Papadopoulos N T et al 1999a.** Field evaluation of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) female selective attractants for use in monitoring programs. *Journal of Economic Entomology.*, 92: 583-589.
- Katsoyannos B I, Papadopoulos N T, Heath R R et al 1999b.** Evaluation of synthetic food-based attractants for female Mediterranean fruit flies (Dip., Tephritidae) in McPhail type traps. *Journal of Economic Entomology.*, 123: 607-612.
- Katsoyannos B I., 1986.** Effect of color properties on the selection of oviposition site by *Ceratitis capitata*. *Entomol. Exp. Appl.* 42: 187-193.
- Keith D et Keven M E., 1992.** Les agents de lutte biologiques existant et potentiel contre les orthopteroïdes nuisibles. In Vickery V R., 1992.- Obituary Douglas Keith McEwan Kevan (1920-1991). – *Antenna, Bulletin of the Entomological Society of London (London)*, 16(1): 4-6.
- Keller S. et Zimmermann G. J., 1 989.** Mycopathogens of soil insects. [n Wilding, N., N. Collins, N. M.Hammond, P. M. Webber, and I. F. Webber (eds.), *Insect-Fungus Interactions*. Academic Press, London, p. 240-269.
- Keller S., 1987.** Arthropod-pathogenic entomophthorales of Switzer- Land. I. *Conidiobolus*, *Entomophaga* and *Entomophthora* . *Sydowia* 40: 122-67.
- Kharbanda P D and Bernier C C., 1979.** Effectiveness of seed and foliar application of fungicides to control Ascochyta blight of fababeans. *Can. J. Plant Sci.* 59:661-666.
- Kim J T, Lee M H, Yoon C S, Kim H S, Yoo T K, Kim K C. 2002.** Control of cotton aphid and greenhouse whitefly with a fungal pathogen. *Journal of National Institute of Agricultural Science and Technology* 7–14.
- Kiran B R, Narasimha M, & Prasad V. 2017.** *Ricinus communis* L. (Castor bean), a potential multi-purpose environmental crop for improved and integrated phytoremediation. *The EuroBiotech Journal*, 1(2), 101–116.

- Köhler H R, Triebkorn R. 2013.** Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? *Science* 341, 759–765.
- Kottek M, Grieser J, Beck C et al 2006.** World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift.*, 15(3): 259–263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Koul O, Isman M B, & Ketkar C M. 1990.** Properties and uses of neem, *Azadirachta indica*. *Canadian Journal of Botany*, 68(1), 1–11.
- Kouloussis N A, Papadopoulos N T and Müller H G., 2009.** Life table assay of field-caught Mediterranean fruit flies, *Ceratitis capitata*, reveals age bias. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, 132: 172–181 DOI: 10.1111/j.1570-7458.2009.00879.x
- Krainaker D A, Carey J R and Vargas R I. 1989.** Size-specific survival and fecundity for laboratory strains of two tephritid (Diptera: Tephritidae) species: implications for mass rearing. *J. Econ. Entomol.* 82: 104-108.
- Kreutz J, Vaupel O & Zimmermann G (2004a).** Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. against the spruce bark beetle, *Ips typographus* L., in the laboratory under various conditions. *Journal of Entomology and Nematology* 128: 384-389.
- Kreutz J, Zimmermann G & Vaupel O (2004b).** Horizontal transmission of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* among the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Col., Scolytidae) in the laboratory and under field conditions. *Biocontrol Science and Technology* 14: 837-848.
- Kumar A, Memo M, Mastinu A. 2020.** Plant behaviour: An evolutionary response to the environment? *Plant Biol.* 22, 961–970.
- Kumar A, Premoli M, Aria F, Bonini S A, Maccarinelli G, Gianoncelli A, Memo M, Mastinu A. 2019.** Cannabimimetic plants: Are they new cannabinoidergic modulators? *Planta* 249, 1681–1694.
- Kumar A, Singh S P & Bhakuni R S., 2005.** Secondary metabolites of *Chrysanthemum* genus and their biological activities. *Current science*, 89(9), 1489-1501.
- Laamari et Talbi., 2015.** *Ceratitis capitata*: une nouvelle menace pour le pommier en Algérie. *Bulletin OEPP* 45 (2) : 207-208. <https://doi.org/10.1111/epp.12203>
- Lacey L.A., Fransen J.J., et Carruthers R.I., 1996.** Global distribution of naturally occurring fungi of *Bemisia*, their biologicals and use as biological control agents. In: *Bemisia 1995: Taxonomy, Biology, Damage, and Management'* (Gerling, D. and Mayer, R., Eds.), pp. 401-433. Intercept, Andover.
- Lachiheb A., 2008.** Optimization de la dose d'irradiation dans le cadre d'un projet de lutte contre *Ceratitis capitata*. Mémoire d'ing. Ecol sup. d'Agri. De Morgane, Tunisie.122p.
- Lance D R and Gates D B., 1994.** Sensitivity of detection trapping systems for Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae) in southern California. *Journal of Economic Entomology.*, 87:1377-1383.
- Latge J P and Monsigny M., 1988.** Visualization of exocellular lectins in the entomopathogenic fungus *Conidiobolus obscurus*. *J. Histochem. Cytochem.* 36: 1419- 1424.
- Lavallée R, Guertin C & Thurston G., 2010.** *The use of Beauveria bassiana as a mycoinsecticide against native and exotic beetles.* SERG short report, Halifax, Canada. 6 p.

Lekchiri, A., 1982. La cératite au Maroc, CEC/IOBC Symposium Athènes, R. Cavallero, pp. 571-575.

Levinsona, H.Z. Levinsona, R. and Muller, K. 1990. Influence of some olfactory and optical properties of fruits on host location by the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) Wied. Journal of Applied Entomology., 109: 44-54.

Liquido N J, Barr P G and Cunningham R T., 1998. MEDHOST: An encyclopedic bibliography of the host plants of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (electronic database/program). USDA, Agriculture Research Service. ARS—144 In: Thompson FC (ed), Fruit Fly Expert Identification System and Biosystematic Information Database. Diptera Data Dissemination Disk (CD—Rom). D:/Medhost.

Liquido N.J., Cunningham R.T., et Nakagawa S., 1990: Host plants of the mediterranean fruit fly on the island of Hawaii (1949-1985 survey). J. Econ.Entomol. 83: 1863 1878.

Liu H & Bauer LS., 2006. Susceptibility of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) to *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Economic Entomology* 99: 1096-1103.

Loussert R., 1989. Les agrumes : Production, vol.1, Paris : Lavoisier Tec.& Doc 158.

Loussert. R., 1989. Les agrumes production. Ed. sci. Univ., Vol.2, Liban, 280p.

Luz C et Fargues J., 1997. Temperature and moisture requirement for conidial germination of an isolate of *Beauveria bassiana*, pathogenic to *Rhodnius prolixus*. *Mycopathologia* 138:117-125.

Lyons DB, Lavallée R, Kyei-Poku G, Van Frankenhuyzen K, Johnny S, Guertin G, Francese JA, Jones GC & Blais M., 2012. Towards the development of an autocontamination trap system to manage populations of emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) with the native entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *Journal of Economic Entomology* 105: 1929-1939.

MADR., 2019. Statistique Agricole « Superficies et Productions », Série B 2019. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Malacrida AR, Gomulski LM, Bonizzoni M, Bertin S, Gasperi G., 2006. Globalization and fruitfly invasion and expansion: the medfly paradigm. *Genetica* 131: 1–9
10.1007/s10709-006-9117-2

Malavasi A, Zucchi R A., 2000. Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto., Holos 327.

Maniania NK, Ouna E, Ahuya P, Frérot B, Félix A-E, Ru BL & Calatayud PA., 2011. Dissemination of entomopathogenic fungi using *Busseola fusca* male as vector. *Biological Control* 58: 374-378.

Martinez-Ferrer MT, Campos JM, Fibla JM., 2012. Field efficacy of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) mass trapping technique on clementine groves in Spain. *J Appl Entomol* 136(3):181–190.

Matsuda K, Buckingham S D, Kleier D, Rauh J J, Grauso M & Sattelle D B., 2001. Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. *Trends in Pharmacological Sciences*, 22(11), 573–80.

- Mau R, Martin Kessing JL., 1992.** *Ceratitidis capitata* (Wiedemann). University of Hawaii Crop Knowledge Master. Updated by: J.M. Diez April 2007. <http://www.extento.hawaii.edu/kbase/crop/Type/ceratiti.htm> (18/10/2019).
- Mauri N., 1939.** Les figuiers cultivés en Kabylie. Contribution à leur détermination et étalonnage. Document et renseignement agricole, bulletin n°5, Alger. 64 P.
- McCoy A., Quintela E D et Faria M., 1990.** Environmental Persistence of entomopathogenic Fungi. In, New direction in biological control. R.R. Baker and P.E. Dunn (Eds), A.R. Liss, New York.p. 139-159.
- McCoy C W, Samson R A and Boucias D G., 1988.** Entomogenous Fungi. In: Handbook of Natural Pesticides: Microorganisms. (Eds.: Ignoffo et.al.). CRC Press,pp. 260.
- Mclaughin, G. A. (1973).** –History of Pyrethrum. In Pyrethrum (pp. 3– 15).
- Meyling N.V., Eilenberg, J., 2007.** Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassina* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control. Biological Control 43(2): 145-155.
- Mioulane P., 1996.** Le truffant : Encyclopédie pratique illustrée du jardin. Ouvrage collectif. Ed. Bordas: 35-41.
- Miresmaili S & Isman M B. 2014.** Botanical insecticides inspired by plant–herbivore chemical interactions. Trends in Plant Science, 19 (1), 29–35.
- Mostefaoui O, Sekour M, Balmès V, Ben Halima Kamel M., 2020.** Emergence de *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) sur culture protégée de piment (Solanaceae) en zone subsaharienne (Algérie). Bulletin OEPP 50 (3) : 572-575. <https://doi.org/10.1111/epp.12703>
- Nation JL., 2016.** *Insect physiology and biochemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL, Third Ed. 690 p.
- Navarro-Llopis V, Alfaro F, Niguez JD, Sanchis J and Primo J., 2008.** Evaluation of Traps and Lures for Mass Trapping of Mediterranean Fruit Fly in Citrus Groves, J. Econ. Entomol. 101(1): 126-131. DOI: 10.1603/0022-0493(2008)101[126:EOTALF]2.0.CO;2
- Navarro-Llopis V, Sanchis-Cabanes J, Ayala I, Casaña-Giner V, Primo-Yúfera E 2004.** Efficacy of lufenuron as chemosterilant against *Ceratitidis capitata* in field trials. Pest Management Science, 60(9):914-920.
- Nene Y L. 2012.** Potential of some methods described in Vrikshayurvedas in crop yield increase and disease management. Asian Agrihist. 16, 45–54.
- Nishida T, Harris E J, Vargas R I and Wong T T Y. 1985.** Distributional loci and host fruit utilization patterns of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) in the Hawaii, Environ. Entomol. 14: 602-605.
- Nunez B L, 1987.** La moska del mediterreo, Informa (Enera. Febero-Maio), CA, pp.9-17.
- Nunez E, Iannacone J, Gomez, H. 2008.** Effect of two entomopathogenic fungi in controlling *Aleurodicus* *coccis* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae). Chilean Journal of Agricultural Research 68, 21–30.
- Ollitrault P, Navarro L., 2012.** Citrus. In: Badenes ML, Byrne DH (eds) Fruit Breeding. Springer US, Boston, MA, pp 623-662. doi: 10.1007/978-1-4419-0763-9_16
- Orts R & Giraud M., 2006.** Protection intégrée pommier-poirier. 2ème éd : centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. 324p.

- Ouedraogo A, Fargues J, Goettel MS, Lomer CJ, 1997.** Effect of temperature on vegetative growth among isolates of *Metarhizium anisopliae* and *M. flavoviride*. *Mycopathologia*. 137(1):37-43. doi: 10.1023/A:1006882621776. PMID: 16284806.
- Oukil S, Bues R, Toubon J F and Quilici S., 2002.** Allozyme polymorphism in populations of *Ceratitis capitata* from Algeria, the northwestern Mediterranean coast and Reunion Island. *Fruit* 57: 183-191.
- Oukil S., 1995.** Effet des insecticides et des radiations ionisantes en relation avec la variabilité de *Ceratitis capitata* (Diptera :trypetidae). Thèse 3^{ème} cycle.Univ. Aix. Marseille III. Fac. Sci. Tech. St Jerome. 138p.
- Palacios SM, Bertoni A, Rossi Y, Santander R, Urzúa A., 2009.** Efficacy of Essential Oils from Edible Plants as Insecticides Against the House Fly, *Musca Domestica* L. *Molecules* 14(5):1938-1947. <https://doi.org/10.3390/molecules14051938>
- Papadopoulos N T, Katsoyannos B I, Kouloussis N A., 2001.** Early Detection and Population Monitoring of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in a Mixed-Fruit Orchard in Northern Greece. *Journal of economic entomology.*, 94(4): 971-978.
- Papadopoulos N T, Katsoyanos B I , Kouloussis N A & Hendrichs J., 2001.** Effect of orange peel substances on mating competitiveness of male *Ceratitis capitata*.*Entomol. Exp. Appl.* 99: 253-261.
- Papadopoulos N T, PAPACHRISTOS D P AND IOANNOU C., 2015.** *Citrus Fruits and the Mediterranean Fruit Fly*. Proc. XIIth Intl. Citrus Congress Eds.: B. Sabater-Muñoz et al. *Acta Hort.* 1065, ISHS 2015: 1009-1018. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1065.126
- Papadopoulos N T, Papachristos D P and Ioannou C., 2015.** Citrus Fruits and the Mediterranean Fruit Fly. Proc. XIIth Intl. Citrus Congress Eds.: B. Sabater-Muñoz et al. *Acta Hort.* 1065, ISHS 2015: 1009-1018. DOI:10.17660/ActaHortic.2015.1065.126
- Papaj DR & OPP S.BR.J., 1989.** Cross inductions of fruit fly acceptance by medfly *Ceratitis capitata*. *J. Insect behavior*. Vol.2.15 ref: 241-254.
- Pelikan J., 1986.** Matière première du règne végétal. Ed. Masson et cie.T.2, Paris, 2343p.
- Pell JK, MaCaulay EDM & Wilding N., 1993.** A pheromone trap for dispersal of the pathogen *Zoophthora radicans* Brefeld. (Zygomycetes: Entomophthorales) amongst populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Biocontrol Science and Technology* 3: 315-320.
- Peña et al. 2009.** Citrus. In : Kole C, Timothy C H (eds) *Compendium of Transgenic Crop Plants*. John Wiley & Sons, Ltd. doi : 10.1002/9781405181099.k0501
- Pereira, L.G.B., 2002.** Biological activity of astilbin from *Dimorphandra mollis* against *Anticarsia gemmatalis* and *Spodoptera frugiperda*. *Pest Manag. Sci.*, V.58, n.5 : 503-507.
- Perry AS, Yamamoto I, Ishaaya I, Perry RY., 1998.** Insecticides in agriculture and environment: retrospects and prospects. Springer, Berlin, p 275.
- Poletti A., 1982.** Les fleurs et les plantes médicinales. Ed. Delachaux et Niestle, Lausanne, T. 1 : 1-190
- Praloran G., 1971.** Les agrumes. Techniques agricoles et production tropicale. Ed. Maison neuve et Lanos, Paris.556p.

- Quesada-Moraga E, Martin-Carballo I, Garrido-Jurado I & Santiago-Álvarez C., 2008.** Horizontal transmission of *Metarhizium anisopliae* among laboratory populations of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Biological Control* 47: 115-124.
- Quesada-Moraga E, Ruiz-Garcia A, Santiago-Alvarez C., 2006.** Laboratory evaluation of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against puparia and adults of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology* 99:1955–1966.
- Quillici S., 1993.** Programme de recherche et d'action sur la mouche méditerranéenne des fruits à l'île de la Réunion. *Fruit*. Vol. 49. Spécial « vergers tropicaux » pp : 28-41.
- Ramade F., 2003.** Élément d'écologie fondamentale, 3ème édition DUNOD, Paris, 690p.
- Ramírez-Rodríguez D O, Rivas-González R., 2021.** Chemical composition of *Ricinus communis* and *Momordica charantia* seeds extracts and its bioactivity against the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner). *Int J Trop Insect Sci* 41, 2991–2996. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00486-8>.
- Ramoska W.A., 1984.** The influence of relative humidity on *Beauveria bassiana* infectivity and replication in the ching bug. *Blissus leucopterus*. *J. Invertebr. Pathol.* 43 :389-394.
- Rana M, Dhamija H, Prashar B & Sharma S. 2012.** *Ricinus communis* L. A review. *Int. J. Pharm Tech Res.*, 4(4), 1706–1711.
- Rapilly F., 1968.** Les techniques de mycologie en Pathologie végétale, *Ann. Epiphyt.*, 19, n° hors série 97 p.
- Rebour H., 1945.** Union des syndicats des producteurs d'agrumes, 502 pages.
- Regnault-Roger C., 1997.** The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integr. Pest Manage. Rev.* 2, 25–34.
- Regnault-Roger C., Ribodeau M, Hamraoui A, Bateau I, Blanchard P, Gil-Munoz MI, Barberan FT., 2004.** Polyphenolic compounds of Mediterranean Lamiaceae and investigation of orientational effect on *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Journal of stored Product Research* .Volum 40 (4): 395-408.
- Riba G et Silvy C., 1999.** Biopesticide contre maladies, insectes mauvaises herbes. La lutte biologique (II). Dossier de l'environnement de l'INRA Paris (19): 157-201.
- Riba G, Sforza R et Silvy C., 2008.** Lutte biologique. In : La Science au présent 2008. Une année d'actualité scientifique et technique. *Encyclopædia Universalis France*, 201-213.
- Robl D, Sung LB, Novakovich JH, et al., 2009.** Spore production in *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) samson strains on agro-industrial residues. *Braz J Microbiol.*;40(2):296-300. doi:10.1590/S1517-838220090002000016
- Roger J P., 2002.** La conduite du figuier *Ficus carica* L. famille des moracées genre Ficus. Synthèse. In : Acte de la journée figuier. Potentialités et perspectives de développement de la figue sèche au Maroc. Meknès, 27 juin 2002, pp. 32-41.
- Roy HE & Pell JK., 2000.** Interactions between entomopathogenic fungi and other natural enemies: implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology* 10: 737-752.
- Sadoud Ali Ahmed, D. Soltani, N. Kellouche, A., 2011.** Fluctuating Populations of *Ceratitis capitata* Wied. 1824 (Diptera; Trypetidae) In Kabylia Orchards Using Various Traps. *International Journal of AgriScience.*, 1(2): 75-84.

- Sadoudi-Ali Ahmed D., 2007.** Bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 (Diptera: Trypetidae) dans quelques vergers de la Kabylie. Thèse de Doc. Uni. Tizi-Ouzou, 197 p.
- Sadoudi-Ali Ahmed D., Rezoug N., Saiki F., and N.Soltani., 2012.** Effect of the variety of fig Tree on some biological Parameters of *Ceratitis capitata* Wied. 1824 (Diptera: Trypetidae) in some orchards in the Kabylie. Journal of Life Sciences 6: 313-320.
- Sadoudi-Ali Ahmed D., Soltani N., and Kellouche A., 2011.** Factors influencing the development of *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae) on different fruits species in Kabylia (Algeria). Frustula entomol (2010-2011), n.s XXXIII (XLVI): 192-209.
- Salah Z., 2020.** Biodiversité des mécanismes et des molécules mis en œuvre en réponse aux agressions parasitaires chez *Citrus sinensis* dans la région de Tlemcen (Ouest-Algérien). Thèse de doctorat. Université Aboubakr Belkaid-Tlemcen. 167p.
- Salvo A et Valladares G R., 2007.** Leafminer parasitoids and pest management, *Cien.Inv.Agr*, 34(3) : 167-185.
- Samish M, Gindin G, Alekseev E, Glazer I., 2001.** Pathogenicity of entomopathogenic fungi to different developmental stages of *Rhipicephalus sanguineus* (ACARI: IXODIDAE). Journal of Parasitology 87(6):1355–1359 <https://doi.org/10.1645/0022>
- Sampaio GH., Myazaki I. & Olivera D.A., 1984.** Possible factors determining the degree of susceptibility of certain citrus varieties to attack by fruit flies. *Biologico*. Ref 5: 273-284.
- Samson R A, Evans H C et Latg J P., 1988.** Atlas of entomopathogenic fungi. Ed. Springer, Berlin Heidelberg New York. 208 p.
- Samuels K D Z and Pinnock D E., 1990.** Scarabeid larvae control in sugarcane using *M. anisopliae*. Journal of invertebrate pathology. 55 : 135-137.
- Sasanelli N. and Di-Vito M., 1991.** The effect of Tagetes extracts on the hatching of an Italian population of *Globodera rostochiensis*, *Nematol. Medt.*, 19 :135-137
- Scarpa A & Guerci A., 1982.** Various uses of the castor oil plant (*Ricinus communis* L.) a review. *Journal of Ethnopharmacology*, 5(2), 117–137.
- Schmutterer H., 1990.** Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35(1), 271–297.
- Schwarz AJ, Liedo JP, Hendrichs JP., 1989.** Current programme in Mexico. In Robinson AS and Hooper G [eds.], *Fruit Flies, Their Biology, Natural Enemies and Control*. World Crop Pests, vol. 3B pp.375-386, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Sciarretta A, Trematerra P., 2011.** Spatio-temporal distribution of *Ceratitis capitata* population in a heterogeneous landscape in Central Italy. *J Appl Entomol* 135: 241–251 [10.1111/j.1439-0418.2010.01515.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01515.x)
- Scora RW., 1975.** On the History and Origin of Citrus. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 102:369-375. [doi:10.2307/2484763](https://doi.org/10.2307/2484763)
- Sebastian Kiewnick., 2006.** Effect of temperature on growth, germination, germ-tube extension and survival of *Paecilomyces lilacinus* strain 251, *Biocontrol Science and Technology*, 16:5, 535-546, DOI: [10.1080/09583150500532766](https://doi.org/10.1080/09583150500532766)

- Seguy E., 1950.** La biologie des Diptères: Encyclopédie entomologique. Ed. Paul Le chevalier Paris VI. 609p.
- SETTAOUI S, TAIBI A., HAMMADI F et DOUMANDJI S., 2017.** Infestation des agrumes par la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (WIEDEMANN, 1824) (DIPTERA, TRYPETIDAE) à Tlemcen – Algérie. Algerian journal of arid environment, 7 n°1: 102-110.
- Shan B, Cai Y Z, Sun M and Corke H., 2005.** Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituent. Journal of the agricultural and food chemistry. 53- 7749-7759.
- Shimazu M., 2004.** A novel technique to inoculate conidia of entomopathogenic fungi and its application for investigation of susceptibility of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, to *Beauveria bassiana*. *Applied Entomology and Zoology* 39: 485-490.
- Shimazu M., 2004.** Effects of temperature on growth of *Beauveria bassiana* F-263, a strain highly virulent to the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, especially tolerance to high temperatures. *Appl. Entomol. Zool.* 39: 469–475.
- Shoukry A and Hafez M., 1979.** Studies on the biology of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*. *Ent. Exp. And Appl.* N° .26 : 33-39.
- Silvy C et Riba G., 1999.** Biopesticides contre maladies, insectes, mauvaises herbes. In :fraval, a., Silvy, C. éd. La lutte biologique (II). Dossier de l'environnement de l'INRA n°19. Paris, 274p
- Soliman NA, Sherihan M A, Amira E M, Ahmed M A and Ali M A., 2020.** Pathogenicity of three entomopathogenic fungi against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 30:49. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00235-y>
- Somerfield, K.G., 1989.** Establishment of fruit fly surveillance trapping in New Zealand. *New Zealand Entomologist.*, 12(1): 79-81. DOI:10.1080/00779962.1989.9722572
- Soni N, Prakash S., 2012.** Larvicidal effect of *Verticillium lecanii* metabolites on *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* larvae. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 220-224.
- Soria F., 1961.** Evolution des chutes des fruits dans un verger d'agrumes en Tunisie au cours de la saison agrumicole 16/61 *Ann. De l'INRAT*, vol 32 : 95-108.
- Soria F., 1963.** Etude des populations et de dispersion de *Ceratitis capitata* Wied.(Diptera : Trypetidae) en Tunisie à l'aide des radio-isotopes. *Int. Atomic.Energy. Agency IAEA* vienne : 357-363.
- Sotelo-Leyva C, Salinas-Sánchez D O, Peña-Chora G, Trejo-Loyo A G, González-Cortázar M, Zamilpa A., 2020.** Insecticidal Compounds in *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae) to Control *Melanaphis sacchari* Zehntner (Hemiptera: Aphididae), *Florida Entomologist.*, 103(1), 91-95,.
- Soummane H., M. Larhsini, K. Naamani and J. Coll., 2011.** Studies of Larvicidal and Adulticidal Activities of Some Halophyte Plant Extracts Against *Ceratitis capitata* (Wiedemann). *Journal of Entomology*, 8: 548-556.
- Spreen TH., 2001.** Projections de la production et de la consommation mondiales d'agrumes en 2010. In : Symposium sur les agrumes, Chine/FAO.5-14.

- Sproul A N, 1983.** Fruit fly control in backyard orchards. Farmnote N°120, West. Dep.Agric. 3p.
- St Leger RJ et Frank D C., 1992.** Molecular cloning and regulatory analysis of the cuticle-degrading- protease structural gene from the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. Eur J Biochem 204 (3): 991-1001.
- St Leger RJ, 1993.** Biology and mechanisms of insect-cuticle invasion by Deuteromycetes fungal pathogens. In: Parasites and pathogens of insects (Vol.2). Beckage NE., Tompson SN, Federici BA (eds). Academic Press Inc, New York, USA: 211-225.
- Stansic J, 1986. Evolution de la lutte chimique contre la cératite des agrumes en Algérie (*Ceratitis capitata* Wied). Annales de l'INA, 1986, 67-73.
- Staples JA & Milner RJ., 2000.** A laboratory evaluation of the repellency of *Metarhizium anisopliae* conidia to *Coptotermes lacteus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology* 36: 133-148.
- Stark JD, Vargas R., 2009.** An evaluation of alternative insecticides to diazinon for control of Tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) in soil. J Econ Entomol 102:139–143.
- Starnes R L, Liu C L et Marone P G., 1993.** History, use and future of microbial insecticides. Amer. entomol. 39: 83-91.
- Steinkraus DC., 2006.** Factors affecting transmission of fungal pathogens of aphids. *Journal of Invertebrate Pathology* 92: 125–131.
- Stevenson P C, Belmain S R., 2016.** Pesticidal plants in African agriculture: Local uses and global perspectives. *Outlooks Pest. Manag.*, 27, 226–230.
- Stirling G R 1991.** Biological Control of Plant Parasitic Nematodes: Progress, Problems and Prospects. 282 p. Wallingford: CAB International.
- Stringer, L.D. Soopaya, R. Butler, R.C. et al 2019.** Effect of Lure Combination on Fruit Fly Surveillance Sensitivity. *Scientific Reports.*, 9:2653. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37487-6>
- Swingle W et Reece P., 1967.** The botany of Citrus and its wild relatives. In: Reuther W, Webber H, Batchelor L (eds) The citrus industry vol 1. University of California Berkeley, pp 190-130.
- Tabuc C, 2007.** Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Thèse de doct. Institut national polytechnique de Toulouse. Laboratoire Biologie Animale, IBNA Balotesti.Uni. Bucarest, France. p.167.
- Tanka T., 1961.** Citologia : semi-centennial commemoration papers on citrus studies Osaka : Citologia Supporting Foundation.
- Tattersfield F, Gimingham C T, & Morris H M., 1925.** Studies On Contact Insecticides: Part I. Introduction And Methods. Part II. A quantitative examination of the toxicity of *Tephrosia Vogellii* Hook. To *Aphis Rumicis* L. (The Bean Aphis). *Annals of Applied Biology*, 12(1), 61–76.
- Thiyagarajan P, Mahesh Kumar P, Murugan K, Kovendan K., 2014.** Mosquito larvicidal, pupicidal and field evaluation of microbial insecticide, *Verticillium lecanii* against the malarial vector, *Anopheles stephensi*. *Acta Biologica Indica* 3(1):541-548.

- Thomas M C, Heppner J B, Woodruff R E, Weems H V, Steck G J, and Fasulo T R., 2001.** Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae). Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry; and T. R. Fasulo (retired), Entomology and Nematology Department; UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611. DOI: doi.org/10.32473/edis-in371-2001
- Toledo J, Campos SE, Flores S, Liedo P, Barrera JF, Villaseñor A & Montoya P., 2007.** Horizontal transmission of *Beauveria bassiana* in *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) under laboratory and field cage conditions. *Journal of Economic Entomology* 100: 291-297.
- Trabut L., 1926. Les hybrides de *Citrus nobilis* : La Clémentine. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 60 pp. 484-489. doi : 10.3406/jatba.1926.4435
- Trapping Guidelines for Area-Wide Fruit Fly Programmes., 2003.** Non-serial Publications. Vienna: IAEA/FAO-TG/FFP.
- Treutter D., 2005.** Significans of flavonoide in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. *Plant Biology* 2005; 7: 581-591.
- Vago C., 1963.** Predispositions and interrelations in insect diseases. *Insect pathology: an advanced treatise*, Steinhaus EA (Édit.) Academic Press, New York, USA, First Ed Vol 1. p 339-379.
- Van Petegem F. 2012.** Ryanodine Receptors: Structure and Function. *Journal of Biological Chemistry*, 287(38), 31624–31632.
- Vargas R.L., Harris E., Nishida T. 1983.** Distribution and saisonal occurrence of *Ceratitidis capitata* (Wied) on the island of Kawai in the Hawaii Island. *Environ. Entomol.* 12: 1185-1189.
- Vayssières J F, Sinzogan AAC. 2008.** Projet Régional de Lutte Contre les Mouches des Fruits. Utilisation des fourmis tisserandes *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) dans la lutte contre les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae). Fiche N°5 IITA-CIRAD, 4p.
- Vega FE, Dowd PF & Bartelt RJ., 1995.** Dissemination of microbial agents using an autoinoculating device and several insect species as vectors. *Biological Control* 5: 545-552.
- Vega FE, Dowd PF, Lacey LA, Pell JK, Jackson DM & Klein MG (2000).** Dissemination of beneficial microbial agents by insects. *Field manual of techniques in invertebrate pathology*, Lacey LA & Kaya HK (Édit.) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. p 153-177.
- Vega FE, Dowd PF, Lacey LA, Pell JK, Jackson DM & Klein MG., 2007.** Dissemination of beneficial microbial agents by insects. *Field manual of techniques in invertebrate pathology*, Lacey LA & Kaya HK (Édit.) Springer, Dordrecht, The netherlands, Seconde Ed. p 127-146.
- Vergoulas P, Torné M., 2003.** Spinosad cebo: un sistema innovador para el control de la mosca del mediterráneo. *Phytoma España* 153, 134-138.
- Vestergaard S, Gillespie AT, Butt TM, Schreiter G & Eilenberg J., 1995.** Pathogenicity of the hyphomycete fungi *Verticillium lecanii* and *Metarhizium anisopliae* to the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Biocontrol Science and Technology* 5: 185-192.
- Vickers RA, Furlong MJ, White A & Pell JK., 2004.** Initiation of fungal epizootics in diamondback moth populations within a large field cage: proof of concept for auto-dissemination. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 111: 7-17.

- Vidaud J., 1997.** Le figuier. Ed. Paris. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 263p.
- Vontas J, Hernáandez-Crespo P, Margaritopoulos JT, Ortego F, Feng H-T, Mathiopoulos KD, Hsu J-C., 2011.** Insecticide resistance in Tephritid flies. *Pestic Biochem Physiol* 100: 199–205.
- Vu V H, Hong S I, & Kim K., 2008.** Production of Aerial Conidia of *Lecanicillium lecanii* 41185 by Solid-State Fermentation for Use as a Mycoinsecticide. *Mycobiology*, 36(3), 183–189. <https://doi.org/10.4489/MYCO.2008.36.3.183>
- Walali D M et Skiredj A., 2003** - Transfert de technologie en agriculture, Maroc, bul. Mens. N° 107 Du P.N.T.T.A., M.A.D.E.R., 4 p.
- War A R, Paulraj M G, Ahmad T, Buhroo A A, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma H C. 2012.** Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal. Behav.* 7, 1306–1320.
- Ware G W., 1996.** *Complete guide to pest control, with and without chemicals* (No. Ed. 3). Thomson Publications.
- Weber H.J., 1967.** History and development of the citrus industry. In : the citrus industry.1. History, Word Distribution Botany and varieties. W. Reuther et al, eds. Brekeley, University of California Press: 1-39.
- Weems H., 1981:** Mediterranean fruit *Ceratitidis capitata* Wied. (Diptera : Trypetidae). *Pep.Agric. Cumer, Dir.Plant Industry. Entomol.Circ. Florida* (230), 12p.
- White I M & Elson-Haris M M., 1992.** Fruit Flies of Economic Significance: their identification and bionomics. C.A.B. ACIAR: 12-601.
- Wojdylo A, Oszmianski J- Cremerys R., 2007.** Antioxidant activity and phenolic compound in 32 selected herbs. *Food chem.*105.940-949.
- Wu J, Wang Y, Zhang S., 2018.** « Diversification and independent domestication of Asian and European pears », *Genome Biol*, vol. 19, n° 77.
- Yee W L, Lacey L A., 2005.** Mortality of different lif stages of *Rhagoletis indifferens* (Diptera, Tephritidae) exposed to the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *J. Entomol. Sci.*, 4 (2): 167-177.
- Yeo H, Pell JK, Alderson PG, Clark SJ, Pye BJ., 2003.** Laboratory evaluation of temperature effects on the germination and growth of entomopathogenic fungi and on their pathogenicity to two aphid species. *Pest Manag Sci.* 59(2):156-65. doi: 10.1002/ps.622. PMID: 12587869.
- Yu J, Luo X, Sun L, Li D, Huang W & Liu, C., 2005.** Chemical constituents from the seeds of *Annona squamosa*. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 40 (2), 153–8.
- Zohary D, Hopf M, Weiss E., 2012.** La domestication des plantes, Actes Sud, errance, 330p.

Annexes

Annexe 1: Apparition et répartition de *C. capitata* dans le monde (CABI, 2014)

Continents ou Contrées	Pays	Année d'apparition
Afrique	Algérie	1858
	Tunisie	1885
	Afrique du sud	1889
	Egypte	1904
Europe	Espagne	1842
	Italie	1863
	Sicile	1878
	France	1900
	Turquie	1904
Proche Orient	Palestine	1904
	Liban	1904
Pacifique	Australie	1898
	Tasmanie	1900
Amérique du sud	Brésil	1901
	Argentine	1905
	Paraguay	1955
	Pérou	1956
	Chili	1963
Amérique centrale	Costa Rica	1955
	Nicaragua	1961
	Panama	1963
	Salvador	1975
	Guatemala	1975
	Equateur	1976
	Mexique	1977
Amérique du nord	Hawaïi	1910
	Floride	1929
	Texas	1966
	Californie	1975

Annexe 2: Composition des milieux de culture utilisés

Milieu	Composition	Source de Carbone	Statue
PDA	200g de pomme de terre (infusion) 20g Glucose 20g Agar	Glucose	Formule modifiée
SDAY	3g extrait de levure 10g Glucose 10g Peptone 20g Agar	Glucose	Formule originale
CZAPEK	30g Sucrose 30g Nitrate de Sodium 1g Dipotassium de phosphate 0.5g Sulfate de Magnésium 0.5g Chloride de Potassium 0.01g Sulfate de Fer 20g Agar	Sucrose	Formule originale

Annexe 3

Tableau 1 : Analyse de régression multiple de l'effet de certains facteurs climatiques sur la fluctuation des populations de *Ceratitis capitata* dans le verger d'agrumes.

Variable	Coefficient de régression	Erreur standard	t-Statistique	Probabilité
X1 : Temp min mensuel	28.66	13.61	2.11	0.07
X2 : Temp max mensuel	-21.95	11.27	-1.95	0.09
X3 : Précipitation mensuel	-1.07	1.08	-0.99	0.35
X4 : Humidité relative	3.07	2.79	1.10	0.30

Tableau 2 : Analyse de régression multiple de l'effet de certains facteurs climatiques sur la fluctuation des populations de *Ceratitis capitata* dans le verger de figes.

Variable	Coefficient de régression	Erreur standard	t-Statistique	Probabilité
X1 : Temp min mensuel	8.84	4.29	2.06	0.07
X2 : Temp max mensuel	-5.80	3.56	-1.63	0.14
X3 : Précipitation mensuel	0.36	0.34	-1.05	0.32
X4 : Humidité relative	1.04	0.88	1.19	0.27

Tableau 3 : Analyse de régression multiple de l'effet de certains facteurs climatiques sur la fluctuation des populations de *Ceratitis capitata* dans le verger de poires.

Variable	Coefficient de régression	Erreur standard	t-Statistique	Probabilité
X1 : Temp min mensuel	9.33	5.39	1.73	0.12
X2 : Temp max mensuel	-5.14	4.46	-1.15	0.28
X3 : Précipitation mensuel	-0.29	0.43	-0.68	0.52
X4 : Humidité relative	1.25	1.10	1.13	0.29

Annexe 4

Tableau 1 : Susceptibilité des larves L3 de *C. capitata* à *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. fumosoroseus* à différentes concentrations.

Mortalité larvaire moyenne %					
<i>Metarhizium anisopliae</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
10.00 ^d ± 0.47	16.67 ^d ± 0,72	26.67 ^c ± 0.54	36.67 ^b ± 0.27	56.67 ^a ± 0,27	3.33 ^c ± 0.25
F = 12.11		p value = 0.0002		df = 5	
<i>Verticillium lecanii</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
6.67 ^d ± 0.29	10.00 ^d ± 0,82	16.67 ^c ± 0.72	23.33 ^b ± 0.54	46.67 ^a ± 0.54	3.33 ^c ± 0.25
F = 5.23		p value = 0.008		df = 5	
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
0.00 ^d ± 0.00	0.00 ^d ± 0.00	6.67 ^c ± 0.5	13.33 ^b ± 0,54	30.00 ^a ± 0.94	3.33 ^c ± 0.25
F = 3.39		p value = 0.039		df = 5	

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau 2 : Susceptibilité des prépuces de *C. capitata* à *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. fumosoroseus* à différentes concentrations.

Malformation moyenne des pupes %					
<i>Metarhizium anisopliae</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
13.33 ^a ± 0.54	6.67 ^b ± 0.54	0.00 ^c ± 0.00	6.67 ^b ± 0.54	6.67 ^b ± 0.54	0.00 ^c ± 0.00
F = 0.85		p value = 0.541		df = 5	
<i>Verticillium lecanii</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
6.67 ^c ± 0.53	20.00 ^a ± 0.94	0.00 ^d ± 0.00	6.67 ^c ± 0.27	13.33 ^{ab} ± 0.54	0.00 ^d ± 0.00
F = 1.56		p value = 0.244		df = 5	
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
53.33 ^a ± 2.18	0.00 ^c ± 0.00	0.00 ^c ± 0.00	6.67 ^b ± 0.27	0.00 ^c ± 0.00	0.00 ^c ± 0.00
F = 3.80		p value = 0.027		df = 5	

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Annexe 5

Tableau 1 : Susceptibilité des pupes issues de larves traitées de *C. capitata* à *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. fumosoroseus* à différentes concentrations.

Mortalité moyenne des pupes issues de larves traitées %					
<i>Metarhizium anisopliae</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
70.83 ^b ± 0,72	73.91 ^b ± 1,19	72.73 ^b ± 0.54	88.24 ^{ab} ± 0.82	91.67 ^a ± 0.27	6.67 ^c ± 0.27
<i>F</i> = 4.98		<i>p</i> value = 0.011		df = 5	
<i>Verticillium lecanii</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
71.43 ^b ± 0.72	73.91 ^b ± 0.27	76 ^b ± 1.44	61.90 ^c ± 1.19	83.33 ^a ± 0.54	6.67 ^d ± 0.27
<i>F</i> = 4.59		<i>p</i> value = 0.014		df = 5	
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
64.29 ^{bc} ± 1.63	67.74 ^b ± 0.47	69.23 ^{ab} ± 0.94	70.83 ^a ± 0.98	71.43 ^a ± 0.94	6.67 ^c ± 0.27
<i>F</i> = 3.79		<i>p</i> value = 0.027		df = 5	

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau 2 : Mortalité moyenne des pupes de *C. capitata* après immersion dans différentes suspensions conidiennes de *M. anisopliae*, *V. lecanii*, et *P. fumosoroseus* à différentes concentrations.

Mortalité moyenne des pupes traitées %					
<i>Metarhizium anisopliae</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
30,00 ^c ± 0,49	36,67 ^c ± 1,09	50,00 ^b ± 0,82	56,67 ^b ± 1,19	80,00 ^a ± 0,00	3,33 d ± 0,27
<i>F</i> = 7.62		<i>p</i> value = 0,002		df = 5	
<i>Verticillium lecanii</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
36,67 ^c ± 0,72	43,33 ^b ± 0,27	46,67 ^b ± 1,09	63,33 ^a ± 0,98	70,00 ^a ± 0,82	3,33 ^c ± 0,27
<i>F</i> = 6.35		<i>p</i> value = 0.004		df = 5	
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>					
1*10 ⁴	1*10 ⁵	1*10 ⁶	1*10 ⁷	1*10 ⁸	contrôle
conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	conidie/ml	
33,33 ^b ± 1,36	40,00 ^b ± 1,7	53,33 ^{ab} ± 1,78	56,67 ^{ab} ± 0,54	63,33 ^a ± 0,27	3,33 ^c ± 0,27
<i>F</i> = 2.27		<i>p</i> value = 0.114		df = 5	

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Annexe 6

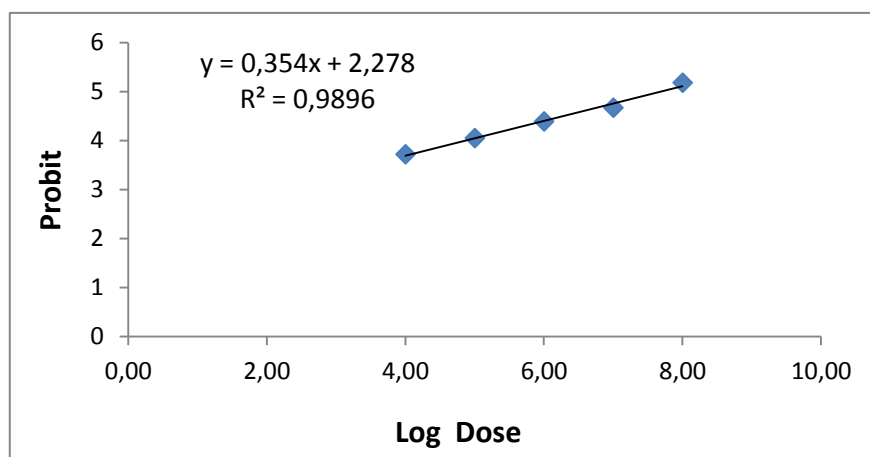


Figure 1. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des larves de *C. capitata* selon les différentes concentrations des suspensions conidiennes de *M. anisopliae*.

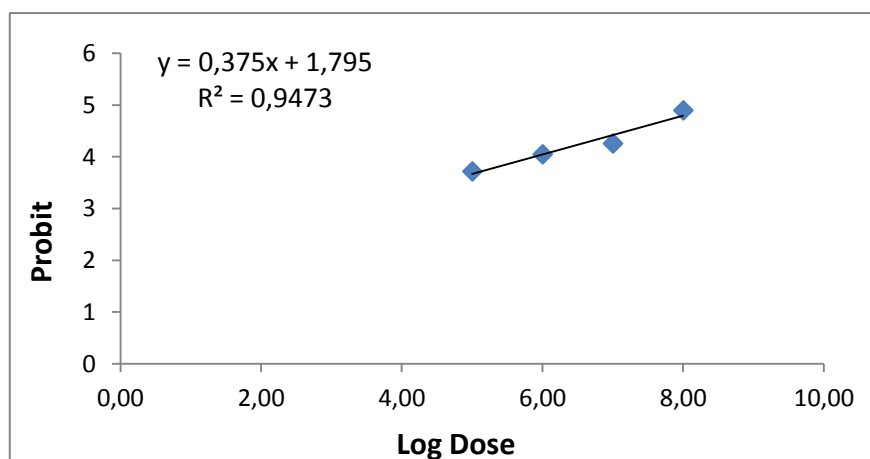


Figure 2. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des larves de *C. capitata* selon les différentes concentrations des suspensions conidiennes de *V. lecanii*.

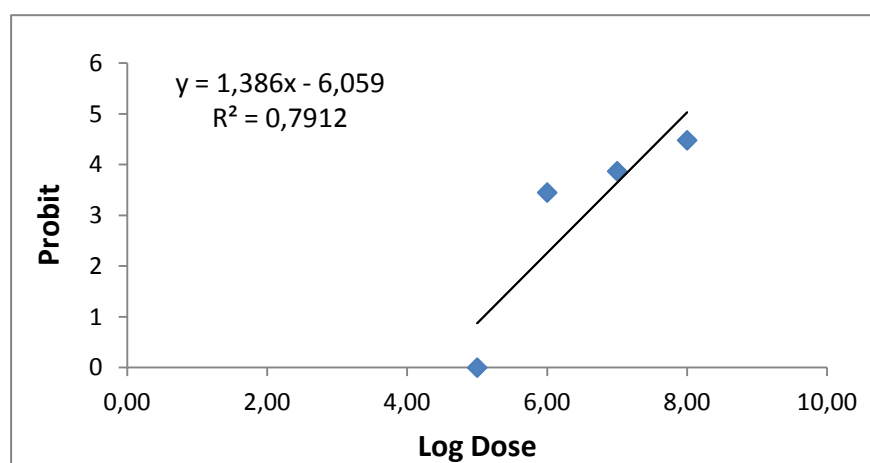


Figure 3. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des larves de *C. capitata* selon les différentes concentrations des suspensions conidiennes de *P. fumosoroseus*.

Annexe 7

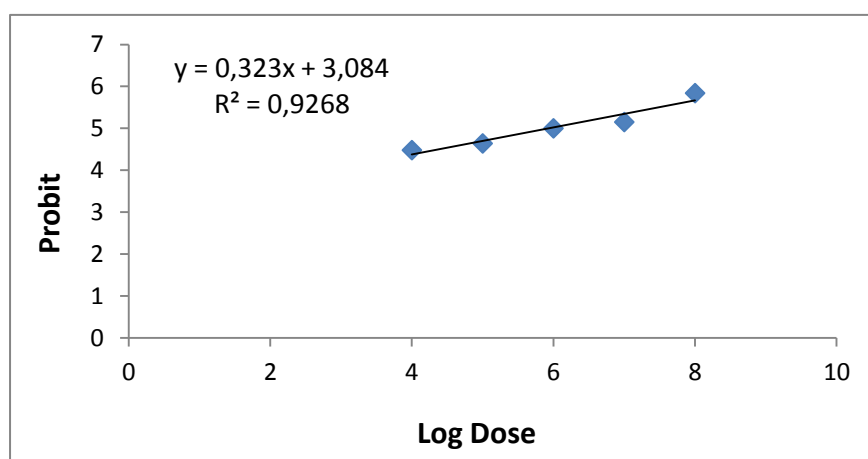


Figure 1. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des pupes de *C. capitata* selon les différentes concentrations des suspensions conidiennes de *M. anisopliae*.

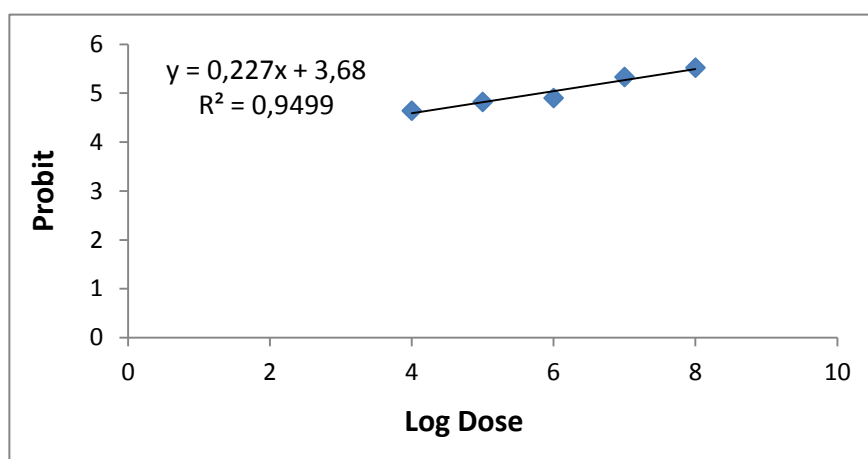


Figure 2. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des pupes de *C. capitata* selon les différentes concentrations des suspensions conidiennes de *V. lecanii*.

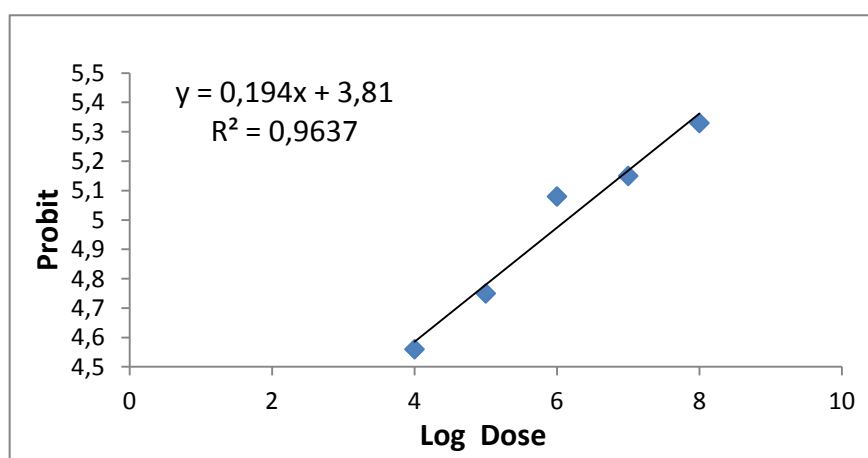


Figure 3. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des pupes de *C. capitata* selon les différentes concentrations des suspensions conidiennes de *P. fumosoroseus*.

Annexe 8

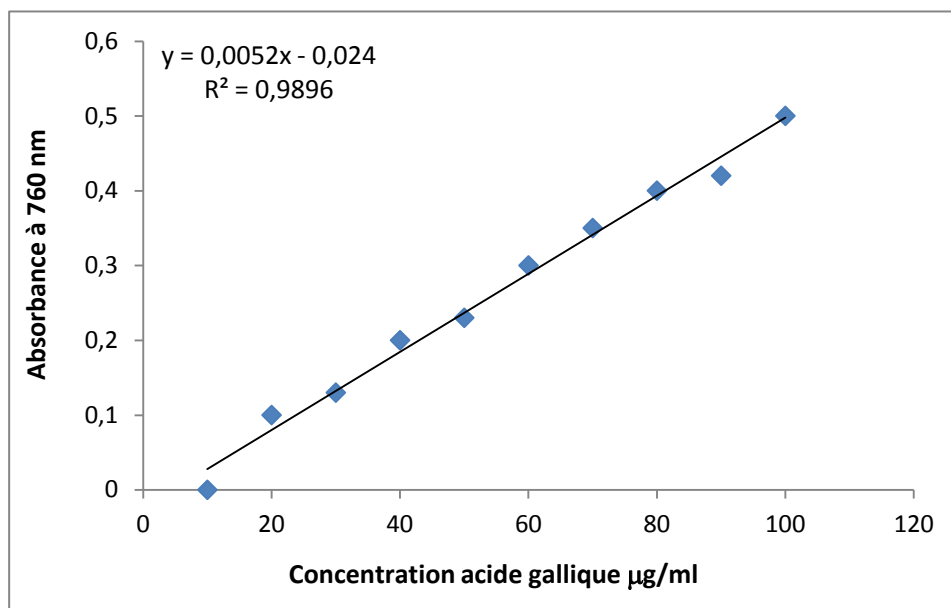


Figure 1. Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux.

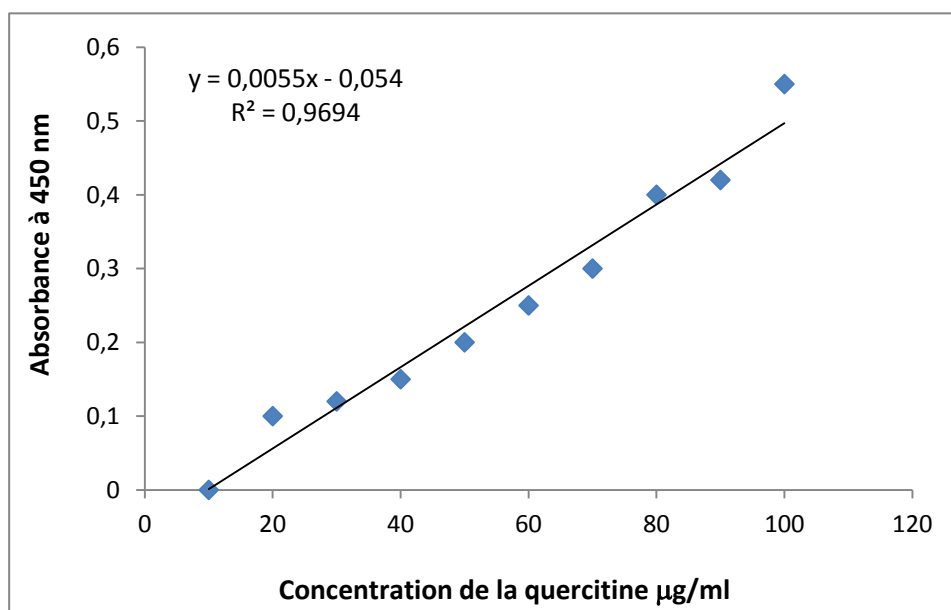


Figure 2. Courbe d'étalonnage des flavonoïdes totaux.

Annexe 9

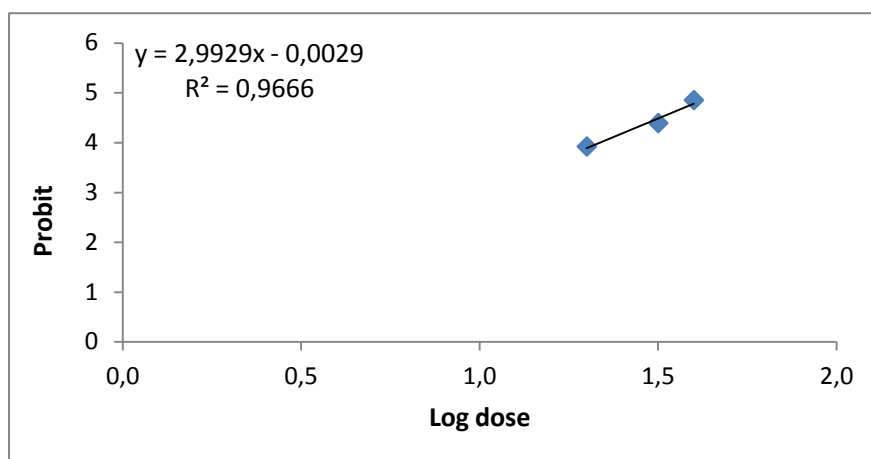


Figure 1. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des larves de *C. capitata* selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *R. communis*.

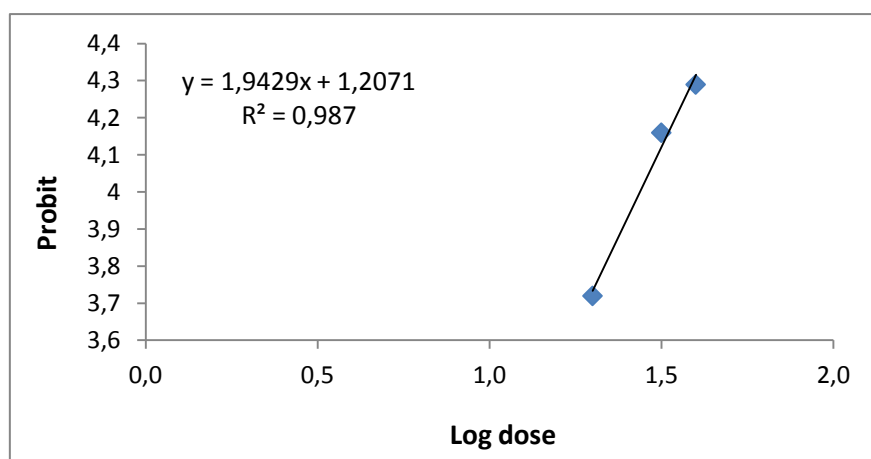


Figure 2. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des larves de *C. capitata* selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *R. officinalis*.

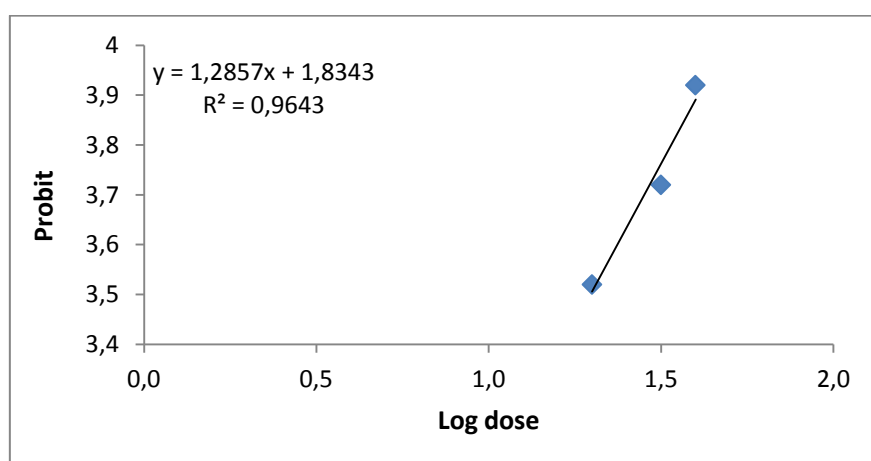


Figure 3. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des larves de *C. capitata* selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *L. stoechas*.

Annexe 10

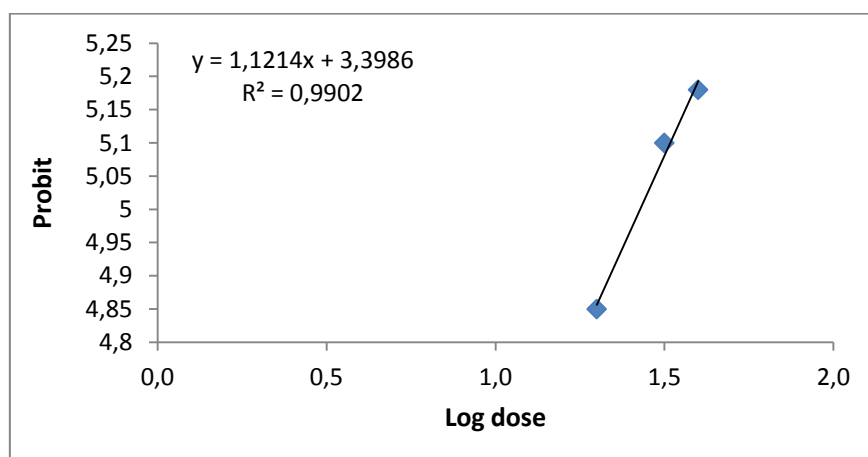


Figure 1. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit de pupes issues de larves traitées selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *R. communis*.

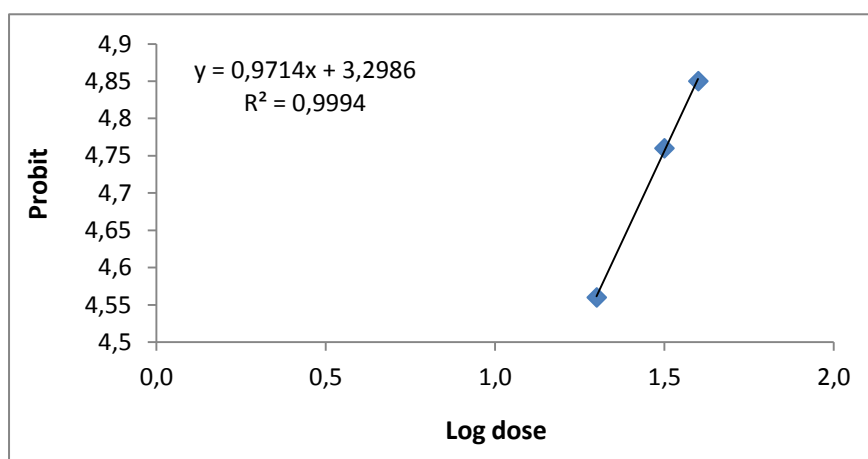


Figure 2. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit de pupes issues de larves traitées selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *R. officinalis*.

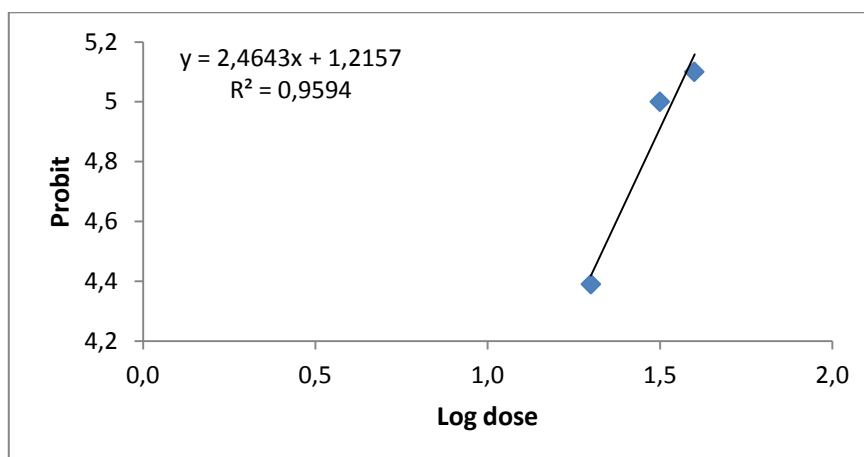


Figure 3. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit de pupes issues de larves traitées selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *L. stoechas*.

Annexe 11

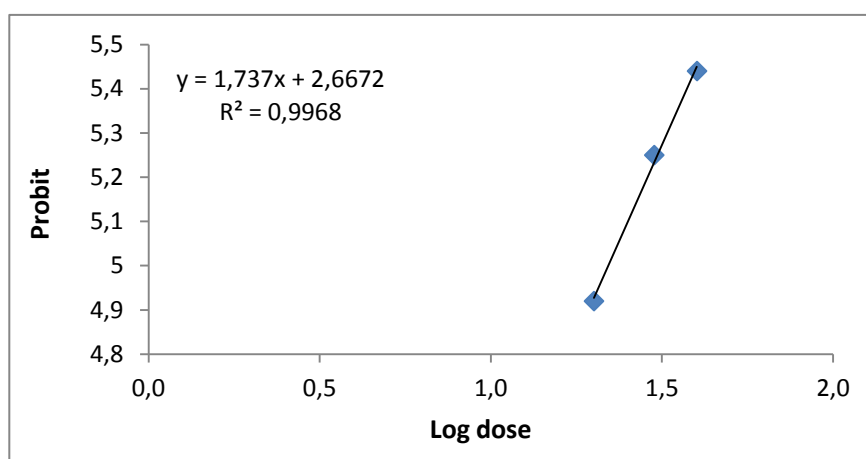


Figure 1. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des pupes issues de test par inhalation selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *R. communis*.

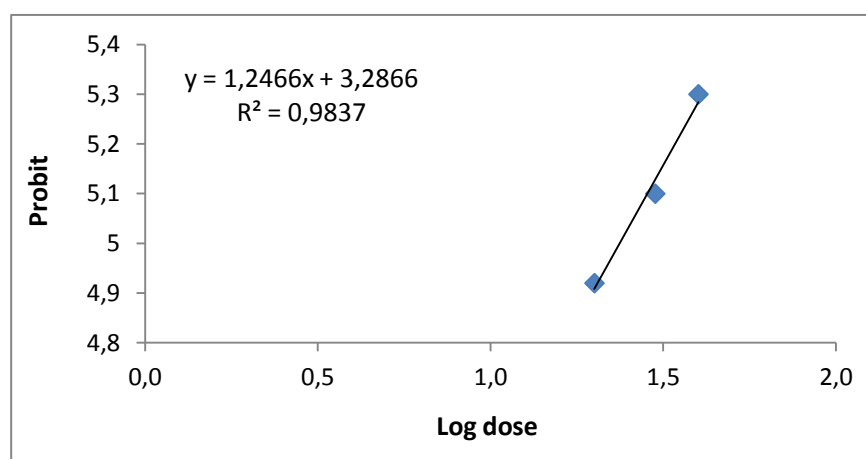


Figure 2. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des pupes issues de test par inhalation selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *R. officinalis*.

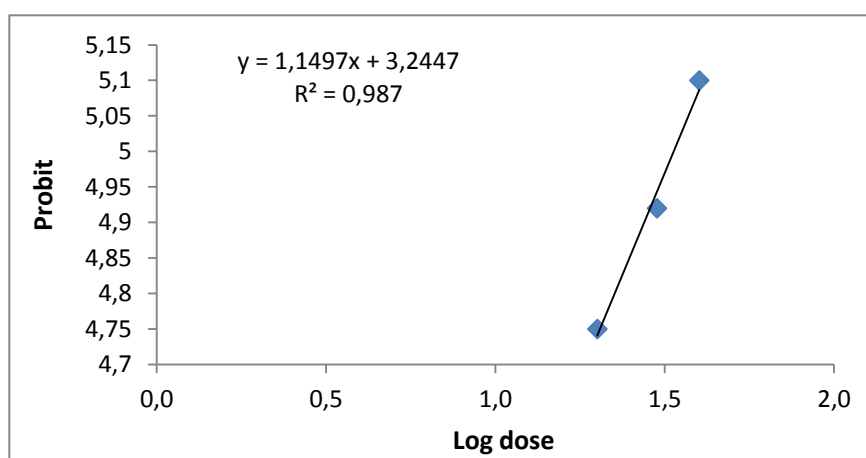


Figure 3. Droite de régression exprimant la mortalité en Probit des pupes issues de test par inhalation selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *L. stoechas*.

Annexe 12

Tableau 1 : Susceptibilité des larves L3 de *C. capitata* aux extraits aqueux de *R. communis*, *R. officinalis*, et *L. stoechas* à différentes doses.

Mortalité larvaire moyenne %			
<u>Ricinus communis</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
13.33 ^c ± 0.27	26.67 ^b ± 0.54	43.33 ^a ± 0.54	3.33 ^d ± 0.27
$F = 10.8$	$p \text{ value} = 0.003$		$df = 3$
<u>Rosmarinus officinalis</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
10.00 ^b ±0.47	20.00 ^{ab} ±0.82	23.33 ^a ± 1.19	3.33 ^c ±0.27
$F = 4.96$	$p \text{ value} = 0.04$		$df = 3$
<u>Lavandula stoechas</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
6.67±0.27	10.00± 0.47	13.33± 0.27	3.33± 0.27
$F = 1.11$	$p \text{ value} = 0.40$		$df = 3$

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau 2 : Susceptibilité des pupes issues de larves traitées de *C. capitata* aux extraits aqueux de *R. communis*, *R. officinalis*, et *L. stoechas* à différentes doses.

Mortalité moyenne des pupes issues de larves traitées %			
<u>Ricinus communis</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
43.33 ^b ±0.98	53.33 ^{ab} ± 1.09	56.67 ^a ± 1.09	0.00 ^c ± 0.00
$F = 4.70$	$p \text{ value} = 0.03$		$df = 3$
<u>Rosmarinus officinalis</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
33.33 ^{bc} ±1.63	36.67 ^b ±0.47	43.33 ^a ± 0.82	0.00 ^c ±0.00
$F = 2.19$	$p \text{ value} = 0.04$		$df = 3$
<u>Lavandula stoechas</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
26.67 ^b ±0.72	50.00 ^{ab} ± 0.82	53.33 ^a ± 0.72	0.00 ^c ± 0.00
$F = 9.55$	$p \text{ value} = 0.005$		$df = 3$

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Annexe 13

Tableau 1 : Susceptibilité des pupes de *C. capitata* issues de test par inhalation aux extraits aqueux de *R. communis*, *R. officinalis*, et *L. stoechas* à différentes doses.

Mortalité moyenne des pupes issues de larves traitées %			
<u>Ricinus communis</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
46.67 ^b ±1.44 <i>F</i> =7.39	60.00 ^{ab} ± 0.94 <i>p</i> value =0.01	66.67 ^a ± 0.54	0.00 ^c ± 0.00 df = 3
<u>Rosmarinus officinalis</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
46.67 ^c ±0.54 <i>F</i> =5.58	53.33 ^b ±1.09 <i>p</i> value =0.02	63.33 ^a ± 1.44	0.00 ^d ±0.00 df = 3
<u>Lavandula stoechas</u>			
20µl	30µl	40µl	contrôle
40.00 ^b ±0.94 <i>F</i> =5.90	46.67 ^{ab} ± 0.72 <i>p</i> value =0.02	53.33 ^a ± 1.09	0.00 ^c ± 0.00 df = 3

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.