

Université MUSTAPHA Stambouli

Mascara



جامعة مصطفى اسطمبولي

معسكر

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences agronomiques

THESE de DOCTORAT

Spécialité : Protection des végétaux

Intitulée

Contribution à l'étude bioécologique du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (*Homoptera* : *Psyllidae*) en vue de l'optimisation de son contrôle dans la région de Mascara.

Présentée par : GUESSAB Asmaa

Le 30/03/2022

Devant le jury :

Président	BELABID Lakhdar	Professeur	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Examineur	BOUNGAB Karima	Professeur	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Examineur	RIGHI Kada	M.C.A	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Examineur	BICHE Mohammed	Professeur	Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie. Alger
Directeur de thèse	ELOUISSI Mouffok	M.C.A	Université Mustapha Stambouli – Mascara
Co-Directeur de thèse	LAZREG Fatiha	M.C.A	Université Mustapha Stambouli – Mascara

Année Universitaire : 2021-2022

Dédicaces

À mon très cher regretté, mon père, je dédie ce travail. Tu es absent mais tu resteras vivant dans mon esprit et dans mon cœur.

Je dédie aussi ce travail à :

*Ma Mère qui m'accompagne partout par ses prières que
Dieu me la garde ;*

Mon Mari et ma fille ;

Toute ma famille ;

Tous mes amis et collègues.

Remerciements

Au terme de ce travail et à travers ces quelques lignes, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce modeste travail.

Qu'il me soit permis d'adresser mes vifs remerciements et ma profonde reconnaissance à mon directeur de thèse : **M. ELOUISSI M.**, enseignant Chercheur à l'Université Mustapha Stambouli de Mascara pour la confiance qu'il a eu en moi en acceptant de diriger mon travail, malgré ses occupations multiples. Je voudrais qu'il trouve ici avec **Mme LAZREG F.** (Co-directeur) toute ma reconnaissance pour leurs encouragements, leurs conseils, leurs recommandations, le temps qu'ils m'ont consacré et leurs bienveillances.

Que Monsieur le Professeur **BELABID L.** (Doyen de la Faculté SNV de l'Université Mustapha stambouli de Mascara) trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour l'intérêt qu'il a manifesté à mon travail et surtout de me faire l'honneur de présider le jury. Je l'en remercie infiniment.

Un remerciement bien particulier aux membres du jury : **Pr. BICHE M.** (E.N.S.A El harach-Alger), **Pr. BOUNGAB K.** (Université de Mascara), **Dr. RIGHI K.** (Université de Mascara) qui ont bien voulu honorer le jury par leur présence et pour avoir accepté de juger ce travail.

Mes vifs remerciements sont adressés également à Monsieur **ELOUISSI A.** (Enseignant à l'Université de Mascara) qui a contribué à ma compréhension des problèmes liés aux analyses des données.

Je remercie aussi les directeurs des laboratoires qui m'ont permis de réaliser mes différentes expérimentations : **M. HAMIMED A.**; **M. HARIZIA A.**; **Mme et M. BOUHADA A.**; ainsi que tous le personnel des laboratoires de la faculté SNV de l'Université de Mascara.

Table des matières

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

PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Généralités sur l'hôte végétal : L'Olivier

1. Historique et origine de l'olivier	4
2. Importance économique	5
2.1. Dans le monde	5
2.2. En Algérie	6
2.3. Dans la wilaya de Mascara	7
3. Position systématique	8
3.1. Classification et systématique	8
3.2. Variétés de l'olivier en Algérie	8
4. Caractéristiques morphologiques de l'olivier	9
4.1. Aspect général	9
4.2. Le système racinaire	9
4.3. Le système aérien	10
5. Phénologie	12
6. Alternance	14
7. Multiplication de l'olivier	14
8. Exigences pédoclimatiques	14
8.1. Exigences climatiques	14
8.2 Exigences pédologiques	16
9. Exigences agrologiques	16
9.1. Entretien mécanique	16
9.2. Le désherbage chimique	16
9.3. L'irrigation	17
9.4. La fertilisation	17
9.5. La taille	18
10. Les principaux bioagresseurs de l'olivier	18
10.1. Les principales maladies	18
10.2. Les principaux insectes ravageurs	21

Chapitre 2 : Généralités sur le psylle de l'olivier : *Euphyllura olivina*

1. Présentation de l'insecte : psylle de l'olivier <i>Euphyllura olivina</i>	23
2. Position systématique	23
3. Aire de répartition	24
4. Description morphologique	24
4.1. L'œuf	24
4.2. La larve	24
4.3. L'adulte	26
4.3.1. La tête	26
4.3.2. Le thorax	27
4.3.3. L'abdomen	27
5. Cycle biologique	29
6. Bio-écologie du psylle	31
6.1. Durée de pré-oviposition	31
6.2. La fécondité globale	31
6.3. Choix de site de ponte	32
6.4. Relation plante-insecte	32
6.5. La longévité	32
7. Dégâts et symptômes	33
8. Moyens de lutte	33
8.1. Lutte culturale	34
8.2. La lutte biologique	34
8.3. Lutte chimique	35
8.4. Lutte intégrée	36

Chapitre 3 : Les champignons entomopathogènes

1. Introduction	37
2. Cycle biologique et mode d'action des champignons entomopathogènes	38
3. Interactions insectes – champignons entomopathogènes	41
3.1. Pénétration par cavité buccale et système digestif	41
3.2. Pénétration via les spiracles	42
3.3. Pénétration par invasion cuticulaire	42
3.4. Production des toxines	42
4. Facteurs affectant l'efficacité des champignons entomopathogènes	43
4.1. Facteurs liés aux pathogènes	43
4.2. Facteurs dépendant de l'hôte	43
4.3. Facteurs de l'environnement	43
5. Avantages de l'utilisation de champignon entomopathogènes	45
6. Exemples des champignons entomopathogènes	45
6.1. <i>Fusarium sp</i>	45
6.1.1. Généralités	45
6.1.2. Classification	45

6.1.3. Caractères morphologiques	46
6.1.4. Habitat et distribution de <i>Fusarium sp.</i>	47
6.1.5. Importance et pathogénicité des <i>Fusarium</i>	48
6.2. <i>Verticillium lecanii</i>	48
6.2.1. Généralités	48
6.2.2. Classification	48
6.2.3. Caractères morphologiques	49
6.2.4. Importance de <i>Verticillium lecanii</i>	49
6.3. <i>Isaria fumosoroseus</i>	50
6.3.1. Généralités	50
6.3.2. Classification	50
6.3.3. Caractères morphologiques et cycle biologique	50
6.3.4. Importance et utilisation en lutte biologique d' <i>Isaria fumosoroseus</i>	52

Chapitre 4 : Les huiles essentielles et les plantes aromatiques testées

I. Données générales sur les huiles essentielles

1. Définition	53
2. Les principales familles des plantes aromatiques	53
3. Répartition et localisation des huiles essentielles	54
4. Propriétés physico-chimiques et chimiques des huiles essentielles	54
5. Méthodes d'extractions	55
5.1. Entraînement à la vapeur d'eau	55
5.2. Hydrodistillation	55
5.3. Expression à froid	56
5.4. Extraction par solvants volatils	56
5.5. Extraction par dioxyde de carbone supercritique	57
6. Activités biologiques des huiles essentielles	57
6.1. En phytothérapie	57
6.2. En agroalimentaire	57
6.3. En phytopharmacie	58
6.3.1. Activité insecticide	58
6.3.2. Activité acaricide	58
6.3.3. Activité antifongique	58
6.3.4. Activité antibactérienne	59
6.3.5. Activité herbicide (contre les adventices)	59

II. Présentation des plantes aromatiques testées

1. <i>Thymus vulgaris</i>	60
1.1. Généralités	60
1.2. Origine et distribution	60
1.2.1. Dans le monde	60
1.2.2. En Algérie	61
1.3. Caractéristiques botaniques	61

1.3.1. Classification	61
1.3.2. Description morphologique	61
1.4. L'huile essentielle du thym	63
1.4.1. Propriétés de l'huile essentielle du thym	63
1.4.2. Utilisation thérapeutique et bienfaits du thym	63
1.4.3. Activité antimicrobienne et effet insecticide des huiles essentielles du thym	63
2. <i>Satureja calamintha nepeta</i>	64
2.1. Généralités	64
2.2. Origine et distribution	64
2.3. Caractéristiques botaniques	65
2.3.1. Classification	65
2.3.2. Description morphologique	65
2.4. L'huile essentielle de <i>S. calamintha nepeta</i>	66
2.4.1. Propriétés de l'huile essentielle de <i>S. calamintha nepeta</i>	66
2.4.2. Utilisation et effet thérapeutique de la plante	66
2.4.3. Activité antimicrobienne et effet insecticide de <i>Satureja calamintha</i>	67
3. <i>Eucalyptus globulus</i>	67
3.1. Généralités	67
3.2. Origine et distribution	67
3.3. Caractéristiques botaniques	68
3.3.1. Classification	68
3.3.2. Description morphologique	68
3.4. Huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i>	69
3.4.1. Propriétés et utilisation thérapeutique des huiles essentielles d' <i>Eucalyptus globulus</i>	69
3.4.2. Activité insecticide des huiles essentielles d' <i>Eucalyptus globulus</i>	70

PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE

MATERIEL ET METHODES

Chapitre 1 : Présentation de la région et des stations d'étude

1. Présentation de la région d'étude	71
1.1. Situation géographique	71
1.2. Les facteurs climatiques	72
1.2.1. Les précipitations	72
1.2.2. Les températures	74
1.2.3. Le vent	75
1.2.4. L'humidité relative (HR)	75
1.2.5. La gelée	76
1.3. Synthèse climatique	76
1.3.1. Diagramme Ombrothermique	77
1.3.2. Climagramme d'EMBERGER	78

2. Présentation des stations d'étude	80
2.1. Station d'étude 1 : Oliveraie d'Oued Taria	80
2.2. Station d'étude 2 : Oliveraie d'Ain Fares	82
Chapitre 2 : Etude entomologique d'<i>Euphyllura olivina</i>	
1. Identification et confirmation de l'espèce <i>Euphyllura olivina</i>	84
1.1. Etude de la nervation alaire	84
1.2. Extraction des génitalia	84
2. Dynamique des populations d' <i>Euphyllura olivina</i>	85
2.1. Sur le terrain	85
2.1.1. Matériel expérimental utilisé	85
2.1.2. Méthodes d'étude	86
2.2. Au laboratoire	86
2.2.1. Matériel expérimental utilisé	86
2.2.2. Méthodes d'étude	87
3. Analyses statistiques des données	87
Chapitre 3 : Essai d'efficacité des champignons entomopathogènes sur le psylle de l'olivier <i>E. olivina</i>	
1. Introduction et objectif de l'étude	88
2. Etude mycologique	89
2.1. Isolement des champignons entomopathogènes	89
2.2. Purification et conservation des isolats de champignons entomopathogènes	89
2.3. Identification macroscopique et microscopiques des isolats obtenus	90
3. Caractérisations biologiques des isolats obtenus	90
3.1. Effet de milieu de culture sur la croissance mycélienne des isolats obtenus	90
3.2. Effet des températures sur la croissance mycélienne	90
3.3. Effet du pH sur la croissance mycélienne	91
4. Evaluation du taux de sporulation	91
5. Test de la viabilité	91
6. Les bio-essais	91
6.1. Préparation d'inoculum	91
6.2. Le test de pathogénicité (bio-essai)	92
7. Méthodes d'analyse des données	93
7.1. Correction de la mortalité par la méthode d'Abbott	93
7.2. Détermination de la DL50	94
7.3. Analyse statistique des données (ANOVA)	94

Chapitre 4 : Effet biocide des huiles essentielles des plantes aromatiques sur le psylle de l'olivier *E. olivina*

1. Objectif de l'étude	95
2. Matériel	95
2.1. Matériel entomologique	95
2.2. Matériel végétale	95
3. Méthodes expérimentales	96
3.1. Traitement des échantillons	96
3.2. Méthodes d'extraction des Huiles Essentielles	96
3.3. Détermination du rendement en huile essentielle	97
3.4. Collecte et bio-test des insectes	98
3.5. Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles	98
3.6. Chromatographie en phase gazeuse/Spectrométrie de masse (GC/MS)	99
3.7. Méthodes d'analyse des données	100

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre 1 : Etude entomologique d'*Euphyllura olivina*

1. Identification et confirmation d' <i>Euphyllura olivina</i>	101
1.1. L'Etude de la nervation alaire	101
1.2. Extraction des génitalias	103
1.2.1. Complexe génito-anal mâle	103
1.2.2. Complexe génito-anal femelle	104
2. Dynamique des populations d' <i>E. olivina</i>	106
2.1. Dynamique globale des populations d' <i>Euphyllura olivina</i>	106
2.2. Répartition spatiale des différents stades de vie d' <i>E. olivina</i>	107
3. Distribution mensuelle et saisonnière	111
4. Discussion générale	115

Chapitre 2 : Essai d'efficacité des champignons entomopathogènes sur *E. olivina*

1. Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes	118
1.1. Caractérisation morphologique de de <i>Fusarium</i> sp.	118
1.2. Caractérisation morphologique de <i>Verticillium lecanii</i>	118
1.3. Caractérisation morphologique de <i>Isaria fumosorosea</i>	120
2. Effets des facteurs physiques sur les trois isolats de champignons entomopathogène	120
2.1. Effet de milieux de culture sur la croissance mycélienne des isolats	120
2.2. Effet du pH sur la croissance mycélienne des isolats	123
2.3. Effet de températures sur la croissance mycélienne des isolats	125
2.4. La Production des spores et la viabilité des spores des isolats de champignons entomopathogènes	128
3. La sensibilité des larves de quatrième et cinquième stade d' <i>Euphyllura olivina</i>	130

**Chapitre 3 : Effet biocide des huiles essentielles des plantes aromatiques
sur le psylle de l'olivier *E. olivina***

1. Rendement en huiles essentielles	137
2. Effet des huiles essentielles sur la mortalité de 4 ^{ème} et 5 ^{ème} stade larvaire d' <i>E. olivina</i>	138
3. Test de l'efficacité de chaque huile essentielle	139
3.1. Huile essentielle de <i>S.calamintha nepeta</i>	139
3.2. Huile essentielle d' <i>E.globulus</i>	139
3.3. Huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i>	140
3.4. Comparaison entre la toxicité des huiles essentielles	142
3.5. La DL50 et DL90 pour chaque stade larvaire	143
3.6. Le Temps létal pour chaque stade larvaire	145
4. Analyse de la composition chimique des huiles essentielles	147
4.1. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Satureja calamintha nepeta</i>	147
4.2. Composition chimique de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i>	147
4.3. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i>	147
5. Discussion générale	150
Conclusion générale	154
Références bibliographiques	158

Résumé

Le psylle de l'olivier, *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera ; Psyllidae), cause des dégâts considérables dans les oliveraies du bassin méditerranéen, il affecte ainsi la production. Pour évaluer le taux d'infestation et fournir des éléments de gestion intégrée du ravageur, le suivi de l'infestation de la plante hôte et la chronologie des différentes écophases du psylle a été effectué au niveau de deux oliveraies relativement éloignées (Ain fares, Oued taria) dans la wilaya de Mascara. Le suivi du cycle biologique du ravageur *E. olivina* ainsi que sa bio-écologie sont réalisés grâce à des dénombrements périodiques des populations sur les feuilles et les rameaux de l'arbre hôte (olivier) dans les deux oliveraies. Ce ravageur effectue son cycle biologique en deux générations annuelles. Ces populations se retrouvent sur les boutons floraux et sur les bourgeons terminaux et auxiliaires des feuilles ainsi que sur toutes les expositions de l'arbre et des variétés d'olivier. Les conditions climatiques saisonnières et la plante hôte constituent vraisemblablement un facteur régulateur de l'évolution de psylle. Selon l'orientation de l'arbre et dans les deux sites d'étude, une différence significative dans l'évolution des populations du psylle de l'olivier *E. olivina* est enregistrée. Nous avons également constaté une relation significative entre la saison et la fluctuation de la population d'*E. olivina*. La mortalité des insectes dû aux infections de champignons entomopathogènes testées est influencé à la fois par des facteurs internes et externes. Les propriétés virulentes des champignons entomopathogènes sont principalement influencées par la production de mycotoxines et la viabilité des conidies. *Isaria fumosorosea* est resté le plus efficace contre le psylle, causant 100% de mortalité des psylles dans les 5 jours suivant le traitement. Dans cette étude, les résultats justifient le potentiel répulsif et biocide des trois plantes étudiées contre le 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire du psylle de l'olivier. Les résultats obtenus dans notre travail ont montré également une forte efficacité de l'huile essentielle de *Satureja calamintha nepeta* et d'*Eucllyptus globulus*.

Mot clés : *Euphyllura olivina*, olivier, cycle évolutif, dynamique des populations, huiles Essentielles, champignons entomopathogènes.

ملخص

تعد حشرة نطف الزيتون (*Euphyllura olivina*) من آفات شجرة الزيتون التي تهاجم أعضائها المختلفة. تسبب ضرراً كبيراً في بساتين الزيتون في حوض البحر الأبيض المتوسط ، وبالتالي يؤثر على الإنتاج. و لتقييم معدل انتشار الآفات وتوفير عناصر الإدارة المتكاملة للآفات، تم رصد انتشار النباتات المضيفة والتسلسل الزمني لمختلف البيئات الحيوية على مستوى بساتين زيتون (عين فارس – واد التاغية) في ولاية معسكر. وتمت مراقبة دورة حياة الآفة *E. olivina* و بيئتها الحيوية من خلال التجمعات الدورية على أوراق وأغصان شجرة المضيف (شجرة الزيتون) في بساتين الزيتون. هذه الآفة تنفذ دورة حياتها في جيلين سنويين. و توجد هذه المجموعات السكانية على براعم الزهور وعلى براعم الأوراق الطرفية وكذلك على جميع جهات الأشجار وأصناف الزيتون. و من المرجح أن تكون الظروف المناخية الموسمية والنبات المضيف عاملاً في تطورها. و فقا لتوجه الشجرة و في موقعي الدراسة ، تم تسجيل فرق كبير في تطور سكان شجرة الزيتون *E. olivina*. كما وجدنا علاقة هامة بين الموسم و تقلب مجتمعات الحشرة. كما تتأثر وفيات الحشرات الناجمة عن عدوى فطريات ضد الحشرة المجربة بالعوامل الداخلية والخارجية على حد سواء. كما تتأثر الخواص المميّنة للفطريات بشكل رئيسي بإنتاج الميكوتوكسين وبقدرة الكونيديا على البقاء. لقد ظهر جلياً أن *Isaria fumosorosea* الأكثر فعالية في مكافحة البيولوجية ضد الحشرة ، الأمر الذي تسبب في 100% من الوفيات للحشرة الضارة في غضون 5 يوماً من العلاج. و في هذه الدراسة. و في هذه الدراسة ، تبرر النتائج إمكانية مكافحة الحيوية للنباتات الثلاثة التي تمت دراستها ضد طوري اليرقات الرابعة والخامسة من حشرة الزيتون . و أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها في عملنا أيضاً كفاءة عالية للزيوت الأساسية لـ *Eucllyptus globulus* و *Satureja calamintha nepeta*.

الكلمات المفتاحية : *Euphyllura olivina*، الزيتون ، الدورة التطورية ، الديناميكيات السكانية ، الزيوت الأساسية ، الفطريات.

Abstract

The olive psylla, *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera; Psyllidae), causes considerable damage in the olive groves of the Mediterranean basin, thus affecting production. To assess the rate of infestation and provide elements of integrated pest management, the monitoring of the host plant infestation and the chronology of the different olive psyllid ecophases was carried out at the level of two relatively remote olive groves (Ain fares, Oued taria) in the wilaya of Mascara. The monitoring of the life cycle of the pest *E. olivina* and its bio-ecology is carried out through periodic population counts on the leaves and twigs of the host tree (olive tree) in the two olive groves. This pest carries out its life cycle in two annual generations. These populations are found on the flower buds and on the terminal and auxiliary buds of the leaves as well as on all exhibitions of the tree and olive varieties. Seasonal climatic conditions and the host plant are likely a factor in the evolution of psylla. According to the orientation of the tree and in the two study sites, a significant difference in the evolution of the populations of psylla of the olive tree *E. olivina* is recorded. We also found a significant relationship between the season and the fluctuation of the *E. olivina* population. Insect mortality from infections of tested entomopathogenic fungi is influenced by both internal and external factors. The virulent properties of entomopathogenic fungi are mainly influenced by mycotoxin production and conidia viability *Isaria fumosorosea* remained the most effective against the olive psyllid, causing 100% of psyllid mortality within 5 days of treatment. In this study, the results justify the repellent and biocidal potential of the three plants studied against the 4th and 5th larval stage of olive psylla. The results obtained in our work also showed a high efficiency of the essential oil of *Satureja calamintha nepeta* and *Eucalyptus globulus*.

Keywords : *Euphyllura olivina*, olive tree, evolutionary cycle, population dynamics, essential oils, entomopathogenic fungi.

liste des abréviations

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances
AFNOR : Association française de normalisation
ANOVA : Analyse de la Variance
CNR : Centre National de Recherche
COI : Conseil Oléicole International
COVs : Composés Organiques Volatils
CPG/SM : Chromatographie en phase gazeuse – Spectrométrie de masse
DVB/CAR/PDMS : Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane
FAO/STAT : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
HE : Huiles Essentielles
I.N. P. V : Institut National de Protection des Végétaux
LGEDE : Laboratoire de de Géo-environnement et développement des espaces
LRSBG : Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique
M: Pourcentage de morts dans la population traitée
MC: Mortalité corrigée
MHE : Masse de l'huile essentielle obtenue (g) ;
MPS : Masse de la plante sèche traitée (g).
Mt: Pourcentage de morts dans la population témoin
RHE : Rendement en huile essentielle (%) ;
RI : Retention Index (indice de rétention)
SE : Standard Error (Erreur standard)
SPME : Solid Phase Micro Extraction (microextraction en phase solide)

Index des tableaux

Tableau 1 : Tableau du potentiel (DSA Mascara, 2020)	7
Tableau 2 : Tableau de production en 2020 (DSA Mascara, 2020)	7
Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques distinctifs des différents stades larvaires d' <i>E. olivina</i> (Arambourg et Chermiti, 1986).	25
Tableau 4 : Valeurs des précipitations mensuelles (en mm) de la station de Mascara (période 2009/2020)	73
Tableau 5 : Valeurs des précipitations mensuelles (en mm) de la station de Mascara (campagne 2019/2020)	73
Tableau 6 : Valeurs des températures mensuelles (en °C) de la station de Mascara (période 2009/2020)	74
Tableau 7 : Valeurs des températures mensuelles (en °C) de la station de Mascara (Campagne 2019/2020)	74
Tableau 8 : Moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse du vent en m/s (période 2009/2020)	75
Tableau 9 : Valeurs de l'humidité moyenne mensuelle de la région de Mascara (2009/2020)	76
Tableau 10 : Le nombre de jours de la gelée par mois	76
Tableau 11 : Analyse physico-chimique du sol de la station d'étude d'Oued Taria	81
Tableau 12 : Nombre de psylle de l'olivier/arbre enregistré sur olivier infesté dans Ain Fares et Oued taria selon les orientations cardinales au cours de la période 2019/2020.	108
Tableau 13 : Nombre cumulé de psylles de l'olivier/arbre enregistré dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria selon la saison durant les années 2019/2020.	113
Tableau 14 : Nombre mensuel de psylle de l'olivier/arbre enregistré dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria durant les années 2019/2020.	114
Tableau 15 : Effets de milieux de culture sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes.	120
Tableau 16 : Effets de pH sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes.	123
Tableau 17 : Effets de températures sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes.	126
Tableau 18 : Taux sporulation et la viabilité des spores des trois isolats de champignon entomopathogènes	129
Tableau 19 : Mortalités Cumulées du quatrième stade larvaire d' <i>Euphyllura olivina</i> causées par <i>Fusarium sp</i> ; <i>V.lecani</i> , et <i>I. fumosorosea</i> avec différentes concentrations.	130
Tableau 20 : Tableau Cumulé des mortalités du cinquième stade larvaire d' <i>Euphyllura olivina</i> causées par <i>Fusarium sp</i> ; <i>V.lecani</i> , et <i>I. fumosorosea</i> avec différentes concentrations.	130
Tableau 21 : Le Temps Létale (LT) pour <i>Euphyllura olivina</i> traités avec les différentes concentrations de <i>Fusarium sp</i> ; <i>V. lecani</i> , et <i>I. fumosorosea</i>	133
Tableau 22 : Toxicité de <i>Fusarium sp</i> ; <i>V. lecani</i> , et <i>I. fumosorosea</i> quatrième et cinquième stages larvaire de psylle.	134
Tableau 23 : Rendement en huiles essentielles des parties des trois plantes étudiées	137
Tableau 24 : Mortalité Cumulées du quatrième et cinquième stade larvaire d' <i>E. olivina</i> causées par <i>E. globulus</i> ; <i>S.calamintha nepeta</i> et <i>T. vulgaris</i> avec différentes concentrations.	141
Tableau 25 : La Dose Létale (DL) par rapport au temps pour le 4 ^{ème} et 5 ^{ème} stade larvaire d' <i>E. olivina</i> traités avec différentes concentrations d' <i>E.globulus</i> ; <i>S.calamintha</i> et <i>T. vulgaris</i> .	142
Tableau 26 : Toxicité d' <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Satureja calamintha nepeta</i> et <i>Thymus vulgaris</i> avec le quatrième et cinquième stade larvaire du psylle de l'olivier.	143
Tableau 27 : Le Temps Létale (LT) pour le 4 ^{ème} et le 5 ^{ème} stade larvaire d' <i>E olivina</i> traités avec les différentes concentrations d' <i>E. globulus</i> ; <i>S. calamintha nepeta</i> et <i>T.vulgaris</i> .	145
Tableau 28 : Le Temps Létal (LT) pour l'huiles essentielles d' <i>E. globulus</i> , <i>T.vulgaris</i> et <i>S. calamintha nepeta</i> contre le psylle de l'olivier : <i>Euphyllura olivina</i> .	146
Tableau 29 : Composition de l'huile essentielle de <i>Satureja calamintha nepeta</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> et <i>Thymus vulgaris</i> en pourcentage	148

Index des figures

Figure 1: Carte de la production mondiale d'huile d'olive 2018/2019	6
Figure 2 : Schéma morphologique d'olivier (Bianchi, 2003)	9
Figure 3 : Fruit d'olive	11
Figure 4 : Stades phénologiques de l'olivier (Nasles, 2012)	13
Figure 5 : Feuilles d'olivier attaquées par la maladie de l'œil de paon	19
Figure 6 : Maladie de chancre de l'olivier	19
Figure 7 : Symptôme de la fumagine	20
Figure 8 : Symptôme de la Verticilliose sur Olivier	21
Figure 9 : Les différents stades larvaires d' <i>Euphyllura olivina</i>	26
Figure 10 : Adulte d' <i>E. olivina</i>	28
Figure 11 : Cycle biologique du psylle (COI, 2007)	31
Figure 12 : Dégâts causés par le psylle de l'olivier	34
Figure 13 : Schéma du cycle biologique des champignons entomopathogènes	40
Figure 14 : Schématisation d'une coupe transversale de la cuticule d'un insecte et le mode d'infection d'un champignon entomopathogène.	41
Figure 15: Clé d'identification de <i>Fusarium sp.</i>	43
Figure 16 : Conidiospores en microscopie électronique à balayage (2A)& conidiogénèse (2B) de <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	47
Figure 17 : Entraînement à la vapeur d'eau (Marie et Lucchesi, 2005).....	55
Figure 18 : Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Marie et Lucchesi, 2005)	56
Figure 19 : Aspects morphologiques de <i>Thymus vulgaris</i> L. (Iserin, 2001)	62
Figure 20 : Photo des parties aériennes de la plante <i>Satureja calamintha</i> (Labiod, 2016)	66
Figure 21 : Photographies d' <i>E globulus</i> (Babar <i>et al.</i> , 2015 ; Kesharwani <i>et al.</i> , 2018)	69
Figure 22 : Situation géographique de la wilaya de Mascara	71
Figure 23 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la station de Mascara (période 2009-2020).	77
Figure 24 : Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude	79
Figure 25 : Emplacement de l'oliveraie d'Oued Taria (Google Map, 2020)	81
Figure 26 : Emplacement de l'oliveraie d'Ain Fares (Google Map, 2020)	82
Figure 27 : Cadavres de ver blancs <i>G. deserticola</i> (Adultes/larves) momifiés (originale)	89
Figure 28 : Repiquage des isolats fongiques (originale)	89
Figure 29 : Préparation de l'inoculum (originale)	92
Figure 30 : Test de pathogénicité (originale)	93
Figure 31 : Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation de type Clevenger	97

Figure 32 : L'effet insecticide des huiles essentielles sur le 4 ^{ème} et le 5 ^{ème} stade larvaire d' <i>E.olivina</i> (originale)	99
Figure 33 : aile antérieure d' <i>Euphyllura olivina</i>	103
Figure 34 : Complexe génito-anal mâle d' <i>Euphyllura olivina</i>	104
Figure 35 : Complexe génito-anal femelle d' <i>Euphyllura olivina</i>	105
Figure 36 : Fluctuation de la population globale d' <i>E. olivina</i> à Ain fares et Oued taria	106
Figure 37 : Répartition des populations du psylle de l'olivier d' <i>E. olivina</i> dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria selon les orientations cardinales	108
Figure 38 : La distribution cardinal des populations d' <i>E. olivina</i> dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria	109
Figure 39 : Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes	119
Figure 40 : Effet de différents milieux de cultures sur la croissance mycélienne des isolats de champignons entomopathogènes.	121
Figure 41 : Effet de différent pH sur la croissance mycélienne des isolats de champignons entomopathogènes.	124
Figure 42 : Effet de différentes températures sur la croissance mycélienne des isolats de champignons entomopathogènes.	127
Figure 43 : Pourcentage de mortalités Cumulé du quatrième stade larvaire d' <i>Euphyllura olivina</i> causées par <i>Fusarium sp</i> ; <i>V.lecani</i> , et <i>I. fumosorosea</i> avec différentes concentrations.	131
Figure 44 : Pourcentage de mortalités Cumulé du cinquième stade larvaire d' <i>Euphyllura olivina</i> causées par <i>Fusarium sp</i> ; <i>V.lecani</i> , et <i>I. fumosorosea</i> avec différentes	132
Figure 45 : L'émergence des champignons sur les cadavres des larves de psylle	135
Figure 46 : Les droites de régressions de l'huile essentielle du <i>Satureja calamintha nepeta</i> pour le 4 ^{ème} et 5 ^{ème} stade larvaire d' <i>E.olivina</i>	144
Figure 47 : Les droites de régressions de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i> pour le 4 ^{ème} et 5 ^{ème} stade larvaire d' <i>E.olivina</i> .	144
Figure 48 : Les droites de régressions de l'huile essentielle du <i>Thymus vulgaris</i> pour le 4 ^{ème} et 5 ^{ème} stade larvaire d' <i>E.olivina</i> .	144
Figure 49 : Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle de <i>Satureja calamintha nepeta</i> .	149
Figure 50 : Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i>	149
Figure 51 : Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i>	149

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Il existe dans le monde entier plus de 800 millions d'oliviers dont 98% sont concentrés sur le pourtour méditerranéen. Le patrimoine génétique oléicole mondial est très riche en variétés. Il est constitué par plus de 2.600 variétés différentes (Muzzalupo et *al.*, 2014).

Dans le bassin méditerranéen, l'olivier (*Olea europea. L*) constitue une essence fruitière principale, tant par le nombre de variétés cultivées que par l'importance sociale et économique de sa culture et de son rôle environnemental.

L'olivier (*Olea europea L.*) constitue une composante essentielle de l'agriculture algérienne (Adamou et *al.*, 2005). En effet, l'olivier compte environ 32 millions d'arbres en Algérie répartie sur une superficie d'environ 328.884 hectares (FAOSTAT, 2017), soit plus de 34 % du verger arboricole national. L'oléiculture algérienne est située principalement dans la partie nord du pays, où la plupart des vergers (80%) sont situés dans des zones montagneuses avec des sols pauvres.

L'olivier présente une aptitude remarquable de rusticité et de plasticité qui lui permettent de s'adapter à des conditions défavorables extrêmes (insuffisance de l'irrigation et adaptation à une large gamme de sol) ; néanmoins, sa production ne suit pas le même rythme d'évolution et les rendements restent relativement stagnants. Cette faible production est le résultat de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques.

De nombreuses études ont été effectuées en ce qui concerne la biologie et la répartition de ces insectes ravageurs mais peu de données existent sur les mécanismes de résistance/tolérance de l'olivier à leur égard.

Dans ce contexte, il est évident qu'il se montre nécessaire de porter une attention particulière aux facteurs capables d'endommager les cultures, et d'engendrer des pertes pouvant mener à un déficit de production assez important. C'est donc dans ce cadre qu'a été mis l'accent sur l'étude des facteurs ayant un impact négatif sur les cultures, et qu'a été étudié un ravageur de cultures particulièrement nocif et répandu, le psylle de l'olivier *Euphyllura olivina*.

Le psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* est présent dans toutes les zones oléicoles méditerranéennes où se trouve l'olivier. L'espèce est liée à la dynamique de son hôte et hiverne à l'état adulte dans les arbres. La reprise d'activité des femelles coïncide avec le réveil végétatif de l'arbre.

C'est un insecte à haute potentialité de reproduction et comprend deux à trois générations. L'évolution larvaire passe par cinq stades successifs définis par les caractères morphologiques dont la taille, le nombre de segments antennaires, la présence et l'importance des fourreaux alaires (Arambourg et Chermiti, 1986). Il s'attaque aux jeunes pousses et aux grappes florales. D'après Jardak et *al.* (1985), une densité de 10 individus par grappe florale constitue le seuil de nuisibilité économique du psylle de l'olivier.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur *E. olivina* à travers le monde sur l'effet de la température sur le développement de celle-ci et sur la lutte biologique contre cet insecte. En Algérie, les études sur la dynamique des populations sont peu nombreuses malgré les travaux sur quelques aspects de la bio écologie.

C'est pour ces raisons que nous apportons notre contribution sur l'étude de la bioécologie et la dynamique des populations de *E. olivina* par les observations au laboratoire et sur terrain ainsi, des essais (tests) d'efficacité de certains champignons entomopathogènes et les effets biocides de certaines huiles essentielles de quelques plantes aromatiques vis-à-vis de ce ravageur.

Le mémoire est structuré d'une manière classique :

- **Une synthèse bibliographique** comportant quatre chapitres : le premier est consacré à la description de la plante hôte (l'olivier : *Olea europaea* L.) ; le deuxième est réservée à la description systématique et comportementale du psylle de l'olivier *Euphyllura Olivina* ; 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 propriétés physico-chimiques des huiles essentielles, les différentes méthodes d'extractions ainsi que leur utilisation biologique.

- 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 des stations 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 du psylle ;
 - ✓ Des essais 'efficacité concernent trois (3) champignons entomopathogènes : *Fusarium sp.*, *Verticillium lecanii* et *Paecilomyces fumosoroseus* ;
 - ✓ Des résultats concernant des essais préliminaires de l'utilisation des huiles essentielles de trois plantes aromatiques *Euclayptus*, *Thymus* et *Sarriette* et leur effet bio insecticide vis-à-vis du psylle ;
- Enfin, une **conclusion générale** et les **références bibliographiques** clôturent ce document.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR L'HOTE VEGETAL

L'olivier : *Olea europea*

CHAPITRE 1 :

Généralités sur l'hôte végétal : L'Olivier

1. Historique et origine de l'olivier

L'olivier (*Olea europaea*) est un arbre d'exception, d'une noble beauté, et qui opère une véritable fascination. Dans la religion islamique, le Coran parle de « cet arbre sacré », qui produit de l'huile et un condiment (Sourate XXII « les croyants, verset 20 ») et Sourate XXIV « la lumière, verset 35 »). Les premières traces sauvages de l'Olivier ont été retrouvées en Asie mineure et date d'il y a plus de 14000 ans. Des fouilles sur des sites préhistoriques ont permis de retrouver des feuilles fossilisées datant du paléolithique ou du néolithiques ainsi que des traces de charbon et de pollens, en bordure du Sahara datant d'environ 12000 ans avant J-C. On ne connaît pas avec certitude le lieu où l'homme a commencé à cultiver l'Olivier, mais on s'accorde pourtant à reconnaître que 3500 avant J-C, elle se serait faite en Syrie (Loumou et Giourga, 2002).

Selon Henry (2003), les historiens et les archéologues ne sont pas unanimes sur le pays d'origine de l'olivier. Cet arbre a incontestablement trouvé en méditerranée des conditions naturelles, principalement climatiques, auxquelles il s'est parfaitement adapté. Le climat méditerranéen est apparu progressivement depuis 10.000 ans avant notre ère, les oliviers s'installant d'abord en méditerranée orientale, pour s'étendre après, durant plusieurs millénaires à l'Ouest et au Nord du bassin méditerranéen (Amouretti et Comet, 2000). L'olivier originaire de l'Est de la Méditerranée a été hautement diffusé dans l'Europe du Sud et le Nord de l'Afrique. Plus récemment, il a été introduit dans d'autres territoires comme l'Amérique du Sud, l'Asie, l'Afrique du Sud et l'Australie (Connor, 2005 ; Rousseaux et *al.*, 2008).

Plusieurs origines ont été attribuées à l'olivier par divers auteurs, mais la plus retenue est celle de Candolle citée par Loussert et Brousse (1978) qui désigne la frontière irano-syrienne comme lieu d'origine. Avec la découverte du « Nouveau Monde » en 1492, l'olivier atteint l'Amérique (Argentine, Pérou, Chili, Mexique, Californie).

De nos jours, on le retrouve également en Australie ou encore au Japon. De plus, la colonisation française a contribué à l'extension de l'oléiculture en Afrique du nord telle que l'oliveraie de Sfax en Tunisie, de Sig en Algérie et de Meknes au Maroc (Mendil et Sebai, 2006).

2. Importance économique

2.1. Dans le monde

L'olivier est une plante qui se classe au 24^{ème} rang sur les 35 espèces les plus cultivées dans le monde et présente un intérêt économique majeur (Breton et *al.*, 2006). L'olivier poursuit son expansion au-delà de la Méditerranée, s'implantant dans les régions éloignées de son lieu d'origine comme l'Afrique du sud, l'Australie, le Japon et la Chine (Benhayoun et Lazzeri, 2007). L'oléiculture est la principale culture fruitière largement cultivée dans le monde ; elle occupe la sixième place dans la production mondiale d'huile végétale. En raison de sa qualité nutritionnelle, elle a une grande valeur commerciale que la plupart des autres cultures oléagineuses et couvrant une superficie de 10.8 millions d'hectares (Torreblanca et *al.*, 2010).

L'olivier constitue la principale essence fruitière, par son importance sociale et économique au niveau des pays du bassin méditerranéen (Brhadda et *al.*, 2003). D'après Belaj et *al.* (2002), la production d'olives est concentrée dans le sud de l'Europe, principalement l'Espagne et l'Italie, suivie par la Grèce, le Portugal et la France.

Le Conseil Oléicole International (COI) est un organisme intergouvernemental qui joue un rôle important dans la collecte, l'analyse puis la diffusion de l'information sur les produits oléicoles sur le marché mondial. Il est constitué de 17 membres qui sont ; Albanie, Algérie, Argentine, Egypte, Irak, Iran, Jordanie, Liban, Maroc, Monténégro, Palestine, Syrie, Tunisie, Union européenne et Uruguay. Ces pays réalisent 98 % de la production mondiale. Selon les données officielles des pays et les estimations du COI, la production mondiale de la campagne 2019/2020 est de 3.144.000 tonnes, ce qui représente une diminution d'environ 2,3% par rapport à la campagne précédente. La consommation mondiale aurait atteint 3.094.000 t, soit une augmentation de 6,4% par rapport à la campagne précédente.

Bien que l'huile d'olive est de plus en plus consommée et appréciée pour son goût unique et ses bienfaits pour la santé, elle ne contribue qu'à 3 % du marché mondial des huiles végétales alimentaires (Barjol, 2014).

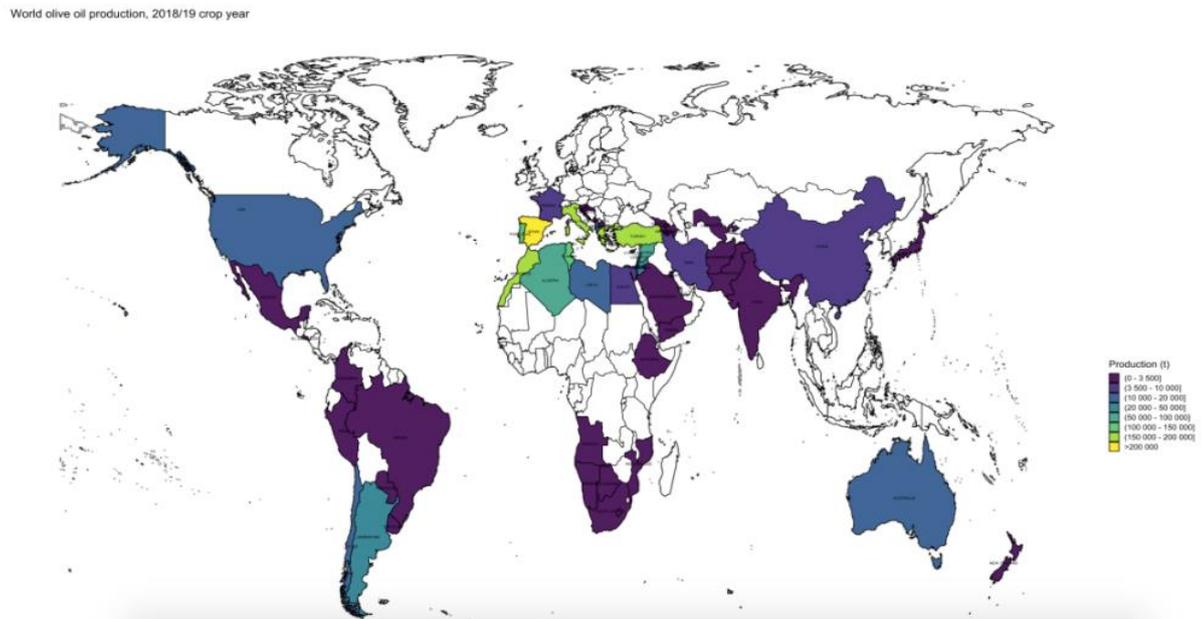


Figure 1: Carte de la production mondiale d'huile d'olive 2018/2019 (COI, 2019).

2.2. En Algérie

L'oléiculture est concentrée au niveau de sept principales wilayas (Bejaïa, Tizi-Ouzou, Bouira, Bordj-Bou-Argeridj, Jijel, Sétif et Mascara) dont la région centre représente un taux de plus de 75% de la superficie oléicole globale de ces sept wilayas (ANDO, 2018). Par ailleurs, la production nationale des olives a atteint, durant la saison 2019/2020, environ 10.380.000 quintaux, contre 8.687.000 quintaux l'année dernière, soit + 65% de production d'huile d'olive.

En Algérie, on distingue deux types d'oléicultures :

- ✓ Une implantation récente, de densité homogène et régulière, localisée à l'ouest du pays et spécialisée dans la production de l'olive de table.
- ✓ L'autre, est séculaire, couvrant plus de 90 % du verger oléicole, destinée pour la production de l'huile, localisée en région montagneuses avec des reliefs accidentés et sur des terres pauvres, située dans le centre et l'est algérien (Yvon, 2006).

Selon Mendil (2003), l'oléiculture représente une filière stratégique pour l'agriculture et l'économie algérienne. Dans notre pays, l'oléiculture a pris une grande expansion au début du siècle dernier, favorisée par plusieurs facteurs dont le climat et la terre adaptée à sa culture.

L'Algérie figure parmi les 43 pays producteurs d'huile d'olive. La superficie destinée à la plantation d'olivier est estimée à près de 500 000 ha. La production totale est d'environ 6,537mqx d'olivier dont 2,333mqx d'olives de table et 4,203mqx d'olive à huile, alors que la production d'huile d'olive est de 758892 HI (MADR, 2019). Selon des statistiques établies par le ministère de l'Agriculture et du développement Rural en 2019, Bejaia, Tizi-Ouzou et Bouira représentent 51% de la production nationale et environ 44% du verger national oléicole. Ces trois wilayas sont spécialisées beaucoup plus dans la production d'huile d'olive.

2.3. Dans la wilaya de Mascara

Selon les services de la D.S.A de Mascara, la superficie totale de l'olivier dans la wilaya est de l'ordre de 19011 has. Le périmètre de Sig représente à peu près le tiers (1/3) de la superficie globale (5.492 has).

La superficie en production représente 13645 ha, soit environ 72% de la superficie oléicole totale. Les superficies cultivées ont connu une évolution de 4241 has entre 2012 et 2020. Quant aux superficies en rapport, on peut distinguer aussi une augmentation de 2645 has sur la même période.

Les rendements obtenus de la campagne oléicole de 2019 varient selon les zones ils ont atteint 60qx/ha pour Sig, Oggaz et Ras el Ain Amirouche et entre 30 et 50 qx/ha pour les autres régions de la wilaya (Tableaux 1-2).

Tableau 1 : Tableau du potentiel (DSA Mascara, 2020)

Potentiel	Sup. totale (ha)	Sup. en rapport (ha)	Nbre oliviers total	Nbre oliviers en rapport
En masse	17533	12244	2018938	1413942
En isolé	1478	1401	125968	120354
Total	19011	13645	2144906	1534296

Tableau 2 : Tableau de production en 2020 (DSA Mascara, 2020)

Productions (q)			Rendement olive (q/ha)	Productions d'huile (hl)	Rendement d'huile (l/q)
Oliviers totales	Oliviers de table	Oliviers à huile			
715177	696922	18255	52	2190.6	12

3. Position systématique

3.1. Classification et systématique

L'olivier a été nommé *Olea europea* et introduit pour la première fois dans "*Species plantarum*", par Linné, en 1753. Selon Claros et al., (2000), Green (2002), Avenard (2008) et Strikic et al., (2010), *Olea europea* appartient au :

- Règne : Plantae
- Sous règne : Tracheobionates
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : Astéridées
- Ordre : Lamiales
- Famille : Oléacées
- Genre : *Olea*
- Espèce : *Olea europea*

3.2. Variétés de l'olivier en Algérie

Il existe plus de cent variétés dans le monde (Henry, 2003). L'Algérie est caractérisée par une large gamme de variétés. Les travaux de Mendil et Sebai (2006) ont permis de décrire les principales variétés existantes en Algérie :

- ✓ **Variété Chemlal (Achemlal, Achemli) :** Elle est dominante en Kabylie. Elle représente 40 % de l'oléiculture Algérienne. Son rendement en huile est de 18 à 22 %.
- ✓ **Variété Rougette de Mitidja :** Elle existe sur la plaine de Mitidja et sur le piedmont de l'Atlas, à une faible altitude. Son rendement en huile est de 16 à 20%.
- ✓ **Variété Sigoise (Olive de Tlemcen, Olive de Tell) :** Elle est d'origine de la Plaine de Sig (Mascara). Cette variété occupe 25 % des oliviers cultivés en Algérie. C'est une variété à double fins (huile et conserverie), Son rendement en huile est de 18 à 22%.

L'Algérie a introduit dans cette dernière décennie une nouvelle collection variétale importée de la Syrie. Les variétés Sorani et Zaïty sont considérées comme résistantes à la maladie de l'œil de paon et à la Tuberculose de l'olivier, mais sensibles à la Verticilliose (COI, 2013).

4. Caractéristiques morphologiques de l'olivier

4.1. Aspect général

L'olivier se caractérise par un tronc bas, de couleur gris. C'est un arbre à croissance lente qui peut atteindre 15 à 20 mètres de hauteur selon les sols et les climats. Il est toujours vert. C'est le seul arbre fruitier persistant (Henry, 2003).

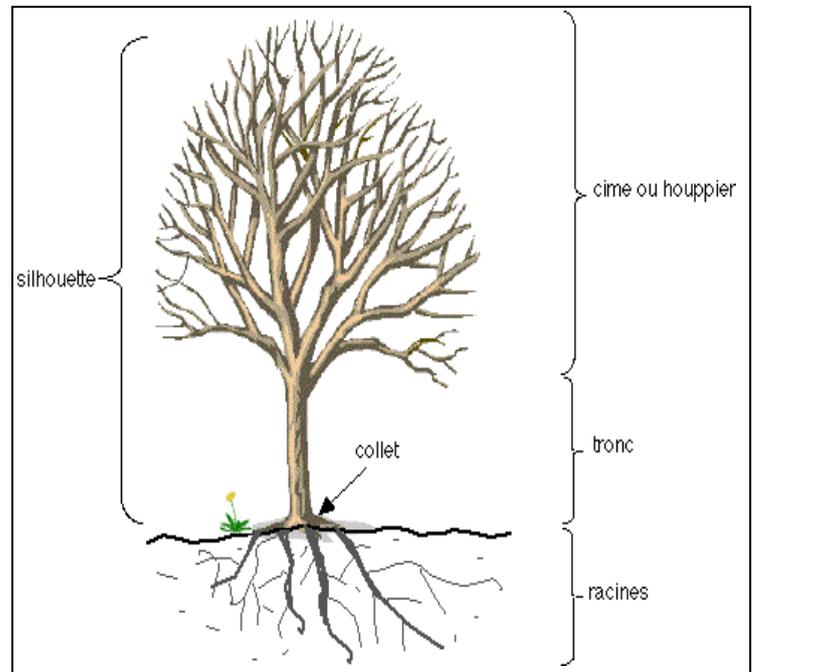


Figure 2 : Schéma morphologique d'olivier (Bianchi, 2003).

4.2. Le système racinaire

Le développement du système dépend des caractéristiques physico-chimiques du sol, des réserves d'eau et l'aération du sol et du type de reproduction (Loussert et Brousse, 1978). Dans les sols profonds très imperméables, aérés et légers, le système racinaire est à tendance pivotant. Les racines peuvent atteindre 6 à 7 m en profondeur. En revanche, dans les sols lourds, peu ou non aérés et peu profonds, le système racinaire est à tendance fasciculé. Les racines sont très ramifiées et portent un nombre élevé de radicelles (Loussert et Brousse, 1978).

4.3. Le système aérien

Le système aérien est composé :

✓ d'un tronc au moins haut (de 50 cm à 1 m) chez les arbres taillés cultivés pour que le ramassage soit plus aisé ;

✓ de branches principales aux nombres de 3 à 8 : celles-ci donnent sa forme ;

✓ des branches secondaires ;

✓ de rameaux qui assurent la fructification de l'année en cours ;

✓ de drageons ou rejets ou éclats qui se développent à partir du collet et qui peuvent donner un nouvel arbre (Boukhari, 2014).

❖ **Le tronc** : Le tronc des jeunes oliviers est droit et circulaire. En vieillissant, il se déforme et acquiert son aspect tourmenté caractéristique des zones successives de dépression, les cordes, apparaissent. Actuellement, la nouvelle tendance est de réduire son développement. L'écorce et le bois sont gris brunâtre et diffèrent entre arbres irrigués et arbres non irrigués (Lavee, 1997).

❖ **La feuille** : Les feuilles sont persistantes et d'une durée de vie de trois ans. Elles sont lancéolées et pointues. La face supérieure est luisante de couleur vert foncé, tandis que la face inférieure présente un aspect argenté (Lavee, 1997). Selon Loussert et Brousse (1978), la forme et la dimension des feuilles varient considérablement en fonction de l'âge du plant, de sa vigueur et de son environnement (peut varier d'ovale, fusiforme et allongée, lancéolée et quelques fois linéaire).

❖ **La fleur** : Dès le début du mois de mai, on peut voir fleurir les oliviers ; cependant, la floraison ne dure qu'une huitaine de jours. Ce sont des fleurs hermaphrodites, tétramères. Au cœur de la fleur, l'ovaire à 2 loges se prolonge par un épais stigmate, et les 2 étamines saillantes s'attachent sur le tube de la corolle. Les fleurs sont petites, blanches, odorantes, regroupées en grappes dressées à l'aisselle des feuilles. La plupart des fleurs se différencient en même temps ; elles commencent à grandir individuellement lorsque l'inflorescence atteint 2/3 de sa longueur définitive. Quant à la morphologie de la fleur de l'olivier, elle est uniforme pour toutes les espèces d'*Olea europea* (Lavee, 1997). Selon Martin *et al.* (1994), seulement 5% des fleurs parfaites assureront après pollinisation et fécondation la production de l'arbre.

❖ **Le fruit** : L'olive est une drupe à mésocarpe charnu, indéhiscente (ne s'ouvrant pas), à noyau. Sa forme est ovoïde ou ellipsoïde (Figure 3). Elle est constituée de l'extérieur vers l'intérieur de trois parties : L'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.

- **L'épicarpe** : C'est la peau de l'olive. A maturation, l'épicarpe passe de la couleur vert tendre (olive verte) à la couleur violette ou rouge (olive tournante) puis à la coloration noirâtre (olive noire) (Bianchi, 2003).
- **Le mésocarpe** : dénommé également la pulpe, représente 70 à 80 % du poids du fruit. Il renferme dans une matrice une solution aqueuse, dont les solutés sont essentiellement des sucres, acides organiques, phénols, composants d'arômes (El Antari et al., 2003).
- **L'endocarpe** : est constitué par un noyau fusiforme très dur. Sa forme et sa dimension varient suivant la variété. Ainsi, la morphologie du noyau permet de caractériser et d'identifier les cultivars d'olivier (El Antari et al., 2003).

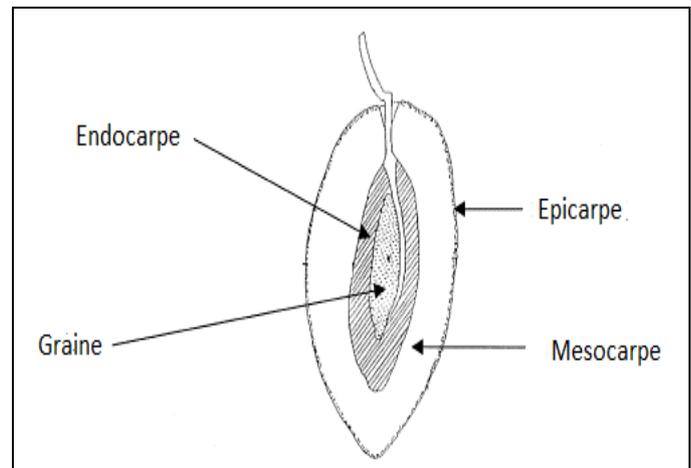


Figure 3 : Fruit d'olive

Figure 3 a : Fruit d'olive

<https://agronomie.info/fr/description-de-la-plante-de-lolivier>

Figure 3 b : Schéma d'une coupe transversale d'une olive (Bianchi, 2003)

5. Phénologie

Le cycle évolutif annuel est caractérisé par les processus et les changements biologiques, biochimiques et morphologiques que subit l'arbre durant l'année (Figure 4). Le déroulement de ce cycle est étroitement en relation avec le climat méditerranéen (Loussert et Brousse, 1978).

- A - Stade hivernal :** Le bourgeon terminal et les yeux axillaires sont en repos végétatif.
- B – Réveil végétatif :** Le bourgeon terminal et les yeux axillaires amorcent un début d'allongement.
- C - Formation des grappes florales :** En s'allongeant, la grappe fait apparaître les différents étages de boutons.
- D – Gonflement des boutons floraux :** Les boutons s'arrondissent en gonflant. Ils sont portés par un pédicelle court. Les bractées situées à leur base s'écartent de la hampe florale.
- E – Différenciation des corolles :** La séparation du calice et de la corolle est visible. Les pédicelles s'allongent, écartant les boutons floraux de l'axe de la grappe.
- F – Début de floraison :** Les premières fleurs s'épanouissent après que leurs corolles soient passées du vert au blanc.
Un stade est atteint lorsque plus de 50% des organes végétatifs répondent à sa définition.
- F1 – Pleine floraison :** La majorité des fleurs sont épanouies.
- H – Nouaison :** Les jeunes fruits apparaissent, mais dépassent peu la cupule formée par le calice.
- G – Chute des pétales :** Les pétales brunissent et se séparent du calice. Ils peuvent subsister un certain temps au sein de la grappe florale.
- I – Grossissement des fruits 1er stade :** Les fruits subsistants grossissent jusqu'à atteindre la taille d'un grain de blé.
- I¹ – Grossissement des fruits 2^{ème} stade :** Les fruits les plus développés atteignent 8 à 10 mm de long et lignification du noyau.

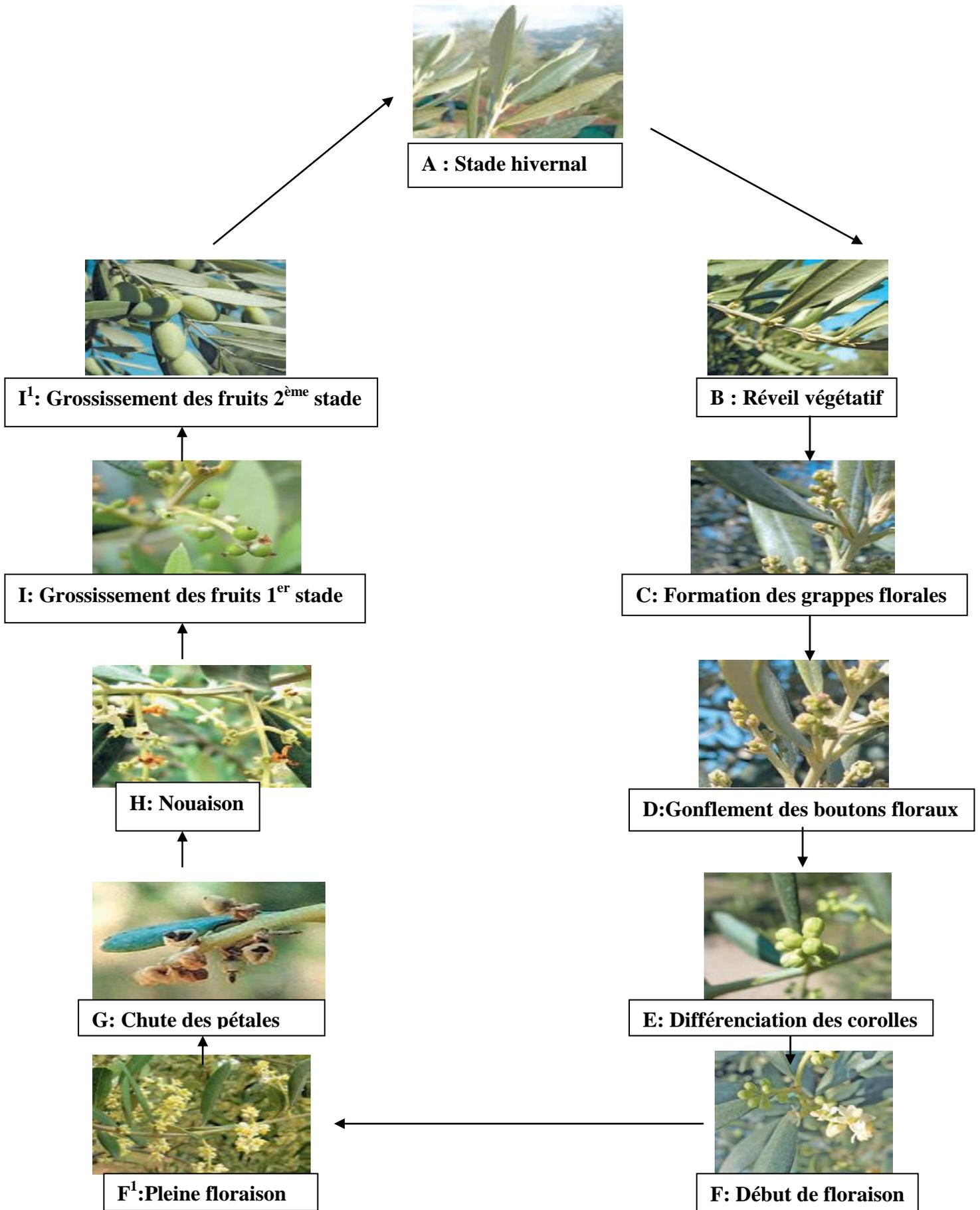


Figure 4 : Stades phénologiques de l'olivier (Nasles, 2012).

6. Alternance

D'après Moreaux (1997), l'alternance est un phénomène physiologique très répandu chez les arbres fruitiers. Au sein d'une même espèce, certains cultivars sont très alternants, d'autres le sont moins ou pas du tout. De même, Loussert et Brousse (1978) notent que cette alternance est le plus souvent bisannuelle, mais pour certaines espèces, elle peut être pluriannuelle.

7. Multiplication de l'olivier

Il existe plusieurs méthodes pour obtenir des jeunes plants d'oliviers. Selon Douat (1998), la multiplication de l'olivier peut être procédée facilement de plusieurs façons :

7.1. Méthodes traditionnelles

C'est une multiplication par voie asexuée (végétative); Elle se trouve dans tout type de reproduction des plantes ne faisant pas intervenir le phénomène sexuel.

- ✓ Bouturage ligneux.
- ✓ Bouturage par souchet.
- ✓ Greffage des oléastres.

7.2. Méthodes intensives

La nécessité impérative de renouveler le vieux verger oléicole, les pays sont amenés à orienter leur production de plants vers une culture intensive qui passe par la multiplication en pépinière ; les méthodes les plus utilisées sont :

- ✓ Semis de noyaux suivi du greffage ;
- ✓ Bouturage semi-ligneux avec un traitement hormonal des boutures ; leur élevage en serre équipée de nébulisation et leur durcissement en serre d'adaptation.

8. Exigences pédoclimatiques

8.1. Exigences climatiques

Selon Charlet (1975) cité par Belgout et Slimani (2020), l'olivier demande un climat méditerranéen avec un hiver pluvieux, un printemps court, un été chaud et sec et une période automnale longue.

8.1.1. La température

L'olivier est apte à bien supporter le froid, selon son stade végétatif. Cependant, les basses températures -7°C peuvent être dangereuses, et les dégâts peuvent être importants. Par contre, il supporte les températures estivales, si son alimentation hydrique est satisfaisante.

Les besoins en basses températures de l'olivier sont estimés à environ 400h avec des températures égales ou inférieures à + 9°C. En période de végétation, les températures optimales du développement de l'arbre sont comprises dans un intervalle de 12° à 22°C. Au-dessus de 35°C, la température est néfaste pour l'olivier. L'arrêt de croissance végétative se produit entre 35° à 37°C (Kasraoui, 2010).

8.1.2. La pluviométrie

Les besoins hydriques potentiels de l'olivier dépendent du climat et du type de sol de la région, ainsi que des réserves d'eau disponibles à la fin de l'hiver (Kasraoui, 2010). Ainsi, pour une pluviométrie:

- ✓ de 600 mm bien réparties, l'olivier peut produire normalement ;
- ✓ de 450 et 600 mm, la production est possible à condition que les capacités de rétention en eau du sol soient suffisantes ;
- ✓ inférieure à 200 mm, l'oléiculture est économiquement non rentable (Walali et al. , 2001) et l'olivier a besoin d'un apport en eau d'irrigation.

Les précipitations doivent être supérieures à 400mm ; jusqu'à 600mm, les conditions sont suffisantes ; elles sont acceptables jusqu'à 800 mm et bonnes jusqu'à 1000mm (COI, 2007).

8.1.3. La lumière

L'olivier ne nécessite pas un photopériodisme important ; mais la lumière reste un facteur de production de qualité (Boulouha, 2006), car un manque d'éclaircissement et d'enseillement affecte la formation des fruits et augmente la probabilité d'infection des oliviers par des parasites tels que la fumagine et les cochenilles.

8.1.4. Le vent

Les vents chauds au cours de la floraison, les brouillards et les fortes hygrométries, la grêle et les gelées printanières sont autant de facteurs défavorables à la floraison et à la fructification (Walali, 2001).

8.1.5. L'hygrométrie

L'olivier redoute des taux d'humidité de l'air élevés, ce qui interdit sa culture à proximité immédiate de la mer. Une humidité excessive et permanente favorise le développement de certains parasites. Certaines variétés locales algériennes seraient assez tolérantes à l'excès d'humidité (variétés cultivé à Bejaia comme HAMRA) (Bechiche, 2017).

Les autres facteurs climatiques :

- ✓ **L'insolation** : L'olivier exige une lumière abondante pour pousser et fructifier normalement, ce qui explique que seuls les rameaux externes de la frondaison fleurissent et fructifient (Loussert et Brousse, 1978) ;
- ✓ **Le brouillard** : il est néfaste car il provoque la chute des fleurs (coulure) ;
- ✓ **La neige** : elle provoque la rupture des branches ;
- ✓ **La grêle** : elle détruit les jeunes rameaux.

8.2. Exigences pédologiques

Les critères de choix des sols pour la plantation des oliviers, tiennent compte d'une part des exigences propres de l'arbre, et d'autre part du contexte géomorphologique et bioclimatique.

La mise en place des plantations est possible sur des sols contenant jusqu'à 30 % d'argile à condition que la composition du sol soit constituée d'une structure grossière ; donc le sol doit être profond, perméable, bien équilibré en éléments fins (50% d'argile + limons) et 50% en éléments grossiers (sables moyens et grossiers) (Loussert et Brousse, 1978). Il peut également supporter des terrains calcaires allant jusqu'à pH 8 (Gargouri et *al.*, 2006). En revanche, il redoute les terrains trop humides. Enfin, l'olivier est considéré comme une espèce modérément tolérante au sel.

9. Exigences agrolologiques

9.1. Entretien mécanique

Le broyage de l'herbe ou le passage de griffes se fait à partir de la fin avril jusqu'à la fin juillet pour limiter la concurrence hydrique (ne travaillez pas le sol profondément). Il faut que le sol reste enherbé en dehors ; de la période estivale, notamment avant la récolte afin d'accéder au verger avec les véhicules (Afidol, 2017). En cas d'irrigation, il est préférable le maintien d'un enherbement permanent en verger adulte afin d'assurer le renouvellement de la matière organique ; alors il faut répondre à une augmentation des besoins en eau de l'ordre de 20 %.

9.2. Le désherbage chimique

Il existe deux types d'herbicides :

- ✓ désherbants foliaires (1 à 2 passages par an, à appliquer sur plantules) ;
- ✓ désherbants de prélevée (1 passage au printemps, à appliquer sur sol propre et sans mottes et avant une pluie).

9.3. L'irrigation

Les techniques d'irrigation sont plus variées. Elles vont des pratiques les plus simples (irrigation par gravité) aux techniques les plus perfectionnées (irrigation goutte à goutte). Selon les études du Conseil Oléicole International, le recours à l'irrigation a permis d'améliorer la rentabilité de l'oléiculture. Les résultats obtenus dans le bassin méditerranéen indiquent que des doses de 1500 m³/ha permettent d'obtenir de bonnes récoltes (COI, 2007).

9.4. La fertilisation

Avant toute plantation, il est nécessaire d'apporter une fumure de fond qui sera enfouie par un labour moyen. Les éléments minéraux, essentiellement, les éléments majeurs (N, P, K) sont nécessaires à la réalisation du cycle de vie du végétal, leurs carences entraînent des symptômes spécifiques sur les feuilles (Meyer *et al.*, 2004).

L'azote (**N**) est nécessaire à la formation des protéines intervenant dans la construction de la plante. Il intervient dans la croissance végétative, et dans la formation des fleurs et des fruits. D'après Yakoub-Bougdal (2005), les carences en azote se manifestent par une chlorose plus ou moins poussée des feuilles qui peuvent chuter, par une réduction globale de la croissance, par une diminution de la floraison, de la fructification et de la récolte.

Le phosphore (**P**) intervient au niveau de la construction des membranes cellulaires, il participe à la formation des composés intermédiaires du métabolisme, aux transferts d'énergie, à la synthèse des constituants génétiques du noyau (ADN et ARN) au développement des tissus de méristème. La carence s'exprime d'abord par une coloration verte sombre et une chlorose du sommet du limbe qui s'étendra vers le bas à partir des bords de la feuille (Yakoub-Bougdal, 2005).

Le potassium (**K**) revêt une importance majeure chez l'olivier. Son rôle fondamental est de promouvoir l'accumulation de réserves sous forme d'amidon et améliore l'activité photosynthétique. Plusieurs études ont reporté que les plantes avec un apport adéquat du potassium ont des tissus mieux hydratés que ceux des plantes présentant une déficience de cet élément. Par ailleurs, Mengel et Kirkby (2001) ont montré que la fertilisation potassique a diminué les effets négatifs du stress hydrique de l'olivier.

9.5. La taille

Les principes fondamentaux de la taille, sont : L'équilibre architectural, la lumière et l'aération. Selon Wallali *et al.*, (2003), il existe différents types de tailles :

- ❖ **La taille de formation** : Elle a pour but de créer l'ossature de l'olivier, d'obtenir un certain nombre de branches charpentières nécessaires à l'édification d'une forme bien précise et de provoquer la naissance de branches fructifères (Maillard, 1975).
- ❖ **La taille de fructification** : Cette opération assure un équilibre entre les différentes parties de l'arbre, en supprimant les gourmands et formant des rameaux de remplacement à la base de ceux venant de fructifier, tout en conservant la forme initiale (Prat, 2015).
- ❖ **La taille de restauration (régénération)** : selon Laumonier (1960), elle consiste à supprimer une forte proportion des parties aériennes pour reformer et redonner une nouvelle jeunesse à la ramure des arbres trop âgés ou à ceux dont la taille et l'entretien ont été négligés.

10. Les principaux bioagresseurs de l'olivier

Les ennemis de l'olivier sont très nombreux et diversifiés. Il compte près de 250 ennemis importants qui sont signalés par différents auteurs. Ils sont repartis entre 90 champignons, 5 bactéries, 11 nématodes, 110 insectes 13 Arachnides, 5 oiseaux et 4 mammifères (Gaouar, 1996).

10.1. Les principales maladies

❖ **La Tavelure de l'olivier ou l'œil de paon** : Cette maladie est causée par *Cycloconium oleaginum*. D'après Wirth *et* Joseph (1994), cette mycose peut attaquer différentes parties de l'arbre ; mais les dégâts sont surtout apparents et caractéristiques sur les feuilles. Sur ces organes, le champignon est actif sur les deux faces. Suite à l'infection, des petites taches arrondies avec un centre gris ou brunâtre et une marge régulière apparaissent ; on trouve le plus souvent de nombreuses taches sur les limbes. Les feuilles attaquées tombent généralement. Sur fruits, lorsque les conditions du développement du champignon sont optimales, des attaques de la queue de fruit, ou du pédoncule, peuvent se produire, provoquant leur chute prématurée des olives.



Figure 5 : Feuilles d'olivier attaquées par la maladie de l'œil de paon (Triki et *al.*, 2003).

❖ **La Tuberculose ou chancre de l'olivier** : C'est une bactériose due à *Pseudomonas savastanoi*. La dissémination de la bactérie responsable de la tuberculose de l'olivier s'effectue essentiellement par des vecteurs tels que les insectes contaminés par l'agent pathogène. La maladie est omniprésente dans le bassin méditerranéen. Elle se manifeste par des tumeurs et nodules sur le bois. Assawah et Avat (1985) notent qu'une sévère attaque de la tuberculose provoque la diminution de la vigueur et de la production de l'arbre. Les risques d'infestation des arbres d'olivier par la tuberculose peuvent être potentiellement réduits en veillant à :

- ✓ Ébrancher les branches et les rameaux malades ;
- ✓ Éviter les blessures pendant la récolte ;
- ✓ Éviter de tailler les oliviers pendant la pluie et la rosée ;
- ✓ Tailler les arbres atteints en dernier lieu et désinfecter les outils de taille.



Figure 6 : Maladie de chancre de l'olivier (Afidol, 2021).

❖ **La Fumagine** : La fumagine, encore appelée « noir de l'olivier », est provoquée par un complexe de champignons. Selon Walali et *al.* (2003), l'agent causal est nommé *Capnodium oleaginum* ou *Fumago salicina* (1801), qui se développe sur les arbres touffus non taillés. Elle se manifeste par un dépôt noirâtre, semblable à de la suie, qui recouvre la surface des feuilles et du bois. La prolifération du champignon par la création d'un feutrage noir sur les feuilles facilement reconnaissable, empêche la fonction chlorophyllienne et provoque l'affaiblissement de l'arbre (ITAF, 2004).



Figure 7: Symptôme de la fumagine (Google.image.com)

❖ **La Verticilliose** : Cette maladie est causée par *Verticillium dahliae* (Kleb, 1913), qui est une grave maladie qui affecte les oliveraies en irrigation pérenne (Walali, 2003). Le champignon a été décrit pour la première fois (sur l'olivier) en Italie (Ruggieri, 1946) puis signalé dans différents pays du bassin Méditerranéen, Espagne, France, Syrie (Civantos, 1999). La maladie a été aussi signalée en Algérie depuis le début des années 1990 (Benchabane, 1990) et depuis ne cesse de s'étendre sur de nombreuses oliveraies en Algérie (Abderhamani, 1992; Bellahcene et *al.* 2007; Benouzza, 2012). Ces études ont montré l'importance des dégâts de cette trachéomycose et les conséquences néfastes sur l'arbre, souvent irréversibles. L'impact de la maladie est sévère sur l'oliveraie au cours de la première année de son installation ; mais elle a tendance à devenir modérée avec le vieillissement de l'arbre (Guechi et *al.*, 2007).



Figure 8: Symptôme de la Verticilliose sur Olivier (Donato Boscia, CNR, 2018)

9.2. Les principaux insectes ravageurs

❖ **La mouche de l'Olivier : *Bactrocera oleae*** (Tephritidae ; Diptera) (**Gmelin, 1790**) : C'est le ravageur le plus préoccupant pour les oléiculteurs. Ses dégâts, qualitatifs et quantitatifs, dépassent largement 30% de la production (Chenaoua, 2010). Le cycle biologique de *B. oleae* est étroitement lié à la phénologie de son hôte. Le nombre de générations dépend des facteurs climatiques, du biotope et de la date de récolte des fruits. Chaque génération se compose de l'œuf, de la larve (trois stades), de la puppe et de l'adulte. L'œuf et larve se développent à l'intérieur du fruit ; alors que la puppe continue son développement sur l'olive, sur la feuille ou dans le sol. Ce stade est très résistant aux températures basses (El messoussi et *al.*, 2010).

❖ **La teigne de l'olivier : *Prays oleae*** (**Bernard, 1788**) : C'est un papillon très dangereux pour l'olivier dont l'observation commence en mars dans les feuilles des oliviers. Elle vit tout au long de l'année dans l'arbre. Trois générations se succèdent durant l'année, se développant à chaque fois sur un organe différent de l'arbre. Plusieurs auteurs, en l'occurrence Villa (2003) et Hmimina (2009), ont constaté que les dégâts les plus importants sont dus à la génération carpophage, qui provoque la chute des drupes au moment de la pénétration des larves dans les olives, en juin-juillet et à la sortie des larves matures, en septembre-octobre. Actuellement, la lutte contre la teigne de l'olivier est dirigée contre les stades larvaires des deux premières générations coupables des premiers dégâts.

❖ **La cochenille noire de l'olivier : *Saissetia oleae* (Olivier, 1791)** : C'est un homoptère de la famille des *Lecanidae*. Elle n'est pas spécifique à l'olivier et vit sur un nombre considérable de plantes cultivées et sauvages dans l'ensemble des pays méditerranéens (*O. europea*, *Citrus*, *Ficus*, *Pinus*, *Pistacia*, *Thuya*, *Eucalyptus* ...etc. (Hmimina, 2009).

❖ **La cochenille violette de l'olivier : *Parlatoria oleae* (Colvée, 1880)** : Selon Benassy (1986) et Biche (1987), *P. oleae* est une petite cochenille du groupe des Diaspines. Elle présente deux générations annuelles (printemps, automne). Le corps de la femelle est largement ovoïde de couleur violette à rouge vineux, se trouvant au-dessous de la carapace. Cet homoptère s'attaque aux rameaux, aux feuilles en provoquant la décoloration et la déformation des fruits (Biche et Sellami, 2011).

❖ **Le thrips de l'Olivier : *Liothrips oleae* (Costa, 1857)** : D'après Hmimina (2009), les thrips sont des insectes de 1 à 2 mm de long, qui piquent les organes végétaux pour se nourrir du contenu des cellules. Les cellules vidées se remplissent alors d'air, ce qui se traduit par des taches ou des marbrures gris argenté. Les Thrips forment un vaste ensemble correspondant à l'ordre des Thysanoptères. Cette espèce fait partie du groupe des Tubulifères, c'est-à-dire qu'il dépose les œufs le long des nervures des feuilles, sans les enfoncer dans les tissus comme le font les Térébrants (Coutin, 2003).

❖ **Le psylle de l'olivier : *Euphyllura olivina* (Costa, 1839)** : C'est un insecte de petite taille (2 à 2,5 mm) et de couleur gris sombre. Ses larges ailes sont presque rectangulaires. Les adultes hivernent et les pontes printanières sont déposées en mars-avril à la face inférieure des feuilles des pousses terminales. Les larves produisent un abondant miellat (Coutin, 2003).

Cet insecte, objet de notre étude, sera détaillé dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 2
GENERALITES SUR LE
PSYLLE DE L'OLIVIER : *Euphyllura olivina*

CHAPITRE 2 :

Généralités sur le psylle de l'olivier : *Euphyllura olivina*

1. Présentation de l'insecte : Psylle de l'olivier *Euphyllura olivina*

L'insecte a été déterminé pour la première fois par Costa en 1839 sous le nom de *Thrips olivina*. C'est un petit Hémiptère de type piqueurs-suceurs. L'espèce est communément appelée « coton » en raison de la matière cotonneuse blanche que secrètent les larves en colonie sur les grappes florales ou à l'extrémité des pousses (Argenson et *al.*, 1999).

C'est un ravageur commun dans tous les pays méditerranéens, se développant aussi bien sur l'oléastre que sur les variétés cultivées, et se trouve strictement inféodé à l'olivier (Arambourg, 1984). Cependant, il n'est pas impossible que ce même psylle s'attaque à d'autres espèces végétales. A l'état larvaire comme à l'état adulte, l'insecte est un suceur de sève élaborée. Il s'attaque aux organes en cours de croissance (jeunes pousses, grappes florales et jeunes olives) provoquant des dégâts considérables dans les oliveraies affectant ainsi la production (Arambourg, 1986).

En Algérie, Djellout et *al.* (2019) ont remarqué l'existence d'un polymorphisme de coloration prononcé chez *E. olivina* qui semble dépendant de la phénologie de la plante hôte et/ou les conditions de développement des stades immatures.

2. Position systématique

D'après Jardak et *al.* (1985), le psylle de l'olivier est un ravageur qui appartient à la classification suivante :

- Règne : *Animalia*
- Embranchement : *Arthropoda*
- Sous-embranchement : *Hexapoda*
- Classe : *Insecta*
- Ordre : *Hemiptera*
- Super-famille : *Psylloidea*
- Famille : *Aphalaridae*
- Genre : *Euphyllura*
- Espèce : *Euphyllura olivina*. (Costa, 1839).

3. Aire de répartition

Euphyllura olivina (Costa) (Hemiptera : Sternorrhyncha : Psylloidea), d'origine du sud de l'Europe, est présente dans toutes les zones oléicoles méditerranéennes où se trouve l'olivier, *Olea europaea* L. (Debo et al., 2011), bien qu'elle puisse aussi vivre sur d'autres Oléacées comme *Phillyrea angustifolia* et *P. latifolia*.

Selon Hougardy et al. (2020) et Ouvrard (2021), cette espèce qui présente une large distribution, avec des données publiées dans plusieurs pays (Algérie, Autriche, Corse, France, Allemagne, Grande-Bretagne, Iran, Italie, Madère, Malte, Monténégro, Maroc, Palestine, Portugal, Slovénie, Espagne, Suisse, Tunisie et Yougoslavie), a été également introduite aux États-Unis d'Amérique (Californie).

Par ailleurs, Cho et al. (2021) signale la présence du psylle de l'olivier pour la première fois (Juin 2020) dans la région paléarctique orientale, Corée du Sud.

En Algérie, il a été déclaré pour la première fois par Arambourg en 1986.

4. Description morphologique

4.1. L'œuf

L'œuf d'*Euphyllura olivina* mesure 250µm de longueur sur 140µm de largeur (Chermiti et Arambourg, 1986). Il est de forme elliptique, son extrémité antérieure hémisphérique porte en position ventrale un petit pédoncule d'une longueur de 4 µm qui assure sa fixation dans les tissus de la plante hôte. Son extrémité postérieure est légèrement amincie. Fraichement pondus, les œufs sont de couleur blanc-laiteux puis ils prennent une teinte jaune pâle et ils virent au jaune orangé avant l'éclosion des larves (Chermiti et Onillon, 1986). Selon Zouiten et Elhadrami (2001), il est même possible de distinguer les yeux de la larve par transparence, qui forment deux tâches rouges à l'extrémité proximale de l'œuf.

4.2. La larve

L'insecte passe par cinq stades larvaires. Les larves d'*E. olivina* sont de forme aplatie dorso-ventralement, de couleur jaune ocre à jaune pâle, distinguables par la taille, les articles, les antennes et le degré de développement des fourreaux alaires et des aires ciripares (COI, 2007). Elles ne présentent aucune ornementation.

Chermiti (1983) présente la description suivante :

- ✓ Des yeux, situés un peu plus bas que les antennes, de couleur rouge vif ;
- ✓ Un rostre, inséré sur la face ventrale à la limite postérieure de la tête, bien développé ;
- ✓ Des antennes toujours munies de deux soies terminales cylindriques de longueur égale ;
- ✓ Des pattes portant à leur extrémité deux griffes robustes et recourbées, un pulvillus bien développé et une longue soie en position dorsale.

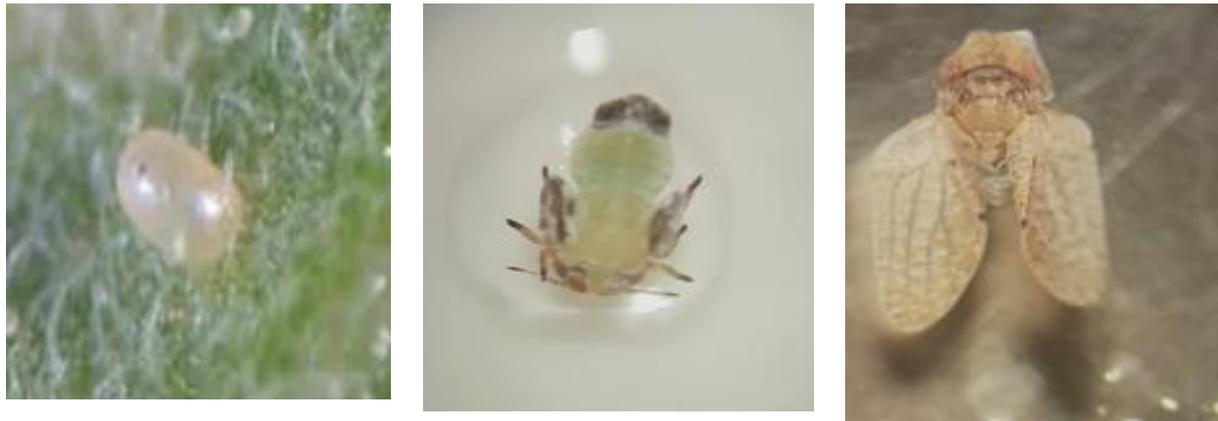
Les larves d'*E. olivina* sont recouvertes de deux types de soies. Les premières, plus nombreuses que les secondes, sont réparties sur l'ensemble du corps ; les autres, lancéolées ou en "fer de lance", sont localisées en majorité sur la partie postérieure de l'abdomen.

L'abdomen porte sur sa partie postérieure les aires cirières. Celles-ci sont constituées par les pores des glandes cirières, formant ainsi un amas ponctiformes ou en arc de cercle. Cette partie de l'abdomen est de couleur brun foncée (Chermiti, 1983).

D'après Arambourg et Chermiti (1986), l'évolution larvaire passe par cinq stades successifs définis par les caractères morphologiques dont la taille, le nombre de segments antennaires et de rhinaries, la présence et l'importance des fourreaux alaires (Tableau 3). Enfin, le pygidium est pourvu de pores ciriers qui émettent une abondante matière floconneuse blanche.

Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques distinctifs des différents stades larvaires d'*E. olivina* (Arambourg et Chermiti, 1986).

larve	Longueur du corps	Antennes		Fourreaux alaires	Articles des pattes
		Articles	Rhinaries		
L1	400 µm	2	1	Absents	3
L2	560 µm	3	1	Apparents	3
L3	800 µm	4	2	Individualise	3
L4	1300 µm	6	3	Leger chevauchement	3
L5	1500 µm	8	4	Large chevauchement	4



A) œuf

(B) Larve

(C) Adulte

Figure 9 : Les différents stades larvaires d'*Euphyllura olivina* (Originale)

4.3. L'adulte

Les adultes du psylle de l'olivier sont difficilement observables du fait de leur petite taille. L'adulte mesure environ 3 mm de long ; il est de couleur brun verdâtre, avec des ailes repliés en triangle sur le dos (Afidol, 2011). Il est exclusivement terrestre et phytophage ; les pièces buccales sont de type pique-suceur ; les pattes postérieures sont adaptées au saut ; les ailes sont bien développées et pliées en toit au-dessus du corps au repos (Arambourg et Chermiti, 1986).

La femelle est un peu plus grande que le mâle. Sa taille varie de 2,4 à 2,8 mm contre 2 à 2,4 mm pour le mâle (Arambourg et chermiti, 1986). Elle présente, à l'extrémité postérieure de l'abdomen, un ovipositeur très apparent. Le mâle, par contre, est doté d'un complexe génito-anal incliné vers le haut. Selon Chermiti (1983), les jeunes adultes sont de couleur vert pâle alors que les plus âgés ont une couleur noisette verdâtre plus ou moins foncée.

4.3.1. La tête

La tête est franchement inclinée vers l'avant, plus large que longue (0,98 sur 0,41 mm). Selon Chermiti et Arambourg (1986), elle comprend un vertex bien développé et un front relativement réduit partagé au milieu par un profond sillon étendu jusqu'à l'ocelle médian. Vers l'avant, deux cônes frontaux masquent l'insertion des antennes. D'après Chermiti (1983), ces antennes sont filiformes et composée chacune de 10 articles :

- ✓ Le premier court et gros ;
- ✓ Le second plus étroit que le premier et plus court que le troisième ;
- ✓ Les 4, 6, 8 et 9^{ème} articles portent à leurs extrémités distales une rhinaire ;
- ✓ Le 10^{ème} se termine par 2 soies de longueur égale.

4.3.2. Le thorax

Le thorax est bombé, puissant et constitue la partie la plus large du corps de l'insecte. Il est composé de trois parties :

- ✓ Le prothorax : étroit et relié à la tête par un cou membraneux peu étendu ;
- ✓ Le mésothorax : présentant une surface dorsale convexe qui est formée de trois pièces : prescutum, scutum et scutellum ;
- ✓ Le métathorax : moins grand que les précédents ; il est formé par le scutum et le scutellum

4.3.2.1. Les ailes

D'après Arambourg (1984), les ailes antérieures sont membraneuses, de forme rectangulaire, translucide et de couleur jaune paille ; elles sont deux fois plus longues que larges (2 à 2,2 mm de longueur de 2,4 à 1,1 mm de largeur chez la femelle). Leur nervation simple et bien dessinée, est caractéristique entre autre par les prolongements secondaires qui constituent un critère de distinction entre cette espèce et *Euphyllura phyllirea*. Les ailes antérieures présentent également deux tâches noires.

Les ailes postérieures sont transparentes, fines et taille plus réduite ; Leur nervation est de même type que celle des ailes antérieures, mais plus simple et moins prononcée (Chermiti, 1983).

4.3.2.2. Les pattes

Les trois paires de pattes sont garnies de fines soies assez nombreuses au niveau du fémur et du tibia. La coxa des pattes antérieures et moyennes est tronconique et courte tandis que celle des pattes postérieures est énorme et pourvue vers l'arrière d'une épine. La 3^{ème} paire de patte est adaptée au saut du fait qu'elle est plus développée que les deux précédentes (Chermiti, 1983). Les trochanters sont réduits, les fémurs sont renflés et les tibias sont minces et cylindriques. Selon Jarraya (1986), le tibia des pattes postérieures possède la particularité de porter à son extrémité apicale 6 à 8 dents sclérifiées bien développées. Le tarse est formé de deux articles de longueurs inégales ; le deuxième plus allongé que le premier est terminé par des griffes puissantes et recourbées et une paire de pulvules bien développées.

4.3.3. L'abdomen

L'abdomen de forme conique est bien soudé au thorax. Il est constitué d'une suite de tergites et de sternites en forme de demi-arceaux ; ces plaques sont séparées de chaque côté par une large membrane pleurale qui contient les sclérifications portant les stigmates (Chermiti et Arambourg, 1986).

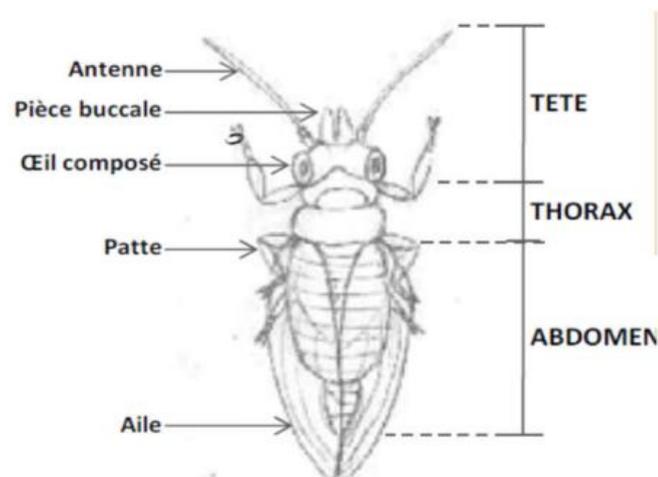
Etant donné la réduction des premières plaques antérieures qui font partie intégrante du métathorax, la plupart des auteurs qui ont étudié la morphologie des segments abdominaux chez les *Psylloidea* ne sont pas tombés d'accord sur la numérotation de ces segments qui reste d'ailleurs difficile à établir.

Selon Chermiti (1986), les observations faites sur *E. olivina* montrent que les deux premiers segments abdominaux sont réduits. Ainsi, l'abdomen de la femelle, qui est plus long que celui de mâle, montre cinq tergites bien différenciés, qui correspondent aux tergites 3 à 7.

Du côté ventral, il est formé de quatre plaques qui sont les sternites 3 à 6. Chez les mâles, l'abdomen est court et mince ; il comprend cinq tergites bien différenciés qui sont les tergites 3 à 7 ; le huitième tergite est représenté par un repli membraneux et six sternites qui correspondent respectivement aux plaques 3, 4, 5, 6, 7, et 8.



a : Adulte d'*E. olivina* (Aperçu général) (Arakelian, 2007)



b : Schéma d'adulte d'*E. Olivina* (2-6 mm) (Arambourg et Chermiti, 1986).

Figure 10 : Adulte d'*E. Olivina*

5. Cycle biologique

E. olivina se développe en passant par 7 écophases : l'œuf, 5 stades larvaires et l'adulte (Figure 11) (COI, 2017).

Le cycle de vie d'*Euphyllura olivina* comprend 2 générations (printemps et automne) ou 3 générations (2 au printemps et 1 en automne) (Arambourg, 1986 ; Chemseddine, 1988 ; Tajnari, 1992).

Le nombre de génération par an est variable selon les pays : il comprend 2 à 3 générations dans la région du Haouz Maroc (Chemseddine, 1988 ; Tajnari 1992), 3 générations en Tunisie, 2 générations dans la Jordanie (Mustafa et Najjar, 1995) et en Palestine (Hamdan et Alkam, 2016), 4 à 6 générations en Italie, 2 générations dans le sud de France (Chermiti, 1983), 1 génération en Grèce.

Généralement, la première et la deuxième génération se succèdent ; mais la plus visible est celle se développant sur les inflorescences (Afidol, 2015). En effet, Meftah et al. (2014) confirment que la saison printanière est la saison la plus favorable au développement de l'insecte en raison des conditions climatiques favorables et l'intense activité physiologique de la plante hôte. Par ailleurs, Prophetou-Athanasiadou (1993) note une différence dans le cycle biologique de l'insecte qui serait attribuée à la qualité nutritionnelle et/ou sensorielle de la plante hôte.

❖ **Hivernation** : L'insecte passe l'hiver sous forme d'œufs, de larves et d'adultes, généralement sur les rejets, les gourmands ou les jeunes pousses, en particulier dans les régions chaudes à hiver doux où le psylle peut développer une génération hivernale. Hilal et al. (1997) aperçoivent que le psylle de l'olivier hiverne à l'état adulte et passe l'hiver à l'aisselle des bourgeons terminaux et axillaires.

❖ **Printemps** : La reprise de l'activité des femelles coïncide avec le réveil végétatif de la plante hôte ; la première période importante de ponte correspond à la première génération printanière (Chermiti, 1992). En effet, selon Jarraya (1986), les œufs sont déposés entre les écailles des jeunes pousses (bourgeons terminaux et axillaires) ; cette première génération est suivie d'une deuxième génération printanière dont les œufs sont insérés entre le calice et la corolle des boutons floraux non encore épanouis. Enfin Chermiti et Onillon (1986) signalent une possible troisième génération qui peut avoir lieu sur les jeunes fruits noués si les conditions demeurent favorables ; mais elle est souvent bloquée par la hausse des températures de la fin du printemps-début de l'été. Les adultes du psylle entrent en repos estival avec la hausse des températures mais une faible proportion des femelles peut rester en activité de ponte, cette fois-ci sur les rejets.

❖ **Eté** : Tous les travaux réalisés sur l'écologie du psylle de l'olivier ont montré que le nombre réduit de ses générations est dû à un repos estival de l'insecte qui se produit par l'absence de ponte en été (Chermiti, 1983 ; Chemseddine, 1988 ; Tajnari, 1992 ; Ksantini, 2003). Les adultes issus de la deuxième génération printanière entrent en repos durant la saison estivale allant du mois de juin jusqu'au mois de septembre. Selon Arambourg et Chermiti (1986), ce repos estival de reproduction est dû aux hautes températures de l'été et au ralentissement du développement végétatif de l'arbre.

En ce qui concerne la nature de ce repos estival, les avis sont partagés. Arambourg (1964), rapporté par Chermiti (1992), pense que ce repos estival est dû à une entrée en quiescence sous l'effet des chaleurs estivales.

Par ailleurs, Chermiti (1983) explique que l'absence des œufs du psylle durant la saison estivale n'est pas toujours due à l'absence d'organes végétatifs réceptifs mais aux hautes températures ; il affirme aussi que *E. olivina* ne présente pas de diapause à aucun stade de son développement. D'autre part, Arambourg et Chermiti (1986) évoquent également le terme de repos estival sans préciser le type de cet arrêt de ponte.

❖ **Automne** : Ce n'est que vers le début de l'automne que recommence le début du cycle biologique, avec une nouvelle ponte des œufs. Les femelles du psylle de l'olivier peuvent, en effet, débiter à déposer les œufs, mais souvent des températures non favorables, généralement trop basses, ne permettent plus le développement des larves. COI (2007) indique que, durant cette saison, le psylle se reproduit généralement sur les rejets et gourmands en développant une troisième génération (génération automnal facultative) lorsque la température descend au-dessous de 27 °C ; mais en cas de conditions particulièrement favorables (pluies abondantes en début d'automne après une sécheresse), l'insecte peut se développer sur la frondaison (Figure 11).

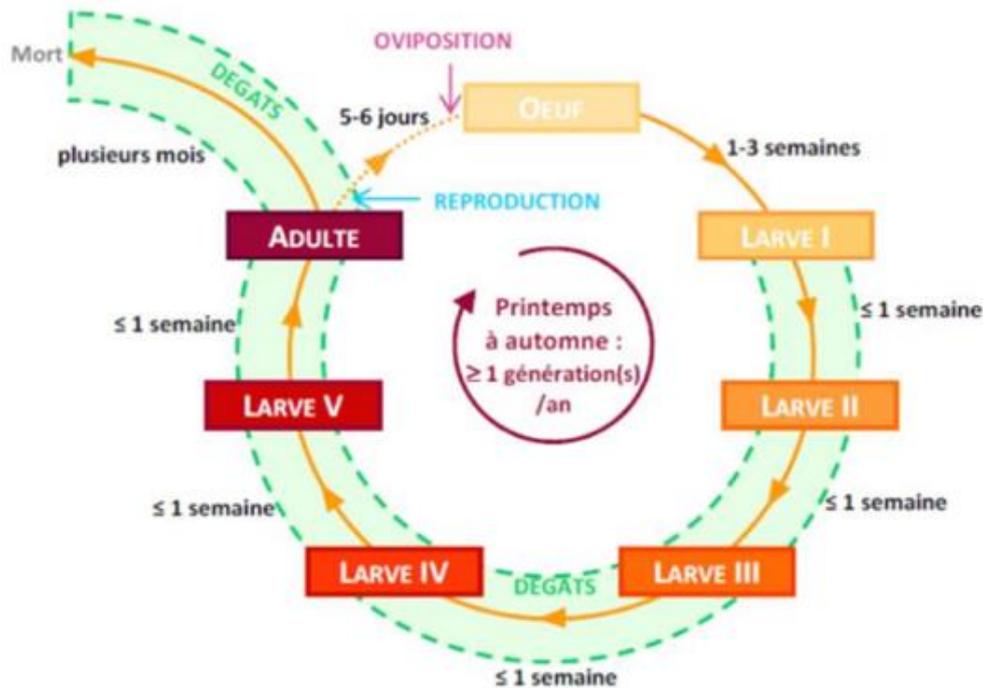


Figure 11 : Cycle biologique du psylle (COI, 2007).

6. Bio-écologie du psylle

6.1. Durée de pré-oviposition

La durée de pré-oviposition correspond au délai de temps séparant l'émergence des femelles d'*E. olivina* de la première ponte.

Ce temps est en fait nécessaire à la maturation progressive des ovaires. D'après Chermiti et Onillon (1986), de 12 à 22°C, la durée moyenne de pré-oviposition est inversement proportionnelle à la température.

Hilal et *al.* (1997) notent que cette durée décroît progressivement de 20.2 jours à 12 °C, à 6.6 jours à 22 °C ; ces auteurs affirment que cette dernière semble être la température optimale pour la maturation des ovaires et qu'à 27 °C, la durée de pré-oviposition est de 14.1 jours. Il semble alors, que les températures élevées défavorisent cette maturation.

6.2. La fécondité globale

La femelle possède de fortes potentialités de reproduction. Lorsque les conditions climatiques sont favorables, la fécondité maximale peut atteindre 1000 œufs/individu, mais cette activité reproductrice est limitée par la température élevée (supérieure à 27 °C) qui diminue ou arrête la ponte. Les températures élevées, de l'ordre 27 °C, ont un impact beaucoup plus important que les basses températures (12 °C) sur la fécondité globale (Arambourg et Chermiti, 1986).

D'après Chermiti et Onillon (1986), si l'on traduit cette fécondité en moyenne de ponte par jour pour une femelle, on obtient : 4.7 œufs par jour à 12 °C, 10.5 œufs par jours à 17 °C et 15.5 œufs par jour à 22 °C. Ces mêmes auteurs ont montré que la plus faible ponte enregistrée est à 27 °C avec une moyenne de 2.5 œufs par jour. D'autre part, Tajnari (2001) a rapporté que les femelles sont sensibles aux hautes températures (>30°C) et aux humidités relatives basses (<50%). Elles préfèrent pondre à l'intérieur de l'arbre, dans un microclimat favorable au bon développement embryonnaire.

Enfin, Ouguas et *al.* (2010) ont montré l'effet variétal sur la fécondité d'*E. olivina* et que certaines variétés d'olivier sont plus favorables à la ponte de l'insecte que d'autres.

6.3. Choix de site de ponte

La femelle du psylle choisit soigneusement les endroits destinés à la ponte. Selon COI (2017), les œufs sont, en effet, généralement groupés, dissimulés sous les écailles des bourgeons et sur la face inférieure des jeunes feuilles d'olivier, ou encore aux extrémités des pousses. Par ailleurs, Chermiti, (1989) a précisé que la présence d'organes végétaux tendres et frais constitue un facteur trophique nécessaire pour la vitellogenèse chez la femelle.

6.4. Relation plante-insecte

La biologie de l'insecte est étroitement liée à celle de la plante hôte et aux conditions climatiques. Selon Laoudi (2014), l'altitude et l'âge de l'olivieraie (les parcelles les plus âgées) agissent sur la ponte d'*Euphyllura olivina*.

Le psylle hiverne à l'état adulte et passe l'hiver à l'aisselle des bourgeons terminaux et axillaires. D'autre part, Arambourg et Chermiti (1986) rapportent que la reprise de l'activité des femelles coïncide avec le réveil végétatif de la plante hôte, première période importante de ponte correspondant à la première génération printanière.

Les œufs sont déposés sur les écailles des jeunes pousses (bourgeons terminaux et axillaires). Enfin, Belhamdounia (1993), cité par Ouguas et *al.* (2010), a également montré la préférence de l'orientation sud pour les larves de cet insecte, celles du sud et de l'ouest pour les adultes.

6.5. La longévité

Il a été depuis longtemps constaté dans tous les groupes d'insectes que la longévité diminue avec l'augmentation de la température ; cela a été également vérifié pour le psylle. La longévité moyenne des femelles d'*E. olivina* est inversement proportionnelle à la température. En effet, plus celle-ci est élevée, plus la longévité des adultes diminue.

Arambourg (1986) et Jarraya (1986) ont constaté une longévité moyenne de l'insecte de 3 mois. Par ailleurs, Chermiti et Onillon (1986) ont enregistré que des températures comprises entre 12 et 17 °C correspondent aux deux extrêmes avec respectivement 126.1 et 58.7 jours, tandis qu'à 17 et 22 °C, la longévité varie peu, restant voisine de 90 à 100 jours.

7. Dégâts et symptômes

Euphyllura olivina est un ravageur économique de l'olive dans sa région d'origine. Selon Hmimina (2009), ses dégâts se manifestent essentiellement au printemps et sont causés par les larves de 4^{ème} et 5^{ème} stade qui entravent la fécondation des grappes florales en suçant la sève des organes attaqués, provoquant ainsi la stérilité des fleurs et la chute des fleurs et des fruits.

Pastre (1991) confirme les dégâts causés par ce ravageur en découvrant que le psylle est responsable d'une diminution importante du nombre des grappes florales sur les rameaux fructifères et en même temps d'une baisse de la fertilité des fleurs. Toutefois, on peut admettre que ces larves n'engendrent pas de dégâts si les colonies larvaires sont installées vers l'extrémité des jeunes pousses ; par contre, si elles se trouvent sur les inflorescences, elles peuvent entraîner la coulure des boutons floraux.

D'après Arambourg et Chermiti (1986), une densité de 20 larves/grappe florale peut entraîner une perte de 50 à 60% de la récolte, alors que Regis et Pinatel (1990) ont noté une coulure des fleurs à partir de 7 à 8 larves par grappe florale.

De son côté, Chermiti (1992) a noté que des infestations de 5 larves par grappe florale entraînent une chute des inflorescences de 32% et une perte en fruits de 46% des grappes florales. Zouiten et El hadrami (2001) et Tajnari (2001) ont évalué qu'un nombre de 30 à 40 larves par grappe florale peut causer une chute totale des fleurs et compromettre toute la production.

Par ailleurs, Ksantani (2003), rapporté par Meftah et *al.* (2014), et COI (2007) ont estimé que le seuil de nuisibilité de ce phytophage de l'ordre de 2.5 à 3 larves par grappe florale correspond à une infestation des grappes comprise entre 50 à 60%.

Enfin, ces larves âgées secrètent également une abondante substance blanche cotonneuse et gluante (le miellat) qui les recouvre entièrement et sur laquelle peut se développer la fumagine, *Capnodium oleaginum*, qui altère la photosynthèse de l'arbre et diminue ainsi la productivité de l'arbre et peut compromettre la récolte (Figure 12) (Jardak et *al.*, 1985 ; Chermiti, 1989 ; Jarraya, 2003).



Figure 12 : Dégâts causés par le psylle de l'olivier (Driss Bousekir).

8. Moyens de lutte

Avant d'entamer toute intervention contre le psylle de l'olivier, il est fortement conseillé de s'assurer que son seuil de nuisibilité est atteint. Dans ce contexte et selon la littérature scientifique, ce seuil est situé autour de 30% d'inflorescences attaquées (ne seront retenues attaquées que les inflorescences contenant des larves) avec une densité larvaire de 5 individus par grappe. Au-dessus de ces limites, tout traitement est franchement inutile.

Selon Zouiten et Elhadrami (2001), plusieurs travaux doivent être réalisés pour mieux comprendre la dynamique des populations du psylle de l'olivier par le biais d'observations régulières dans les oliveraies. Le suivi de l'évolution du ravageur a pour but d'informer les agriculteurs sur le moment opportun des interventions phytosanitaires.

La lutte contre le psylle de l'olivier devra combiner des méthodes à caractère préventif, ayant pour but d'éviter l'apparition des insectes, et des méthodes de lutte directe, si cela est nécessaire.

8.1. Lutte culturale

L'application d'une taille appropriée visant l'aération de l'arbre et notamment des bouquets floraux est importante. Ksantini (2003) recommande l'élimination des rejets et des gourmands en été et en automne-hiver ; d'autres chercheurs préconisent parfois de prendre une décision plus radicale en coupant et brûlant les rameaux touchés.

8.2. La lutte biologique

Le recours à la lutte biologique, utilisé comme moyen alternatif à la lutte chimique, constitue le moyen de protection le plus prometteur, particulièrement en arboriculture fruitière. La lutte biologique consiste à utiliser des ennemis naturels des ravageurs dans le cadre de ce qu'on appelle la phytoprotection. Les prédateurs et parasites rencontrés dans les oliveraies sont nombreux et peuvent s'attaquer aux ravageurs à différents stades de leur développement.

Entre autres auxiliaires très efficaces de lutte contre le psylle de l'olivier, Afidol (2012) signale deux (2) punaises prédatrices : *Anthocoris* et *Deraeocoris*. Parmi la faune utile s'attaquant aux populations larvaires de psylle de l'olivier, les espèces les plus citées dans la littérature scientifique, il y a lieu de citer :

❖ Prédateurs

- ✓ *Xanthandrus comtus* (Harris, 1780), *Syrphidae* Diptère.
- ✓ *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), Névroptère: polyphage, est également un des ennemis redoutables des larves du psylle (Alrouechdi, 1980).
- ✓ *Anthocoris nemoralis* (Fabricius), hémiptère (*Anthocoridae*) : est un prédateur qui entre en activité au moment de la floraison et dont les œufs sont insérés entre les sépales et les pétales des boutons floraux (Zouiten et EL Hadrami, 2001).

❖ Parasitoïdes

- ✓ *Psyllaephagus olivina* (Silvesrri), Encyrtidae, hyménoptère chalcidien, endoparasite, qui se développe au détriment de psylle et dont la femelle pond préférentiellement dans les larves au quatrième ou au cinquième stade de leur développement (Arambourg et Chermiti, 1986).
- ✓ *Alloxistaeleaphila* sp., *Cynipidae*.
- ✓ *Elasmus* sp., *Elasmidae*
- ✓ *Tetrastichus* sp., *Eulophidae*

Cependant, la collecte, l'élevage et la commercialisation des agents naturels de ravageurs spécifiques ne sont pas toujours des tâches faciles ; aussi, ces ennemis naturels doivent être utilisés en quantité suffisante et au moment opportun (Zouiten et Elhadrami, 2001).

Par ailleurs, Ougass et al. (2011) démontrent que l'utilisation des extraits phénoliques et fruits de *Melia azedarach*, *Capsicum frutescens* et de *Peganum harmala* pourrait constituer aussi une perspective de lutte biologique propre et efficace pour lutter contre ce ravageur.

8.3. Lutte chimique

En cas de nécessité, la lutte chimique peut être envisagée contre les stades larvaires jeunes de la 1^{ère} ou de la 2^{ème} génération printanière, à l'aide de produits organophosphorés ou de la Deltaméthrine. Cette intervention coïncide généralement avec celle dirigée contre la 1^{ère} génération de la teigne de l'olivier *Prays oleae* (Ksantini, 2003).

L'INPV (2017) recommande aux oléiculteurs ayant observé des symptômes d'attaque de psylle d'intervenir par un insecticide approprié. En effet, l'avertissement agricole de l'INPV (2017) préconise en période de floraison de pulvériser la bouillie en fines gouttelettes pour éviter la chute des fleurs pour les vergers en période de floraison et de maintenir les abeilles à l'abri au cours des traitements. D'autre part, le bulletin de l'INPV (2018) estime que l'hiver peut être la bonne saison pour une action chimique (insecticide de synthèse) contre ces insectes résiduels s'ils sont trop nombreux, dans le souci de protection des espèces prédatrices utiles. Si les attaques sont massives, un insecticide comme le pyrèthre ou la roténone peut aussi être employé, si possible avant la floraison.

Néanmoins, il y a deux effets négatifs à leurs utilisations, qui sont la résistance des psylles aux produits qui augmente et la mort des prédateurs qui contrôle les populations de ravageurs. Tajnari (1992) averti de l'impact des traitements chimiques sur l'ensemble de la biocénose de l'olivier pouvant se traduire par un déséquilibre biologique au niveau de la faune entomophage et la recrudescence de certaines espèces nuisibles.

Selon Zouiten et Elhadrami (2001), le coût des traitements chimique élevé, son efficacité réduite et son impact sur l'environnement ont poussé à la recherche d'autres moyens de lutte contre ces ravageurs.

8.4. Lutte intégrée

La lutte intégrée est une approche basée sur l'expérimentation et l'observation qui permet de gérer et de rentabiliser les cultures en harmonie avec leur environnement. Elle prend en considération l'ensemble des méthodes disponibles (mécaniques, biologiques et chimiques) de protection des plantes et veille à leur intégration, afin de contrôler le développement des ennemis de cultures.

Selon Zouiten et *al.* (2000), la mise en place de cette lutte intégrée s'avère donc nécessaire et même indispensable pour maintenir le psylle au-dessous de son seuil de nuisibilité sans pour autant affecter l'équilibre écologique de la biocénose de l'olivier.

Cette lutte intégrée doit inclure des pratiques culturales adéquates pour augmenter les rendements, l'introduction de cultivars résistants pour réduire les mesures phytosanitaires, une lutte chimique rationalisée (quantités et choix des produits pour leur moindre incidence sur la faune utile et l'environnement) et réfléchie (périodes de traitements) et une lutte biologique appropriée.

CHAPITRE 3

LES CHAMPIGNONS ENTOMOPATHOGENES

CHAPITRE 3 :

Les champignons entomopathogènes

1. Introduction

Les microchampignons entomopathogènes sont des eucaryotes avec des noyaux, des organites bien définis et une paroi cellulaire chitineuse. Ce sont des agents de lutte très intéressants du fait de leur aptitude à infecter l'hôte par ingestion ou par simple contact pendant tous les stades, œuf, larve, adulte sensibles ainsi que les piqueurs-suceurs. Ils peuvent être produits en masse à moindre coût et peuvent être appliqués avec les méthodes conventionnelles (Mathias de Kouassi, 2001).

Il existe entre 700 et 1 000 espèces de champignons qui possèdent des effets pathogènes chez les insectes ravageurs agricoles et forestiers et jouent un rôle important dans la régulation naturelle des populations d'insectes (Wang et St Leger, 2007). Ils appartiennent aux sous-taxons des *Mastigomycotina*, *Zygomycotina*, *Ascomycotina* et *Deuteuromycotina*.

La lutte biologique par utilisation de micro-organismes entomopathogènes est une alternative très prometteuse pour assurer une protection phytosanitaire performante de par l'ubiquité naturelle des agents microbiologiques dans les écosystèmes, leur grande variété, leur dissémination facile, leur spécificité d'action et aussi leur persistance dans l'environnement (Lydie, 2010).

La lutte biologique par utilisation de micro-organismes offre une diversité d'agents de lutte microbiologique. Ces micro-organismes appartiennent à plusieurs taxons à savoir : 1) les bactéries, 2) les virus 3) les micro-champignons, 4) les nématodes et 5) les protozoaires.

Le plus grand nombre de pathogènes se trouve dans la classe des Zygomycètes, mais les plus utilisées en lutte biologique proviennent des Deuteromycètes. La sous-division des Deuteromycètes regroupe les Ascomycètes qui sont des champignons filamenteux à hyphes septés, se reproduisant de façon végétative dont on ne connaît pas leur forme de reproduction sexuée (champignons imparfaits) (Ksentini, 2009).

La littérature scientifique mentionne les genres les plus souvent utilisés en lutte microbiologique qui sont : *Beauveria*, *Metarhizium* et *Lecanicillium* (anciennement *Verticillium*), *Erynia*, *Hirsutella*, *Entomophthora* et *Entomophaga* (Kamp & Bidochka, 2002). Ils ont été déjà utilisés pour contrôler certaines espèces appartenant aux ordres *Lepidoptera*, *Hemiptera*, *Coleoptera*, *Homoptera*, *Isoptera* et *Diptera*.

2. Cycle biologique et mode d'action des champignons entomopathogènes

D'après Paine (1983), le cycle biologique des champignons entomopathogène diffère légèrement selon les groupes taxonomiques, mais il comprend toujours une phase parasitaire (de l'infection de l'hôte jusqu'à la mort de ce dernier) et une phase saprophyte (après la mort de l'insecte-hôte). La survie de ces champignons, et leur reproduction, est dépendante de l'infection d'insectes-hôtes et entraîne invariablement la mort de ceux-ci.

La survie de ces champignons, et leur reproduction, est dépendante de l'infection d'insectes-hôtes et entraîne invariablement la mort de ceux-ci. Ces champignons se fixent généralement à la surface externe du corps des insectes sous la forme de spores. Dans des conditions favorables de température et d'humidité (généralement élevée), ces spores germent, se développent sous forme d'hyphes et colonisent la cuticule de l'insecte, finalement ils traversent la cuticule et atteignent la cavité du corps de l'insecte (hémocèle) (Clarkson et Charnley, 1996).

Les insectes susceptibles au champignon meurent généralement dans un délai de 3 à 10 jours. Quand l'insecte meurt, le champignon entre dans un stade hyphal, colonise les organes internes puis sporule à la surface de l'insecte. Le cycle infectieux est généralement le même pour tous les champignons entomopathogènes.

Le processus de pénétration est l'étape la plus importante de la pathogène (Ferron et *al.*, 1993). Ces ennemis naturels sont plus efficaces lorsque l'insecte ciblé est préalablement affaibli par un autre facteur comme un stress nutritif. Benserradj (2014) indique que le système immunitaire des insectes peut fortement influencer la pathogénicité de ces ennemis naturels.

Le cycle infectieux est généralement le même pour tous les champignons entomopathogènes. Les différentes étapes peuvent être résumées comme suit :

❖ **Adhésion** : En milieu naturel, les conidies fongiques entrent généralement en contact avec la cuticule des insectes par un processus passif (à l'aide du vent ou de l'eau). L'adhésion est déclenchée par un mécanisme de reconnaissance et de compatibilité des spores avec le tégument de l'insecte, une fois en contact avec la cuticule, la spore produit activement un mucilage hygroscopique qui permet la modification de l'épicuticule de l'insecte facilitant la germination des spores et peut aussi créer un environnement favorable aux enzymes extracellulaires libérées par ces dernières (Boucias et *al.*, 1991). Selon Ortiz-Urquiza et Keyhani (2013), l'adhésion pourrait se réaliser en trois étapes consécutives : l'adsorption des conidies à la surface de la cuticule, l'adhésion de l'interface entre les conidies et l'épicuticule, la germination et le développement des conidies à la surface de la cuticule.

❖ **Germination des conidies** : La seconde phase d'infection est la germination. Celle-ci dépend de l'état physiologique de l'hôte et aussi des conditions environnementales, notamment la température et l'humidité (Butt et Becket, 1994 et Butt et *al.*, 1995). Lorsque les conditions sont favorables, les conidies commencent à germer en formant une des structures spécifiques, soit un tube germinatif ou un appressorium. Ces structures sont variées selon les espèces de champignons Hypocreales (Wang et St Leger, 2007). La germination aboutit à la production d'appressoria (structures terminales servant à l'ancrage de la cuticule et favorisant la pénétration). La valeur nutritive de la cuticule joue un rôle important pour la production d'appressoria. cependant, des études ont démontré qu'une cuticule nutritive favorise la croissance mycélienne plutôt que la pénétration (Magelhaes et *al.*, 1981 ; Ferron et *al.*, 1993).

❖ **Pénétration** : La pénétration des hyphes s'effectue à l'aide des pressions mécaniques et enzymatiques. Plusieurs enzymes extracellulaires, telles que les endonucléases, les protéases, les chitinases, les lipases, chitobiasés et les estérases peuvent également être sécrétées par les hyphes afin de dégrader la cuticule de l'insecte (Schrank et Vainstein, 2010 in Srei, 2017). Ces enzymes correspondent aux différents polymères de la cuticule, des protéines, des chitines et des lipides de l'insecte (Charnley et St Leger, 1991). Les protéases sont les plus importantes enzymes extracellulaires et jouent un rôle primordial dans la pénétration (Campos et *al.*, 2005).

❖ **Prolifération interne** : Une fois traversé les différentes couches de la cuticule et l'épiderme de l'insecte, les hyphes forment des blastospores à l'intérieur de l'hémocèle. Au cours de l'évolution, les champignons produisent plusieurs enzymes et toxines ayant des propriétés antibactériennes, antifongiques et insecticides (Srei, 2017). Par ailleurs, Ortiz-Urquiza et Keyhani (2013) signalent que la mortalité des insectes peut être influencée par de nombreux facteurs, notamment les dommages mécaniques provoquant une invasion des tissus, l'épuisement des ressources nutritives et l'intoxication induite par les toxines des champignons entomopathogènes.

❖ **Formation de la muscardine** : Une fois que l'insecte meure, des hyphes émergent à travers les couches de l'exosquelette et les soudent ensemble. Ils traversent donc le tégument aux points d'articulation de l'insecte où l'exosquelette est plus souple. Éventuellement, ces hyphes recouvrent et entourent complètement l'insecte, structure que l'on nomme la muscardine. La présence de muscardine est un signe permettant de diagnostiquer une mycose chez l'insecte. Il existe plusieurs types de muscardines selon les espèces fongiques (Exemple : muscardine blanche pour *B. bassiana* et muscardine verte pour *M. anisopliae* (Klowden, 2007).

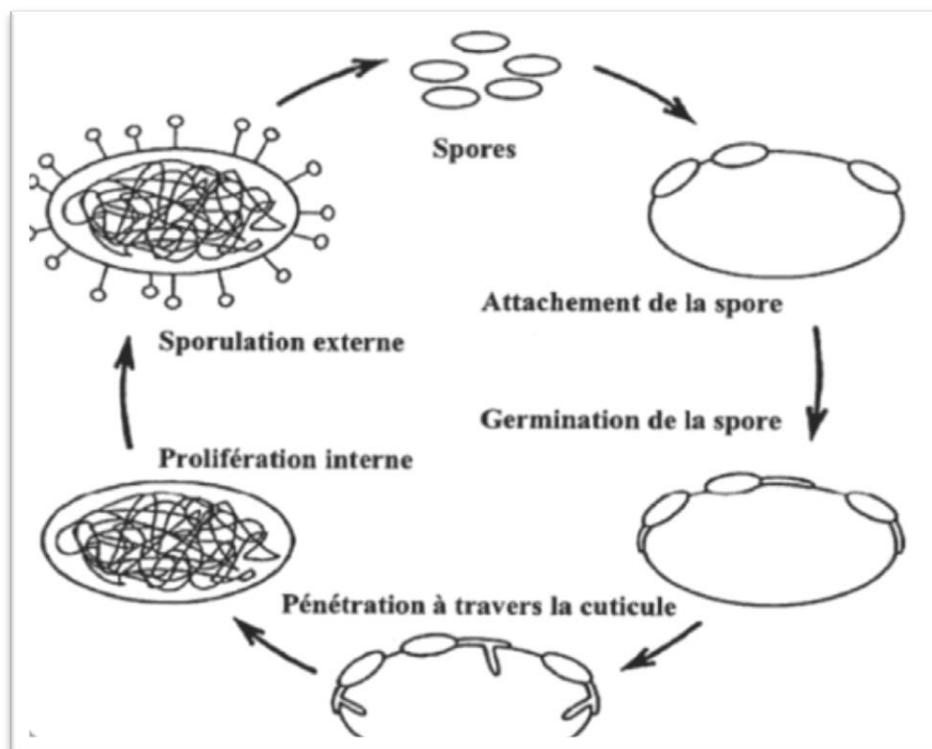


Figure 13 : Schéma du cycle biologique des champignons entomopathogènes (Ferron et *al.*, 1993).

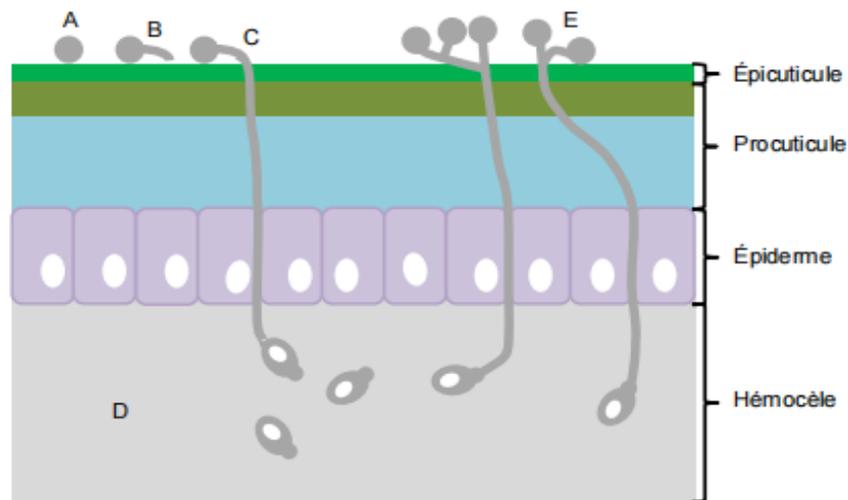


Figure 14 : Schématisation d'une coupe transversale de la cuticule d'un insecte et le mode d'infection d'un champignon entomopathogène.

(A) Adhésion des conidies; (B) Germination; (C) Pénétration des hyphes; (D) Prolifération interne ; (E) Formation de la muscardine (Klowden, 2007).

3. Interactions insectes – champignons entomopathogènes

Les champignons entomopathogènes doivent coloniser leur hôte pour l'utiliser comme source nutritive. Les champignons ectoparasites se développent superficiellement sur le corps des insectes sous forme de thalles (Kuno, 1973). Les champignons entomopathogènes possédant un mode d'action endoparasitique incluent toutes les espèces qui pénètrent dans le corps et tuent habituellement leur hôte, en envahissant et ou digérant les tissus. La sécrétion de toxine a généralement été identifiée comme activité complémentaire pour ces mycètes. Quelques espèces d'endoparasites, tel que *Penicillium sp.*, sont capable d'infecter leur hôte via une blessure au niveau de la cuticule (Vey et Riba, 1989). Les moyens par lesquels les champignons entomopathogènes pénètrent dans leur hôte sont les suivants :

3.1. Pénétration par cavité buccale et système digestif

Selon Dillon et Charnley (1991), l'infection à travers le système intestinal est peu courante. Parfois les mycètes vivants dans le tube digestif de l'insecte peuvent devenir pathogène quand l'insecte est en condition de stress suite à la famine, la chaleur excessive, l'humidité trop élevée, etc. D'autre part, les enzymes digestives ou les substances fongistatiques peuvent détruire les spores ou les hyphes de champignons qui ne font pas partie de la microflore habituelle du tube digestif. Dans certains cas, l'ingestion de structure fongique peut causer la mort par toxicose plutôt que par mycose.

3.2. Pénétration via les spiracles

Selon Tanada et Kaya (1993) cités par Touré (2018), les mycètes endoparasites infectent des insectes par les spiracles et d'autres ouvertures du corps. L'exemple de l'infection des larves d'élatéride par *Metarhizium anisopliae*, a quelques fois été mentionné via les spiracles et les pores des organes de sensoriels.

3.3. Pénétration par invasion cuticulaire

La cuticule des insectes est la première barrière contre l'attaque des micro-organismes. Le mode d'infection principal des champignons entomopathogènes se fait par contact direct entre les conidies et la cuticule de l'insecte (Wang et St Leger, 2007). La cuticule est généralement constituée de deux parties principales, soit l'épicuticule et la procuticule (Figure 14). Ces couches sont percées des canalicules qui débouchent sur l'extérieur pour former des pores.

- ✓ L'épicuticule, couche mince (de 1 à 4 μm), complexe, est fortement résistante à l'eau et aux solvants parce qu'elle est formée de lipides, de cires, de ciment, d'acides gras et de certains composés phénoliques ; elle peut également empêcher les micro-organismes d'entrer dans le corps de l'hôte, principalement les micro-organismes qui ne possèdent pas un mécanisme actif de pénétration de la cuticule (Srei, 2017).
- ✓ La procuticule, couche épaisse, composée principalement de chitine dans une matrice de protéine. Elle représente jusqu'à 70% du poids sec de la cuticule (Clarkson et Charnley, 1996 in Srei, 2017). La procuticule est divisée en deux couches distinctes : l'exocuticule et l'endocuticule. Il existe une autre couche qui se trouve à la base de l'endocuticule appelée l'épiderme, formée de deux couches de phospholipides. L'hémocèle, une cavité interne de l'insecte, se trouve juste au-dessous de l'épiderme.

3.4. Production des toxines

Les toxines ont des effets divers sur différents tissus d'insectes, par exemple les composés toxiques non enzymatiques tels que les Destruxines (DTX) et les cytochalasmes qui lui permettent de surmonter les mécanismes de défense de l'hôte et de proliférer (Inglis et al., 2001). Les DTX dépolarisent la membrane du muscle de l'insecte en activant les canaux calcium. En outre, la fonction des hémocytes d'insectes peut être empêchée par les DTX (Bradfish, 1990) ; après, le champignon entame alors une phase saprophytique. Les spores sont produites par les conidiophores qui émergent du cadavre, préférentiellement au niveau inter segmentaire si les conditions environnementales sont adéquates. Le cadavre est alors couvert par un feutrage constitué d'hyphes et de conidiophores portant des conidies (Ferron, 1977).

4. Facteurs affectant l'efficacité des champignons entomopathogènes

Le potentiel infectieux des champignons entomopathogènes, comme agents de lutte biologique, dépend de leurs propriétés physiologiques, de la population de l'hôte et des conditions du milieu (Ferron *et al.*, 1991).

4.1. Facteurs liés aux pathogènes

La virulence et la spécificité de l'hôte sont deux éléments essentiels dans le choix d'un bon candidat à la lutte biologique. Il a été démontré que les insectes d'une même population révèlent une sensibilité qui diffère selon les isolats (Todorova *et al.*, 1994).

4.2. Facteurs dépendant de l'hôte

La susceptibilité des insectes peut varier selon les stades de développement des insectes. Les insectes immatures sont souvent plus susceptibles aux infections fongiques que les insectes matures (Feng *et al.*, 1985).

La densité d'insectes semble aussi être un facteur important dans la propagation de mycose au sein d'une population d'insectes. L'épizootie fongique survient généralement à de fortes densités de la population hôte favorisant ainsi la probabilité de contact entre le pathogène et l'hôte, de même qu'entre les insectes infectés et non infectés (Ferron *et al.*, 1991). Ainsi la capacité de l'insecte de reconnaître la présence de champignons entomopathogènes par les récepteurs sensoriels est un des facteurs importants qui peut influencer l'efficacité d'applications des champignons entomopathogènes en lutte biologique (Baverstock *et al.*, 2010). D'autres groupes d'insectes vont modifier leur comportement afin de réduire le succès de l'établissement de l'infection fongique (Chouvenc *et al.*, 2008)

4.3. Facteurs de l'environnement

L'efficacité de l'infection fongique chez les insectes est également influencée par certains facteurs environnementaux. Ces facteurs sont : les radiations solaires, la lumière, la température, la teneur en eau, les précipitations et le vent.

✓ Les radiations ultraviolettes sont le principal facteur abiotique limitant la viabilité de conidies sur le feuillage. Les conidies et les hyphes des champignons entomopathogènes sont très sensibles aux radiations solaires, surtout aux ultraviolets B (UVB) avec un spectre de 285 à 315 nm. Cependant, cette sensibilité varie entre les espèces fongiques et les conidies d'un même isolat. (Fargues *et al.*, 1996).

✓ La lumière du soleil d'une longueur d'onde de 290 à 400 nm affecte la persistance des conidies sur le feuillage et peut directement affecter la composition génétique de champignon (McCoy *et al.*, 1990). Malgré son effet nocif sur la persistance des conidies, la lumière peut stimuler certaines étapes du cycle évolutif des champignons entomopathogènes cultivés *in vitro* ou *in vivo* (Silvy et Riba, 1989).

✓ La température ambiante est un des facteurs importants qui influence l'efficacité des champignons entomopathogènes. La température optimale pour la germination, le développement et la sporulation de la plupart de ces champignons se situe entre 20 et 30°C (Fargues *et al.*, 1997), mais l'infection peut avoir lieu à des températures variant entre 15 et 30°C (Inglis *et al.*, 2001). La température optimale qui assure la survie d'un champignon diffère selon les taxa. Ainsi, les spores des entomophthorales semblent être plus sensibles que les spores de la plupart des deutéromycètes. Généralement, les températures au-dessus de 35°C empêchent la croissance et le développement des mycètes entomopathogènes. Les conidies de *B. bassiana* et de *M. anisopliae* ne peuvent pas survivre plus que 15 minutes à 40°C (McCoy *et al.*, 1990).

✓ L'humidité affecte aussi la persistance et la survie des champignons entomopathogènes. La plupart de ces mycètes exigent au moins 95 % de l'humidité relative à la surface de l'insecte afin de germer (Hallsworth et Magan, 1999). L'humidité peut influencer l'efficacité des champignons entomopathogènes de plusieurs façons.

En combinaison avec la température, l'humidité peut affecter la germination des conidies, le développement des hyphes et la sporulation sur les cadavres d'insectes (Jaronski, 2010). Cependant, le pourcentage d'humidité nécessaire pour le processus d'infection varie selon les espèces et les isolats (Benz, 1987, Roberts ; Campbell, 1977). L'humidité relativement élevée dans les endroits abrités fournit un microenvironnement favorable pour le développement des spores (Liu *et al.*, 2003).

Les effets de la température et de l'humidité sont intimement reliés d'où la tolérance de quelques mycètes à des températures extrêmes lorsqu'il y a plus d'humidité ou lorsque la condensation se produit aisément et la perte d'eau est réduite au minimum. Le vent peut aussi modifier de manière significative l'humidité microclimatique et considérablement influencer le comportement fongique (McCoy *et al.*, 1990).

5. Avantages de l'utilisation de champignon entomopathogènes

L'exploitation directe d'organismes vivants afin d'éliminer les ravageurs nécessite une compréhension des mécanismes d'interaction entre l'agent entomopathogène et l'insecte nuisible visé.

En effet, la pathogénicité de l'inoculum sporal et la spécificité de l'hôte sont deux paramètres importants dans le choix de l'isolat fongique. Le microchampignon *B. bassiana* s'avère être un agent de lutte intéressant puisqu'il possède l'avantage, par rapport aux autres microorganismes pathogènes, d'infecter l'hôte sans être ingéré. Ce qui peut rendre les différents stades de développement de l'hôte sensibles à ce biopesticide. Cette caractéristique fait aussi en sorte que ce mycète peut être efficace contre les insectes piqueurs-suceurs qui sont relativement peu exposés à l'infection par des spores déposées sur le feuillage des plantes (Wraight et Roberts, 1987).

6. Exemples des champignons entomopathogènes

6.1. *Fusarium* sp

6.1.1. Généralités

Le genre *Fusarium* tire son nom du latin *Fusus* car ses spores sont en forme de fuseau. Ce genre regroupe de nombreuses espèces. Les espèces de *Fusarium* sont connues pour leur abondance dans la nature et leurs diverses associations avec des plantes et des animaux vivants et morts. Chez les animaux, le *Fusarium* se trouve principalement en relation avec les insectes et la plupart des espèces sont saprotrophes (Leslie et Summerell, 2006). Une attention particulière est accordée à la gamme d'hôtes, en particulier entre les plantes et les insectes, et au potentiel microbien possible du champignon pour lutter contre les insectes nuisibles.

6.1.2. Classification

La première et véritable description du genre *Fusarium* a été réalisée par Link en 1809. La taxonomie du genre *Fusarium* est depuis longtemps soumise à controverse avec de nombreuses classifications au cours du temps. Selon Desjardins et Proctor (2007), la détermination des espèces a d'abord été effectuée sur leurs caractères morphologiques, avec des observations macro- et microscopiques, puis la classification a été revue en raison des avancées faites grâce à la biologie moléculaire, à la biochimie et l'utilisation de la génétique. Depuis les années 1980, le nombre d'espèces reconnues augmente graduellement, avec aujourd'hui plus de 80 espèces décrites et classées.

La classification retenue selon la littérature scientifique de *Fusarium sp.* est comme suit:

- Règne : *Fungi*
- Phylum : *Ascomycota*
- Sous-phylum : *Pezizomycotina*
- Classe : *Sordariomycete*
- Sous-classe : *Hypocreomycetidae*
- Ordre : *Hypocreale*
- Famille: *Nectriaceae*
- Genre: *Fusarium*
- Espèce: *Fusarium sp.*

6.1.3. Caractères morphologiques

Les caractères primaires ont été les premiers utilisés pour décrire et classifier le genre *Fusarium*. Les espèces de *Fusarium* se différencient essentiellement sur la forme de leurs macroconidies. Ce caractère est complété par la présence ou l'absence de chlamydospores ainsi que par la présence, l'absence ou la forme des microconidies. L'étude des phialides peut s'avérer utile voire indispensable.

✓ **Les macroconidies** : Leur présence est la caractéristique majeure qui permet de distinguer le genre *Fusarium* des autres genres. En effet, l'identification des espèces de *Fusarium* se basent sur les différentes formes des macroconidies, leur taille ainsi que les extrémités apicales et basales.

✓ **Les microconidies** : petites, septées ou non (0 ou 1 septum, parfois 2 septa pour certaines espèces). Leurs formes sont diverses : fusiformes, ovoïdes ou piriforme.

✓ **Les chlamydospores** : sont intercalaires ou terminales formées par le mycélium ou par les conidies. Le diagnostic d'espèce repose sur l'aspect des colonies (pigmentation), mais surtout sur la morphologie microscopique, notamment : la présence d'un seul type ou deux types de spores, la disposition en chaîne ou en amas des microconidies, et l'abondance des chlamydospores.

✓ **Les Phialides** (monophialides, polyphialides) : Elles sont portées par l'extrémité du conidiophore; elles sont étroites plus ou moins effilées.

A ces structures, peuvent s'ajouter des téléomorphes, rarement observés, pour certaines espèces.

Pour faciliter la démarche du diagnostic morphologique afin d'arriver au genre (ou espèce), Chabasse et *al.* (2002) ont recommandé de suivre la clé d'identification des Mucédinés à conidies disposées en têtes (ou *Fusarium sp.*) (Figure 15).

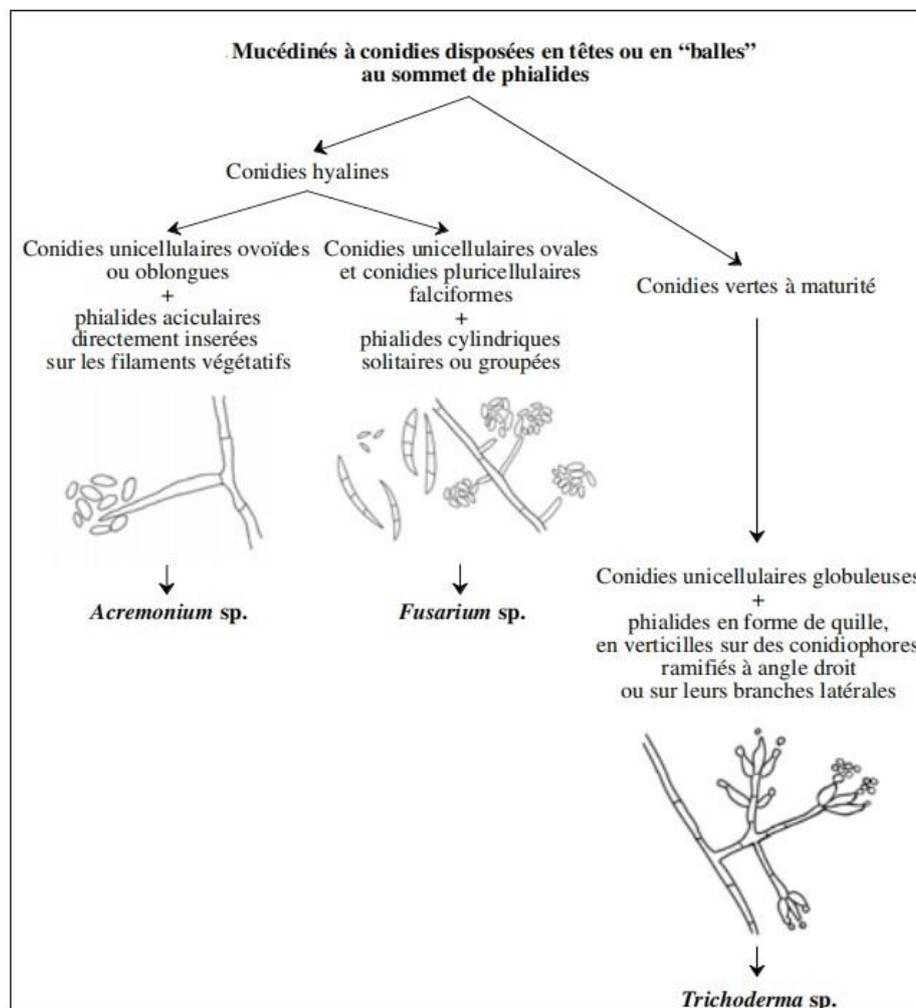


Figure 15: Clé d'identification de *Fusarium sp.* (Chabasse et *al.*, 2002).

6.1.4. Habitat et distribution de *Fusarium sp.*

Le genre *Fusarium*, très répandu, a une distribution mondiale. Cependant, les espèces de ce genre peuvent être retrouvées dans toutes les régions du monde, aussi bien dans des zones tempérées que dans des régions froides, tropicales ou subtropicales (Smith and Moss, 1985 in Chabasse et *al.*, 2002). En effet, Burgess et *al.* (1994) ont montré que, dans le sol, les *Fusarium* peuvent persister pendant plusieurs années grâce à la formation de chlamydospores ou par le développement d'hyphes sur des résidus organiques.

3.1.5. Importance et pathogénicité des *Fusarium*

Le genre *Fusarium* est économiquement très important car il regroupe beaucoup d'espèces phytopathogènes et entomopathogènes susceptibles d'attaquer un grand nombre de plantes, des insectes et provoquant des maladies appelées Fusarioses. Ce genre a produit des mycotoxines. Ces mycotoxines présentent des origines chimiques très diverses correspondant à la différence de leurs voies de biosynthèse: il s'agit de composés dérivés des acides aminés. Tels que la beauvericine est une mycotoxine célèbre produite par de nombreux espèces de *Beauveria* et *Fusarium* spp. (Logrieco et al., 1998). Bien que la Beauvericine ait une forte activité insecticide contre un large spectre d'insectes nuisibles (Jestoi, 2008).

6.2. *Verticillium lecanii*

6.2.1. Généralités

Verticillium lecanii est un champignon cosmopolite qui possède un spectre d'hôtes très large. Selon les souches, il peut contaminer différentes espèces d'arthropodes. Il peut aussi infecter d'autres ordres d'insectes tels que les coléoptères, les lépidoptères, les diptères et les orthoptères. D'après Champion (1977) cité par Mazurier (2018), les insectes sont infectés lorsqu'ils entrent en contact avec les spores fongiques collantes qui ensuite se développent et envahissent le corps de l'insecte qu'ils dévorent de l'intérieur. Le genre *Verticillium* comprend des espèces saprophytes mais surtout des espèces parasites dont les très répandues se trouvent dans les sols.

6.2.2. Classification

Avec le développement des outils moléculaires, la taxonomie de cette espèce a récemment évolué et n'est plus uniquement basée sur des critères morphologiques et notamment sur les structures de survie telles que les chlamydospores, les microsclérotés ou le mycélium en dormance. En effet, la première espèce de *Verticillium* isolée en 1816 par Nees von Esenbeck était incluse dans un groupe taxonomique regroupant les espèces possédant un conidiophore composé de spores en forme de bouteille, assemblées en verticilles et rattachées le long d'un axe principal (Inderbitzin et al., 2014).

Il regroupait alors des espèces apparentées distantes. Actuellement, deux clades regroupant les dix espèces de *Verticillium* ont été déterminés en utilisant plusieurs données.

Les données bibliographiques (Fradin et Thomma, 2006; Lopez-Escudero et Mercodo-Blanco, 2010; Martin-Lappier, 2011) classent le genre *Verticillium* comme suit :

- Règne: Fungi
- Embranchement: Ascomycota
- Classe: Sordariomycètes
- Sous-classe: Hypocreomycetidae
- Ordre: Incertaesedis
- Famille: Plectosphaerellaceae
- Genre: *Verticillium*
- Espèce: *Verticillium lecanii*

6.2.3. Caractères morphologiques

❖ **Caractères macroscopiques** : La colonie type de *Verticillium lecanii* est blanche ou jaune pâle et d'aspects cotonneux (Inderbitzin *et al.*, 2014).

❖ **Caractères microscopiques** : Les conidiophores sont dressés, de teinte claire et comprennent 3 à 4 groupes de verticilles, constitués de 3 à 4 phialides, d'où s'échappent de nombreuses conidies. Les conidies unicellulaires, ovoïdes à ellipsoïdes, s'agglomèrent dans un mucus à l'extrémité de chaque conidiophore (Champion, 1977 in Mazuriern, 2018). D'autre part, Jiménez Díaz and Millar (1988) mentionnent que le cycle est commun aux différentes espèces de *Verticillium* et peut être découpé en trois phases: la phase de dormance, la phase parasitique et la phase saprophyte.

6.2.4. Importance de *Verticillium lecanii*

Ce champignon a été observé sur plusieurs insectes (pucerons, cochenilles, aleurodes), d'acariens et de nématodes. Cette espèce est souvent utilisée pour lutter contre la mouche blanche grâce à la facilité de son intégration dans un programme de protection biologique. En effet Eskes *et al.* (1991) démontrent que, lorsque les mouches blanches sont infectés par *Verticillium lecanii*, elles meurent avant que le champignon ne soit visible. Les larves et les pupes deviennent, le plus souvent, de couleur jaune clair à jaune foncé, rides et ne sont plus brillantes.

Sur *Aphis craccivora*, des tests portant sur des spores de *Lecanicillium lecanii* (= *Verticillium lecanii*) ont été réalisés et semble montrer une certaine efficacité (Reddy *et al.*, 2020). De même, quatre souches (sur les sept isolées en Espagne) de *L. lecanii* (= *Verticillium lecanii*) se sont montrées virulentes contre les larves de *M. persicae*, de *Nasonovia ribisnigri*, de *Macrosiphum euphorbiae* et d'*Aphis gossypii* (Diaz *et al.*, 2009).

Une extraction de mycélium de *Verticillium lecanii* est également active contre des adultes de *M. persicae*, *A. gossypii* ou *A. pisum* (Gindin et al., 1994).

6.3. *Isaria fumosoroseus*

6.3.1. Généralités

Isaria fumosoroseus (Wize) Brown et Smith est une espèce de champignons entomopathogènes. Ces champignons ont un développement très dépendant des conditions climatiques (température, hygrométrie, photopériode, rayonnement). *I. fumosoroseus* est une espèce largement répandue dans le monde (Europe, Asie, Amérique).

6.3.2. Classification

La taxonomie de cette souche a été sujette à controverse. Autrefois classée dans les genres *Spicaria* ou encore *Coremom*, la souche est aujourd'hui reconnue comme *Isaria* (Touré, 2018). En effet, la première description du genre *Isaria* a été réalisée par Wize en 1904 sous le nom *Isaria fumosorosea*.

Selon (Harney, 1989), mentionné par Touré (2018), la classification d'*Isaria fumosoroseus* est comme suit:

- Règne: *Fungi*
- Phylum: *Ascomycota*
- Sous-phylum: *Pezizomycotina*
- Classe: *Eurotiomycetes*
- Sous-classe: *Eurotiomycetidae*
- Ordre: *Eurotiales*
- Famille: *Trichocomaceae*
- Genre: *Isaria*
- Espèce: *Isaria fumosoroseus*.

6.3.3. Caractères morphologiques et cycle biologique

Isaria est un genre du phylum *Deuteromycota* avec deux espèces importantes, *Isaria fumosoroseus* et *Isaria lilacinus*, appartenant à la classe des Deutéromycètes (champignons imparfaits), au groupe des Hyphomycètes caractérisés par des conidiophores érigés isolément ou en groupes et à la famille des Phialosporées se distinguant par leurs cellules conidiogènes en forme de bouteille (phialides) produisant des spores en chaîne à leur extrémité (Tubaki, 1963 in Samson et al., 2010). Ces spores ont une forme ovoïde, une longueur de 3 à 4 µm, un diamètre de 1 à 2 µm et sont de couleur rose plus ou moins intense.

Les conidiophores sont généralement synnémateux bien développés chez de nombreuses espèces, cloisonnés portant des verticilles de branches divergentes et des cellules conidiogènes (phialides). La cellule conidiogène est en forme de flacon à ovale ou subglobuleuse avec un col distinct, portées seules ou en verticilles, les conidies sont unicellulaires, de couleur hyaline à claire (Samson et *al.*, 2010) (Figure 16).

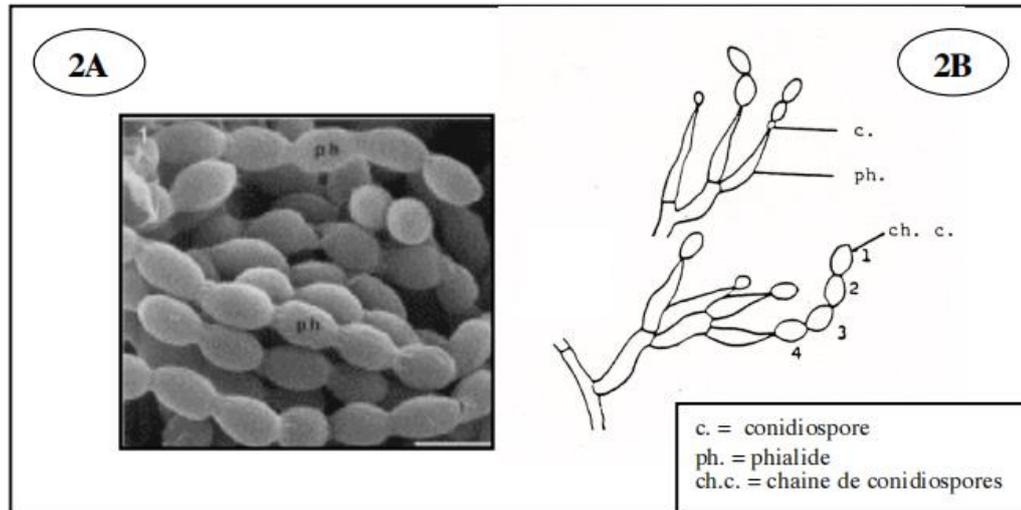


Figure 16 : Conidiospores en microscopie électronique à balayage (2A) et conidiogénèse (2B) d'*Isaria fumosorosea* (Source : Fargues, 2004)

Après germination de la spore, le champignon pénètre et prolifère à l'intérieur de son hôte. Une moisissure blanc-grisâtre est visible à l'œil nu à l'extérieur du cadavre de l'insecte. En conditions défavorables, ce mycélium ne sera pas visible. Les hôtes infectés sont alors reconnaissables à leur corps déformé prenant la couleur brune.

Isaria fumosorosea est un champignon parasite entomopathogène qui produit une enzyme lui permettant de pénétrer la cuticule des arthropodes. Selon Vega et *al.* (2012), le mycélium du champignon se développe alors dans l'hémolymphe et les tissus de l'hôte entraînant sa mort.

Elle émet ensuite un tube de germination qui croît dans l'hémocœle et le champignon prolifère rapidement dans le corps de l'insecte. Le champignon peut aussi pénétrer par des ouvertures naturelles : spiracles, bouche ou ouverture anale. Le mycélium se développe dans l'hémolymphe et dans les tissus, émergeant finalement du corps de l'insecte pour produire des conidies. La mortalité des insectes infectés est attribuée à l'évacuation de ses nutriments, à la destruction de ses tissus et à la libération de toxines (Vidal, 1997).

6.3.4. Importance et utilisation en lutte biologique d'*Isaria fumosoroseus*

Isaria fumosoroseus (Deuteromycotina: Hyphomycetes) est un champignon potentiellement utile pour la lutte biologique contre des ravageurs agricoles économiquement importants. Il est trouvé à l'état naturel sur une large gamme d'hôtes (plus de 40 espèces d'insectes appartenant à 8 ordres) dont les Homoptères et parmi eux les aleurodes (Lacey *et al.*, 1996).

D'après Lacey *et al.* (2015), cet entomopathogène est l'un des ennemis naturels les plus importants des aleurodes; il est très efficace contre tous les stades d'aleurodes (œufs, stades larvaires, pupes et adultes) causant la maladie appelée « muscardine jaune », tels que l'aleurode *Bemisia tabaci*. *Isaria* sp. est une forte épizootie contre *Bemisia* et *Trialeurodes* spp. à la fois en serre et au champ. Il a été rapporté que les sols agricoles tropicaux et subtropicaux ont le plus grand potentiel pour son application en tant qu'agent de lutte biologique.

Comparativement avec d'autres hyphomycetes entomopathogènes, Hashim et Ibrahim (2003) ont montré qu'*Isaria fumosorosea* permet une maîtrise plus efficace de la chenille du cœur du chou (*Crocidolomia binotalis*) que d'autres espèces telles que *Beauveria bassiana* ou *Metarhizium anisopliae*.

Il a été aussi prouvé qu'*Isaria* est un genre de champignon nématophage qui tue aussi les nématodes nuisibles par la pathogénèse causant des maladies chez les nématodes.

CHAPITRE 4

**LES HUILES ESSENTIELLES ET LES
PLANTES AROMATIQUES TESTEES**

CHAPITRE 4 :

Les huiles essentielles et les plantes aromatiques testées

I. Données générales sur les huiles essentielles

1. Définition

Une huile essentielle ou « essence végétale » est l'essence volatile extraite de la plante par distillation à la vapeur d'eau ou distillation à sec ou extraction mécanique (Bruneton, 2016). Selon AFNOR (2017), les huiles essentielles sont extraites à partir des plantes aromatiques diverses et contiennent en moyenne 20 à 60 composés qui sont pour la plupart des molécules peu complexes, soit des mono terpènes avec leurs phénols reliés, et des terpènes plus complexes, dont les sesquiterpènes.

2. Les principales familles des plantes aromatiques

Selon Bachelot et *al.* (2005), parmi les principales familles des plantes aromatiques :

- ✓ **Les Abiétacées** (appelées pinacées) : environ 200 espèces réparties en 10 genres représentées par les conifères (le cèdre, le sapin, le pin et l'épicéa).
- ✓ **Les Astéracées** (appelées composées) : forment la plus grande famille du règne végétale, environ 20 000 espèces (comme la camomille et la santaline).
- ✓ **Les Cupressacées** : comprenant les arbres et arbrisseaux à feuilles écaillées (le cyprès, Le thuya et le genévrier).
- ✓ **Les Ericacées** : Famille des plantes ligneuses, que l'on trouve en région tempérées et tropicales. Environ 350 espèces, plantes précieuse en thérapie (le lédon, la gaulthérie).
- ✓ **Les Rutacées** : Ce sont des arbres, arbustes et herbacées, producteurs importants d'huile essentielles (le citron, le citron vert, la mandarine).
- ✓ **Les Lamiacées** (appeler Labiées) : famille de dicotylédone importante avec environ 6000 espèces (la lavande, la menthe, le romarin ...).
- ✓ **Lauracées** : Arbres verts et sauvages que l'on trouve surtout en Brésil. On y trouve (le laurier noble et la cannelle).
- ✓ **Les Myrtacées** : Arbres, arbustes et arbrisseaux. Environ 3000 espèces réparties, en zone tempérées, tropicales ou subtropicales (l'*Eucalyptus*, le giroflie et le myrte).

3. Répartition et localisation et des huiles essentielles dans la plante

Les huiles essentielles ne sont pas présentes chez tous les végétaux. Environ 1% des espèces élaborent des essences. Les huiles essentielles ne se rencontrent pratiquement que chez les plantes supérieures. Cependant, elles sont particulièrement abondantes chez certaines familles telles que : les Conifères, les Rutacées, les Ombellifères, les Myrtacées, les Lamiacées, les Poacées (Mann, 1987 in Yakhlef, 2010).

Dans la plante, les huiles essentielles peuvent être stockées dans divers organes dont ils peuvent être extraites : fleurs (pétales de rose), feuilles (citron, Eucalyptus), écorces (cannelier), bois (bois de rose, santal), racines (vétiver), rhizomes (acore), fruits (badiane) ou graines (carvi) (Teuscher et *al.*, 2005). Enfin, la composition chimique pouvant varier d'une partie à une autre.

4. Caractéristiques et propriétés physicochimiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont liquides à température ambiante, ce qui les différencie des huiles dites fixes. Elles sont des composés naturels, volatils et complexes des plantes, de nature huileuse ou grasse, et souvent d'une odeur forte et caractéristique (Carson et Hammer, 2011). Elles sont liposolubles et solubles dans les solvants organiques usuels ainsi que dans l'alcool, entraînaient à la vapeur d'eau mais très peu solubles dans l'eau. Elles sont altérables et sensibles à l'oxydation. Par conséquent, leur conservation nécessite de l'obscurité et de l'humidité (Couic-Marinier et Lobstein, 2013).

Ses constituants appartiennent quasi exclusivement à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes d'une part et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane d'autre part (Lahlou, 2004).

D'autre part, Desmares (2008) mentionne que dans une même espèce botanique, on peut parfois différencier plusieurs races chimiques ou chémotypes. En effet, il arrive que les voies de biosynthèse diffèrent légèrement, aboutissant à la production d'huile essentielle dont le constituant principal n'est pas le même. Selon ce même auteur, on peut distinguer par exemple, au moins 7 chémotypes différents sur le thym : thymol, carvacrol, linalol, géraniol, a-terpinéol, thuyanol et eucalyptol.

5. Méthodes d'extraction

5.1. Entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur d'eau est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des huiles essentielles. A la différence de l'hydrodistillation, cette technique ne met pas en contact direct l'eau et la matière végétale à traiter. Le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur. Durant le passage de la vapeur à travers le matériel, les cellules éclatent et libèrent l'huile essentielle qui est vaporisée sous l'action de la chaleur pour former un mélange « eau + huile essentielle » (Figure 17). Les vapeurs saturées en composés volatils sont condensées puis décantées avant d'être séparées en une phase aqueuse et une phase organique : l'huile essentielle. Selon Lucchesi (2005), l'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétal, puis entre l'eau et les molécules aromatiques, évite certains phénomènes de dégradation comme les hydrolyses.

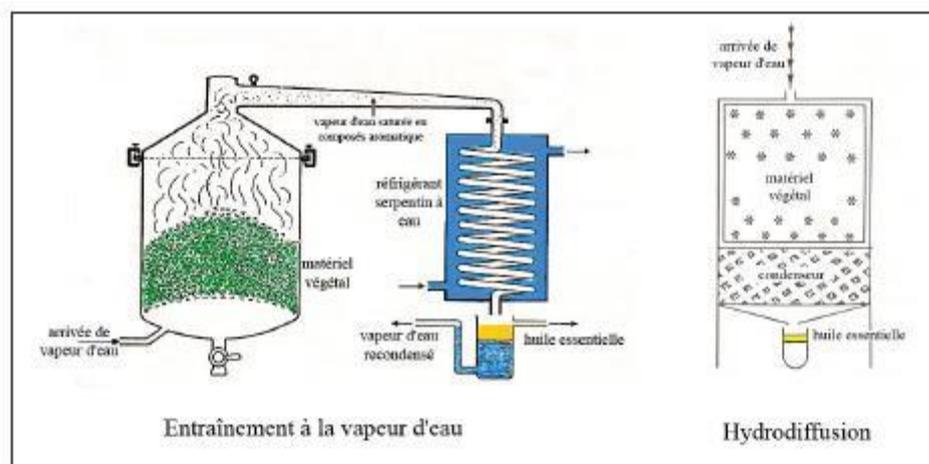


Figure 17 : Entraînement à la vapeur d'eau (Lucchesi, 2005)

5.2. Hydrodistillation

C'est la méthode la plus utilisée et la mieux adaptée pour obtenir les huiles essentielles les plus pures (Figure 18). L'hydrodistillation simple, telle que décrite par Fakhari et *al.* (2005), consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter dans un bain d'eau qui est ensuite porté à ébullition. La chaleur permet l'éclatement des cellules végétales et la libération des molécules odorantes qui y sont contenues. Ces molécules aromatiques forment avec la vapeur d'eau, un mélange azéotropique. Les vapeurs sont condensées dans un réfrigérant et les huiles essentielles se séparent de l'eau par différence de densité (Marie et Lucchesi, 2005). Au laboratoire, le système équipé d'une cohobe généralement utilisé pour l'extraction des huiles essentielles est le Clevenger. La durée d'une hydrodistillation peut considérablement varier, pouvant atteindre plusieurs heures selon le matériel utilisé et la matière végétale à traiter.

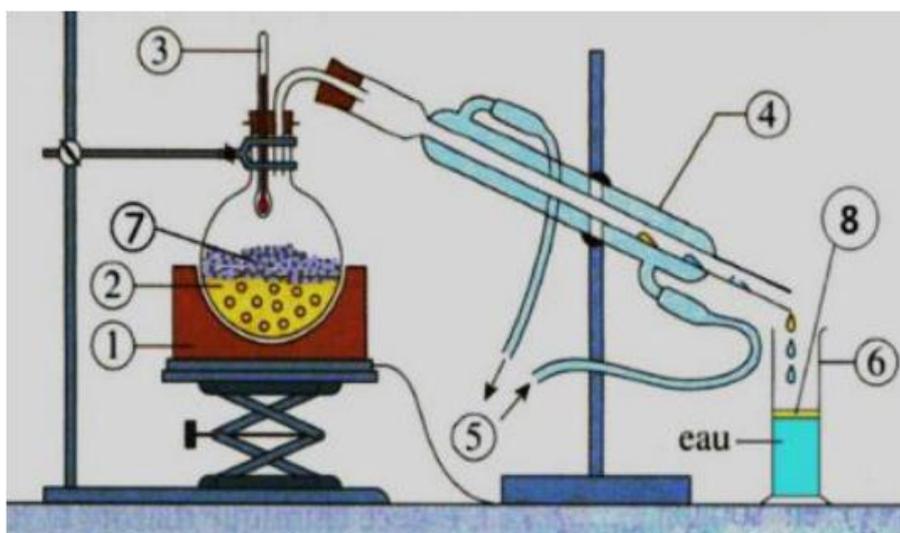


Figure 18 : Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Lucchesi, 2005)

1-chauffe ballon, 2-ballon, 3-thermomètre, 4-réfrigérant, 5-entrée et sortie d'eau, 6-erlenmeyer, 7-la matière végétale, 8-la couche d'HE

5.3. Expression à froid

Les huiles essentielles de fruits d'hespéridés ou encore d'agrumes ont une très grande importance dans l'industrie des parfums et des cosmétiques. Cependant, ce sont des produits fragiles en raison de leur composition en terpènes et aldéhydes qui ne supportent pas les préparations à chaud. C'est pourquoi, spécifiquement pour cette catégorie de matière première, est utilisé un procédé totalement différent d'une distillation classique, qui est l'expression à froid. Ce procédé consiste soit à presser les péricarpes sous un courant d'eau soit à écraser les agrumes entiers entre des cylindre mécaniques, puis séparer l'huile de l'eau en utilisant un décanteur ou une centrifugeuse (Martini et Seiller, 1999)

5.4. Extraction par solvants volatils

Elle consiste à la mise en contact de la matière végétale avec un solvant qui dissout et extrait les constituants odorants solubles de la plante. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique. Le produit ainsi obtenu est appelé « concrète ». Cette concrète pourra être par la suite brassée avec de l'alcool absolu, filtrée et glacée pour en extraire les cires végétales. Après une dernière concentration, on obtient une « absolue ». (Benthorpe et Charood, 1972). Les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation. Cette technique d'extraction a été récemment combinée aux micro-ondes et aux ultra-sons.

5.5. Extraction par dioxyde de carbone supercritique

La technique se base sur la solubilité des constituants dans le dioxyde de carbone et de son état physique. Grâce à cette propriété, il permet l'extraction dans le domaine supercritique et la séparation dans le domaine gazeux. Selon De Melo et *al.* (2017), le dioxyde de carbone est liquéfié par refroidissement et comprimé à la d'extraction choisie. Il est ensuite injecté dans l'extracteur contenant le matériel végétal, après le liquide se détend pour se convertir à l'état gazeux pour être conduit vers un séparateur où il sera séparé en extrait et en solvant.

6. Activités biologiques des huiles essentielles

L'activité biologique d'une huile essentielle est liée à sa composition chimique, aux groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) et à leurs effets synergiques (Dorman et Deans, 2000)

Les huiles essentielles ont été testées sur différentes cibles en protection des cultures : les insectes, les micro-organismes (champignons et bactéries), les adventices et aussi en protection des semences. En effet, plusieurs travaux ont été menés et ont mis en évidence les différentes activités biologiques des plantes aromatiques et médicinales, en particulier leurs pouvoirs antifongiques, antibactériens et insecticides.

6.1. En phytothérapie

D'après Valnet (2005), les huiles essentielles peuvent être utilisées pour leurs propriétés antiseptiques et antimicrobiennes. En effet, plusieurs d'entre elles sont connues pour leurs propriétés antitoxiques, antivenimeuses, antivirales, anti-oxydantes, antiparasitaires et même anticancéreuses. Pellecuer et *al.* (1980) ont prouvé l'effet antiseptique des huiles essentielles contre certaines maladies infectieuses d'origine bactérienne, par exemple contre les bactéries endocanalisaires ou au niveau de la microflore vaginale. D'autre part, Viollon et Choumont (1994) ont montré leurs effets antifongiques contre les dermatophytes.

6.2. En agroalimentaire

Dans les domaines phytosanitaire et agro-alimentaire, les huiles essentielles ou leurs composés actifs pourraient également être employés comme agents de protection contre les microorganismes envahissant les denrées alimentaires (Mongena et Muyima, 1999) et les champignons phytopathogènes (Zombonelli et *al.*, 2004).

D'après Mejholm et Dalgaard (2002), les huiles essentielles ont également des propriétés fongicides très efficaces contre les moisissures responsables de la détérioration des denrées alimentaires lors de leurs stockages.

Kim et *al.* (1995), rapportés par Touré (2018), ont même mis l'action des huiles essentielles et leurs composants, actuellement employés comme arômes alimentaires, des activités antioxydantes et antimicrobiennes sur plusieurs bactéries responsables de la pollution des aliments et pourraient donc servir d'agents de conservation alimentaires.

6.3. En phytothérapie

6.3.1. Activité insecticide

Les activités des huiles essentielles décrites sur les insectes sont variées : larvicides, adulticides, répulsifs ou inhibiteurs de croissance. Ces potentiels ont été démontrés par de multiples études à travers le monde tel que les études de Seri-Kouassi & *al.* (2004), qui ont montré que les huiles de *Melaleuca quinquenervia* et *Ocimum gratissimum* présentent des effets insecticides contre *callosobruchus maculatus* F. qui agissent par diffusion.

Les huiles essentielles des plantes appartenant aux genres *Chenopodium*, *Eucalyptus* ont aussi témoigné de leur efficacité insecticide. La poudre de *Chenopodium ambrosioides* était testée sur six ravageurs de denrées stockées *Callosobruchus maculatus*, *C. chinensis*, *Acanthoscelides obtectus*, *sitophilus ranarius*, *S. zeamais* et *Prostephanus truncatus*. Tapondjou et *al.* (2002) ont observé qu'une concentration de 0,4% provoqua la mortalité de plus de 60% des bruches après deux jours de traitements.

Bouzouita et *al.* (2008) ont confirmé les propriétés insecticides de l'huile de *Juniperus phoenicea* testées contre un insecte des denrées stockées *Tribolium confusum* ; cette huile a manifesté un effet anti appétant intéressant.

6.3.2. Activité acaricide

Certains travaux ont été menés sur l'effet toxique de certaines essences et de leurs composants sur les acariens. Parmi ces derniers, c'est le thymol qui a engendré le meilleur résultat. En effet, Imdorf et *al.* (1999) ont étudié l'effet des huiles essentielles contre *Varroa jacobsoni*, acarien parasite des colonies d'abeilles. Ces auteurs ont prouvé qu'un seul traitement à base d'huile essentielle ou d'un composé est généralement suffisant pour maintenir la population de l'acarien *Varroa jacobsoni* au-dessous du seuil de dégât économique pendant toute la saison.

6.3.3. Activité antifongique

Etant donnée la grande complexité de la composition chémotypique des huiles essentielles, malgré de possibles synergies, certains auteurs préfèrent étudier l'effet d'un composé isolé pour pouvoir ensuite le comparer à l'activité globale de l'huile.

En effet, d'après Voukouet *al.* (1988) mentionnés par Mebarkia et Moussaoui (2019), l'activité fongistatique des composés aromatiques semble être liée à la présence de certaines fonctions chimiques. Ces mêmes auteurs concluent que les phénols (eugénol, chavicol 4-allyl-2-6-diméthoxyphénol) sont plus antifongiques que les aldéhydes testés (cinnamique et hydrocinnamique). A l'inverse, Utree *et al.* (2002) notent que les groupements méthoxyl ne semblent pas apporter à ce type de molécules une fongitoxicité significative. Enfin, Wilson *et al.* (1997) et El Ajjouri *et al.* (2008) dévoilèrent respectivement l'efficacité de 49 huiles essentielles sur *Botrytis cinerea* et de deux Lamiacées (*Thymus bleicherinust* et *Thymus capitatus*) contre tous les champignons de pourriture de bois d'œuvre testés. Ce grand pouvoir bioactif est attribué à leurs teneurs élevées en phénols terpéniques.

6.3.4. Activité antibactérienne

D'après Carson *et al.* (2002), il est fort probable que l'activité antimicrobienne des huiles essentielles ne soit pas attribuée à un mécanisme unique, mais à plusieurs sites d'action au niveau cellulaire. Cela peut être expliqué du fait de la variabilité des quantités et des profils des composants des huiles essentielles.

Les molécules aromatiques possédant l'activité antibactérienne la plus élevée sont les phénols, ensuite les aldéhydes et les cétones (Haddouchi et Benmansour, 2008). En effet, Kaloustian *et al.* (2008) cités par Kechroud (2012) ont prouvé que les huiles essentielles de l'origan et du thym présentent une meilleure activité antibactérienne vis-à-vis des souches *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*.

Par ailleurs, Davidson (1997) a observé une diversité d'actions toxiques des huiles essentielles sur les bactéries comme la perturbation de la membrane cytoplasmique, la perturbation de la force motrice de proton, la fuite d'électron et la coagulation du contenu protéique des cellules. D'autre part, Dorman et Deans (2000), en étudiant la composition chimique de l'huile essentielle *Thymus spinulosus* avec des tests biologiques sur son activité antibactérienne contre des souches de bactérie, ont montré que les monoterpènes (thymol) ont une propriété inhibitrice de croissance.

6.3.5. Activité herbicide (contre les adventices)

Les études publiées sur l'activité des huiles essentielles comme herbicides sont nombreuses et recouvrent généralement des tests d'inhibition de germination de graines. Celles qui paraissent les plus actives sont des huiles essentielles à phénols (thymol, carvacrol), à cétones (carvone, pulégone) ou à étheroxydes (eucalyptol ou 18-cinéol) (Soltys, 2013).

Certains composés issus d'huile essentielle agissent différemment. Soltys et *al.* (2013) démontrent que la leptospermone de l'huile essentielle de *Leptospermum scoparium* s'est révélée être un puissant inhibiteur de la HPPD (ou p-hydroxyphenylpyruvate dioxygénase), qui entraîne une décoloration et un flétrissement des adventices.

II. Présentation des plantes aromatiques testées

1. *Thymus vulgaris*

1.1. Généralités

Le genre *Thymus* est un des 220 genres les plus diversifiés de la famille des labiées, avec pour centre de diversité la partie occidentale du bassin méditerranéen (Morales, 2002). L'origine du nom est incertaine « *Thymus* » pourrait être dérivé du mot grec « thymos » qui signifie « parfumer » à cause de l'odeur agréable que la plante dégage (Pariente, 2001). L'espèce *Thymus vulgaris* est un élément caractéristique de la flore méditerranéenne, connu surtout pour ses qualités aromatiques ; elle a aussi de très nombreuses propriétés médicinales.

1.2. Origine et distribution

Le genre *Thymus* regroupe environ 110 espèces différentes, concentré dans le bassin méditerranéen (Jalas, 1971). A cet effet, la région méditerranéenne occidentale semble être le centre d'origine de ce genre. Il est cultivé partout dans le monde comme thé, épice et plante médicinale (Kitajima et *al.*, 2004).

L'espèce *Thymus vulgaris* L. est originaire du sud de l'Europe ; on le rencontre depuis la moitié orientale de la péninsule ibérique jusqu'au sud-est de l'Italie, en passant par la façade méditerranéenne française (Amiot, 2005).

Thymus vulgaris se présente toujours dans un état sauvage en plaines et collines, comme la lavande, le romarin, la sauge et beaucoup d'autres plantes sauvages (Kaloustian et *al.*, 2003 in Yakhlef, 2010). Selon Poletti (1988), cette plante pousse de manière spontanée dans les lieux arides, caillouteux et ensoleillés des bords de la mer à la montagne.

1.2.1. Dans le monde

Le thym est réparti entre l'Europe, l'Asie de l'ouest et la méditerranée (Dob et *al.*, 2006). C'est une plante très répandue dans le nord-ouest africain (Maroc, Tunisie, Algérie et Libye) ainsi que dans les montagnes d'Ethiopie, les montagnes d'Arabie du sud-ouest en passant par la péninsule du Sinaï en Egypte.

D'après Jalas (1971), il peut même atteindre les limites de la région tropicale et du Japon. Dans le nord, il pousse en Sibérie et en Europe nordique. Le thym est maintenant cultivé dans de nombreux pays du monde dans des climats très diversifiés (Russie, Pologne, Suisse, Etats-Unis, Espagne, France, Italie, Maroc, Afrique du sud et d'autres).

1.2.2. En Algérie

Le genre *Thymus* inclut presque 300 espèces à travers le monde parmi lesquelles une variabilité importante localisées en Algérie (Chikhoun, 2007).

D'après Dob *et al.* (2006), le genre *Thymus* a colonisé le territoire de l'Algérie avec 12 espèces. Parmi ces dernières, certaines sont endémiques de l'Algérie, telles que *Thymus pallescens*, *Thymus lanceolatus*, *Thymus vulgaris*, *Thymus algeriensis* et *Thymus capitatus*. Ces espèces sont réparties le long du territoire national, du Nord algérois à l'Atlas saharien, et du constantinois à l'oranais (Kabouche *et al.*, 2005).

1.3. Caractéristiques botaniques

1.3.1. Classification

Selon Goetz et Ghédira (2012), la classification taxonomique de *Thymus vulgaris* est comme suit :

- Règne : *Plantae*
- Sous-règne : *Tracheobionta*
- Embranchement : *Magnoliophyta*
- Sous-embranchement : *Magnoliophytina*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Sous-classe : *Asteridae*
- Ordre : *Lamiales*
- Famille : *Lamiaceae*
- Genre : *Thymus*
- Espèce : *Thymus vulgaris* L.

1.3.2. Description morphologique

Thymus vulgaris est une plante sous ligneuse érigée, odorante, il forme des touffes compactes très ramifiées qui s'élèvent à une vingtaine de centimètres au-dessus du sol. Il pousse de façon spontanée sur les coteaux secs et rocaillieux et dans les garrigues (Chikhoun, 2007).

La littérature scientifique, en l'occurrence Quezel et Santa (1962), Iserin (2001) et Prasanth et *al.* (2014), résumant la description morphologique suivante du *Thymus vulgaris* (Figure 19) :

- ✓ **Les racines** sont pivotantes, ce qui permet à la plante d'aller chercher l'eau en profondeur ;
- ✓ **La tige** est généralement quadrangulaire, souvent renflées aux nœuds. Elle est ligneuse à la base, et herbacée supérieurement ou elle devient presque sphérique. Ces tiges ligneuses et très rameuses sont regroupées en touffe ou en buisson très dense ;
- ✓ **Les feuilles** sont très petites, ovales, plus au moins contractées, à bord roulés en dessous, à nervures latérales distinctes, obtuses au sommet, ponctuées supérieurement, au pétiole extrêmement court, et blanchâtres à leur face inférieure ;
- ✓ **Les fleurs**, presque roses ou blanches, sont pédicellées et réunies ordinairement au nombre de trois à l'aisselle des feuilles supérieures. Elles forment ainsi une sorte d'épi foliacé au sommet des ramifications de la tige. Le limbe du calice est bilabié. La corolle, de taille variable, est un peu plus longue que le calice.

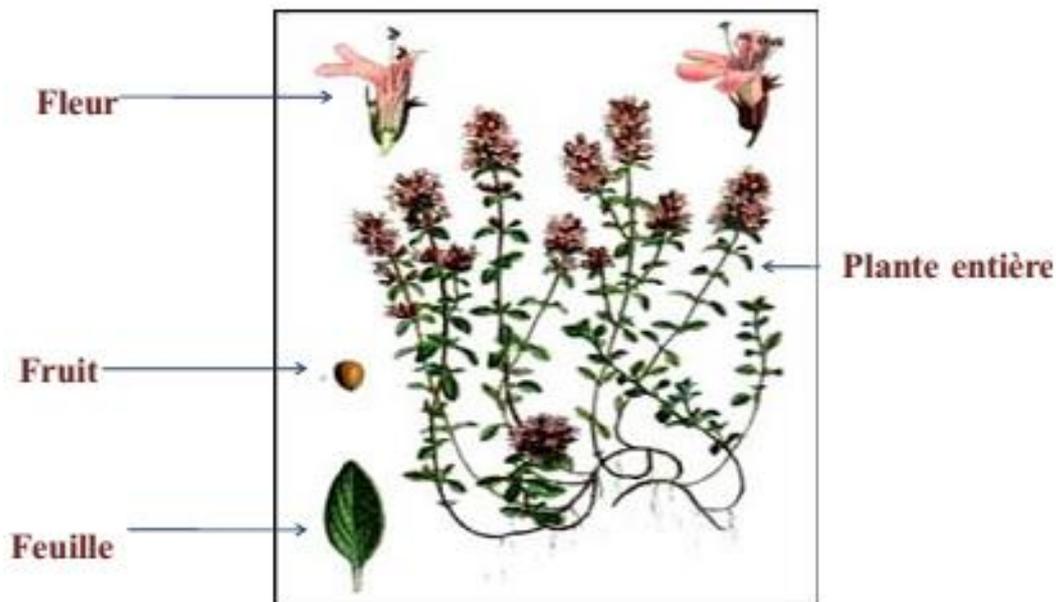


Figure 19 : Aspects morphologiques de *Thymus vulgaris* L. (Iserin, 2001)

1.4. L'huile essentielle du thym

1.4.1. Propriétés de l'huile essentielle du thym

L'huile essentielle appelée aussi essence végétale, est un mélange de substances aromatiques produites par de nombreuses plantes. L'huile essentielle du thym est extraite principalement à partir des feuilles et des sommités fleuries. Elles sont présentes en petites quantités par rapport à la masse du végétal (Padrini et Lucheroni, 1996).

D'après Haraguchi et *al.* (1996), cité par Yakhlef (2010), la tige fleurie du thym contient, en plus de l'huile essentielle, des flavonoïdes (thymonine, cirsilinéol et 8- méthoxy-cirsilinéol) et des acides- phénols (notamment caféique et rosmarinique), des tanins et une résine. D'autre part, Yakhlef (2010) mentionne que l'huile essentielle du thym est une huile susceptible de présenter de grandes variations, qui sont principalement d'origine génétique et édapho-climatique ; elle dépend également de la saison de cueillette (stade végétatif).

1.4.2. Utilisation thérapeutique et bienfaits du thym

Thymus vulgaris est l'un des plus populaire plantes aromatique utilisé dans le monde entier ; ses applications sont très vastes et touchent le domaine alimentaire et celui de la médecine traditionnelle (Adwan et *al.*, 2009 in Yakhlef, 2010).

En usage interne, les parties aériennes sont utilisées en décoction ou en infusion dans le traitement de la dyspepsie et autres troubles gastro-intestinaux, de la toux, des irritations de l'appareil respiratoire et des rhumes mais aussi, des infections des voies urinaires (Debaisieux et Polese, 2009).

En usage externe, Özcan et Chalchat (2004) cités par Yakhlef (2010) mentionnent qu'elles peuvent être utilisées pour le traitement des affections liées à l'inflammation telles que les rhumatismes, les gonflements musculaires, les piqûres d'insectes et les douleurs. Elles peuvent s'employer en gargarismes, inhalations, bains de bouche et comme additif de bain pour stimuler la circulation sanguine soulageant de ce fait, la dépression nerveuse.

1.4.3. Activité antimicrobienne et effet insecticide des huiles essentielles du thym

Les huiles essentielles du thym et leurs constituants sont reconnus depuis longtemps comme agents antimicrobiens. L'activité bactéricide est plus marquée par la présence du thymol (Teuscher et *al.*, 2005).

Concernant l'effet insecticide de l'huile essentielle du thym, plusieurs travaux ont étudié l'efficacité de cette huile dans la lutte contre certains ravageurs. On peut mentionner ici les travaux de Hassani et *al.* (2017) contre les ravageurs des semences et denrées stockées (insectes et bactéries en particulier).

En effet, le test d'efficacité de cette huile a été mené sur le Charançon des céréales (*Sitophilus oryzae*), comme insecticide biologique lors du stockage des semences et comme bactéricide sur *Eschérichia Coli* et *Staphylococcus Aureus*. Ils ont constaté que l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* entraîne un effet insecticide très prononcé sur *S. oryzae*, quelques heures seulement après le traitement par fumigation. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Selmi et Sadok (2008).

D'autres travaux témoignent que l'huile essentielle de *T. vulgaris* présente une efficacité importante vis-à-vis les adultes des pucerons vert d'agrumes et peut être considérés comme bio-pesticide intéressant susceptible d'être préconisé dans le cadre de la lutte biologique.

2. *Satureja calamintha nepeta*

2.1. Généralités

Le genre *Satureja* appartenant à la famille des Lamiacées, comporte 200 espèces qui sont largement répandues dans les régions méditerranéennes, Sud –ouest de l'Asie et d'Amérique (Ayla et al., 2009). Les espèces de ce genre sont souvent remarquables par leurs odeurs fortes et aromatiques. Cette herbacée est annuelle sous des climats tempérés mais vivaces dans les régions arides, ensoleillées, pierreuses et rocheuses. La sarriette qui est une plante médicinale et culinaire peut également être cultivée comme plante ornementale. En effet, le terme « *Satureja* » vient du mot latin "satura" c'est-à-dire pot à fleur (ornemental) (Vârban et al., 2009).

2.2. Origine et distribution

La sous espèce *S. calamintha nepeta* appartient à la famille de *Labiataea*, bien représentée et répandue dans toute la région méditerranéenne. Le pouliot de montagne pousse à l'état sauvage en Asie, en Europe, et notamment dans le bassin méditerranéen (Ayla et al., 2009). Originaire d'Europe du Sud, la sarriette vivace pousse dans les lieux ensoleillés et bien drainés. Elle est souvent cultivée comme plante d'agrément. Les fleurs sont récoltées en été (Iserin, 2001). On la rencontre dans les sous-bois mais aussi sur les terrains incultes, le bord des routes et dans le tell, surtout en montagne, jusqu'à 1500 mètres d'altitude (Quezel et Santa, 1963).

2.3. Caractéristiques botaniques

2.3.1. Classification

La classification taxonomique moderne de *Satureja calamintha* est la suivante :

- Règne : *Plantae*
- Embranchement : *Magnoliophyta*
- Sous Embranchement : Angiospermes
- Classe : *Magnoliopsida*
- Sous Classe : Gamopétales
- Ordre : *Lamiales*
- Famille : *Lamiaceae*
- Genre : *Satureja*
- Espèce : *Satureja calamintha nepeta*

Nom commun : Sarriette, baume sauvage, pouliot de montagne.

Nom vernaculaire : Nabta, ketéya, menta, tourete.

2.3.2. Description morphologique

S. calamintha nepeta regroupe des plantes annuelles ainsi que des plantes herbacées et sous-arbrisseaux vivaces. C'est une petite plante vivace, très ramifiée depuis la base, qui ne dépasse pas les 40 cm de haut (Speck et *al.*, 2008 in Labiod, 2016).

Selon Baba Aissa (1999), dans son Encyclopédie des plantes utiles (flores d'Algérie et du Maghreb), on peut retenir la description suivante de la plante :

- ✓ **Tige** est plus ou moins velue ;
- ✓ **Feuilles** petites, lancéolées et pointues à leur extrémité, courtement pétiolées, un peu dentelées ou presque, à glandes apparentes ;
- ✓ **Fleurs**, pâles, de couleur blanche à mauve, petites, en verticilles nombreux, écartés et compacts. Le calice long de 3 mm environ est glabrescent, glanduleux, à poils de la gorge saillants, à dents très petites presque égales. La corolle dépassant de 7-8 mm la gorge du calice. Les carpelles oblongs. La période de floraison est de juillet à octobre.



Figure 20 : Photo des parties aériennes de la plante *Satureja calamintha* (Labioid, 2016).

2.4. L'huile essentielle de *S. calamintha nepeta*

2.4.1. Propriétés de l'huile essentielle de *S. calamintha nepeta*

Selon Satrani et al. (2001), les principaux constituants chimiques des huiles essentielles de *Satureja calamintha* sont caractérisés par la présence du pcyène (20.9%), du α -terpinène (18.7 %) et du thymol (34.9 %). De même, Bugandoura (2011) a prouvé que le rendement en tanins est supérieur à celui des saponosides dans les feuilles de *Satureja calamintha* de l'Ouest Algérien.

D'autre part, Bensouici et al. (2013) ont montré que la composition chimique de l'huile essentielle de *Satureja calamintha*, recueillies auprès de Jijel (Algérie orientale), analysées par GC/MS, ont détectés 23 composantes représentant 94.45 % de l'huile essentielle dont les principaux sont : Isopulégone, (66.5%) et la pulégone (11.6 %).

2.4.2. Utilisation et effet thérapeutique de la plante

La sarriette possède des vertus médicinales. Elle jouit d'une grande faveur populaire en Algérie et au Maroc comme remède contre la toux, l'indigestion et les infections respiratoires bénignes (Padrini, 1996). En gargarismes, elle prévient et soigne les infections de la gorge.

Selon Baba Aissa (1999), elle est connue comme plante expectorante, stomachique, tonique ; elle possède aussi des propriétés antiseptiques, antispasmodiques et carminatives. Elle peut également agir contre les parasites intestinaux. Les espèces de *Satureja* sont également utilisées comme des désinfectants puissants et comme des agents odoriférants dans les parfums.

2.4.3. Activité antimicrobienne et effet insecticide de *Satureja calamintha*

Plusieurs études biologiques ont montré que les huiles essentielles de *Satureja calamintha* possèdent une activité antimicrobienne due à la présence du thymol, du carvacrol, et de l'alpha-terpinéol. Par ailleurs, Abutbulet et al. (2004), en testant cette espèce sur *Bacillus cereus*, *Aspergillus niger* et *Botrytis cinerea*, ont prouvé que, parmi les constituants de *Satureja calamintha*, seule la pugléone a reflété une importante activité antimicrobienne. Bugandoura (2013) a montré que les deux extraits méthanoliques et aqueux, issus de l'espèce *Satureja calamintha*, possèdent une activité antioxydante modérée. Ces extraits pourraient donc constituer une alternative à certains additifs synthétiques.

D'autre part, Michaelakis et al. (2007) ont étudié la composition chimique de l'huile essentielle de certaines espèces de *Satureja*, récoltées en Grèce, ainsi que leur activité insecticide vis-à-vis de *Culex pipiens*. D'autres recherches ont porté également sur l'évaluation de l'efficacité bio insecticide de l'extrait méthanoïque et de l'huile essentielle des feuilles et tiges de *Calamintha nepeta* sur les adultes de l'espèce aphidiennes, *Aphis spiraeicola*,

3. *Eucalyptus globulus*

3.1. Généralités

L'*Eucalyptus* est l'un des divers genres de plantes à fleurs dans le monde, appartenant à la famille des Myrtacées. Le mot « *Eucalyptus* » vient du grec « eu » c'est-à-dire bon et le mot « kalypto » signifie couvrir. Les *Eucalyptus* craignent le froid (température inférieure à moins dix degrés Celsius) et aiment la lumière. Grâce à leur grande capacité d'absorption d'eau souterraine, ils sont utilisés afin d'assécher les marais.

L'*Eucalyptus* commun ou Gommier bleu (*Eucalyptus globulus*) est l'un de ses espèces ; il est largement cultivé et peut croître jusqu'à 92 m de haut (Teuscher et al., 2005). *E. globulus* est bien connu car il fournit des huiles essentielles. Ces dernières sont très demandées sur le marché, car elles trouvent un large éventail d'applications.

3.2. Origine et distribution

Grâce à leur facilité d'adaptation, les espèces *E. globulus*, *E. camaldulensis* et *E. gomphocephala*, sont les plus répandues dans la région méditerranéenne. Près de 600 espèces sont connues dans le monde. Certains *Eucalyptus* s'hybrident facilement entre elles étant donné la facilité avec laquelle les graines de pollen se transfèrent d'une espèce à une autre, ce qui complique encore plus leur identification (Foudil Cherif, 1991).

D'après Alexendrien (1992), l'*Eucalyptus globulus* est une espèce originaire d'Australie, notamment de la province de Tasmanie mais sont également implantés en Amérique de sud, en Afrique et en Europe, où ils ont fini par s'acclimater. Aujourd'hui, l'*Eucalyptus globulus* est cultivé dans le bassin méditerranéen et en Chine où il est utilisé pour fabriquer de la pâte à papier

Son introduction en Algérie a été en 1854 par Ramel à partir des graines, introduites d'Australie, semées dans les pépinières du hamma, jardin d'Alger (Ghedira et al., 2008). La plantation massive de ces arbres ne se fera qu'à partir de 1950.

3.3. Caractéristiques botaniques

3.3.1. Classification

La première classification complète des *Eucalyptus* a été publiée en 1934 qui comptait 606 espèces et variétés ; et ce n'est qu'en 1995 qu'a été marquée une nouvelle étape dans la taxonomie du genre *Eucalyptus*. Après, plusieurs classifications ont vu le jour et on peut retenir la systématique suivante d'*E globulus* selon Kesharwani et al. (2018) :

- Règne : *Plantae*
- Sous règne : *Tracheobionta*
- Super division : *Spermatophyta*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : *Rosidae*
- Ordre : *Myrtales*
- Famille : *Myrtaceae*
- Genre : *Eucalyptus*
- Espèce : *Eucalyptus globulus Labill*

3.3.2. Description morphologique

L'*Eucalyptus globulus* est un arbre aromatique sempervirent à croissance rapide et pouvant atteindre entre 30 et 60 mètres (Lobstein et al., 2018).

- ✓ **Le tronc** droit, lisse, grisâtre, qui porte des rameaux dressés ;
- ✓ **Les feuilles** sont cireuses, ovales, claires, opposées et couvertes d'une pruine (couche cireuse, légèrement poudreuse, permettant à la plante de se protéger de la chaleur et des agressions extérieures) donnant à l'arbre cette couleur bleu-gris à l'origine du nom gommier bleu (Figure 21). Les feuilles juvéniles sont très différentes des feuilles ; ces dernières adultes sont alternes, pétiolées, très allongées, falciforme et de couleur vert luisant (Lobstein et al., (2018).

- ✓ **Les fleurs** sont bisexuées, régulières, de couleur blanc-crème à crème. Les fleurs sont solitaires, mellifères et relativement grandes. Le calice a la forme d'une toupie bosselée dont la partie large est couverte par un opercule qui se détache au moment de la floraison laissant apparaître de nombreuses étamines mais sans pétales, ni sépales (Ghenaiet et Aouidet, 2016).
- ✓ **Le fruit** est la capsule anguleuse du calice de 1.5 à 2.5 cm de diamètre, avec une teinte marron à maturité et s'ouvrant légèrement par 2 fentes croisées pour laisser passer des graines (Figure 21). De nombreuses petites graines sont jetées par les valves qui s'ouvrent sur le dessus du fruit (Raho *et al.*, 2017 ; Lobstein *et al.*, 2018).



(a) : Feuilles



(b) : Fleures



(c) : Fruits

Figure 21 : Photographies d'*E globulus*
(Babar *et al.*, 2015 ; Kesharwani *et al.*, 2018).

3.4. Huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*

3.4.1. Propriétés et utilisation thérapeutique des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*

L'*E. globulus* qui est réputé pour son utilisation comme plante médicinale dans le monde entier. Les meilleurs avantages de l'*E. globulus* pour la santé sont notamment la capacité à améliorer le système respiratoire et à renforcer le système immunitaire. Selon Salehi *et al.* (2019), ses principales propriétés peuvent se résumer comme suit :

a) Propriétés organoleptiques

- Aspect : liquide mobile limpide ;
- Couleur : jaune
- Odeur : fraîche, caractéristique de l'eucalyptol (1,8-cinéole)

b) Principaux composants

- Monoterpènes : α -pinène, limonène, para-cymène
- Oxyde terpénique : 1,8-cinéole

c) Principales propriétés pharmacologiques

- Anticatarrhale, expectorante et mucolytique
- Antiseptique
- Antimicrobienne
- Antifongique
- Antivirale

d) Indications thérapeutiques

- Affections des voies respiratoires
- Calme la toux et fluidifie les expectorations bronchiques
- Adénites d'origine infectieuse
- Dermite bactérienne, dermite candidosique

3.4.2. Activité insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*

Eucalyptus globulus possède un large spectre d'activité biologique y compris antimicrobien, fongicide, insecticide, insectifuge et herbicide (Luis et al., 2016). Parmi ces composés, le 1,8-cinéole ou eucalyptol (50 à 80 %) est sans doute le plus connu.

Selon Batish *et al.* (2008), la présence de 1,8-cinéole dans l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* lui confère des propriétés répulsives et insecticides. En effet, Aouadhi (2010) signale que l'huile essentielle est constituée essentiellement de l'Eucalyptol nommé aussi cinéol ; c'est la substance toxique majeure dans l'*Eucalyptus*.

Plusieurs travaux ont évalué l'effet insecticide d'*Eucalyptus globulus* sur certains ravageurs ; il y a lieu de citer, dans ce contexte, l'exemple des résultats présentés par Sabraoui *et al.* (2016). En effet, ces chercheurs ont testé quatre huiles essentielles des plantes marocaines pour déterminer leur activité insecticide vis-à-vis des adultes et des larves de la mineuse de pois chiche (*Liriomyza cicerina*. R) ; ils ont montré que L'*Eucalyptus* a une grande toxicité notamment sur les adultes à une dose d'environ 33 µl/l d'air seulement. Ce résultat a été aussi prouvé par Procopio *et al.* (2003) lors de l'évaluation des adultes du charançon du maïs *Sitophilus zeamais* dans les graines de maïs.

PARTIE EXPERIMENTALE

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE LA REGION ET DES STATIONS D'ETUDE

Chapitre 1 :

Présentation de la région et des stations d'étude

1. Présentation de la région d'étude

1.1. Situation géographique

La wilaya de Mascara, délimitée par 2°, 11 de longitude et 35°, 26 de l'altitude, au Nord-Ouest de l'Algérie, s'étend sur une superficie de 5889,11 km². Sa vocation principale l'agriculture. Elle est limitée au Nord par les wilayas de Mostaganem et Oran ; au sud par la wilaya de Saida ; à l'Est par les wilayas de Relizane et Tiaret et à l'Ouest par la wilaya de Sidi Bel Abbas. Elle compte 16 daïras et 47 communes. La superficie agricole utile est de 98100 ha dont 1301 ha irrigués.

Elle fait partie intégrante de la région du Tell qui s'étend sur une superficie de 5889.11 Km². Elle est à vocation agricole et divisée en quatre zones homogènes en fonction des données physiques naturelles (Figure 22) qui sont :

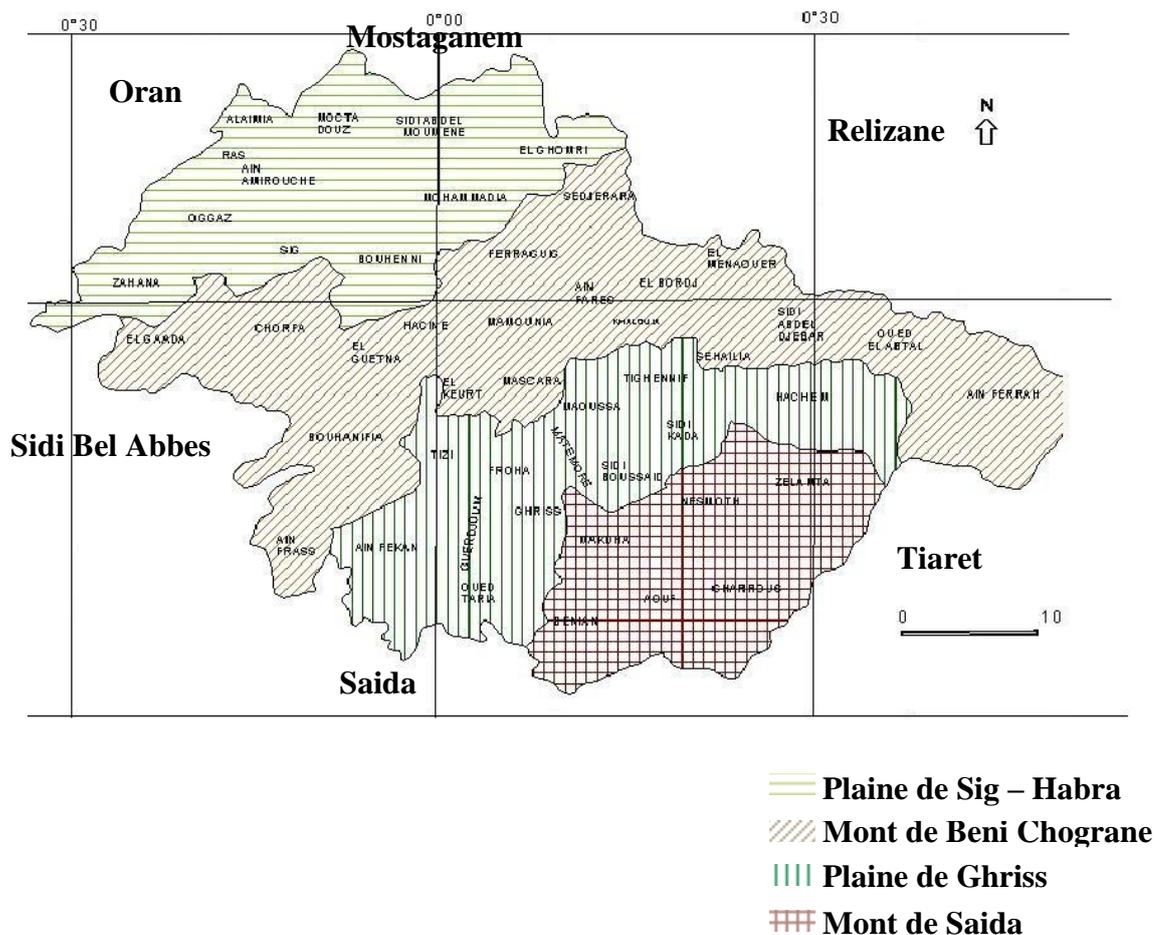


Figure 22 : Situation géographique de la wilaya de Mascara

- ① Les plaines de Sig et de Habra au nord, couvrent 25 % du territoire de la Wilaya ;
- ② Les monts des Beni-Chougrane en amont, couvrent 32 % du territoire de la Wilaya;
- ③ La haute plaine de Ghriss au centre, couvrent 27 % du territoire de la Wilaya ;
- ④ Les monts de Saïda au sud, couvrent 16 % du territoire de la Wilaya.

1.2. Les facteurs climatiques

D'après Dreux (1980), tout être vivant est influencé par un certain nombre de facteurs notamment abiotiques comme les facteurs climatiques tels que la température, la pluviométrie, les vents et l'humidité. Le climat est un facteur déterminant qui se place en amont de toute étude relative au fonctionnement des écosystèmes écologiques. Il joue donc un rôle très important dans la dynamique des populations des insectes ; en effet, les êtres vivants ne peuvent se maintenir en vie que sur les limites bien précises de température, de pluviométrie et humidité.

Cette étude climatique est réalisée à partir des données météorologiques fournies par la station météorologique de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM) de Mascara.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du système climatique de la région d'étude, les données de la campagne 2019/2020 (Période relative à notre étude), ainsi que des moyennes sur la période de 2009/2020, ont été retenues.

1.2.1. Les précipitations

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres (Ramade, 1984). Selon Mercier (1999), l'eau est un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres afin d'assurer un équilibre biologique. La pluviométrie agit sur la vitesse du développement des animaux, sur leur longévité et sur leur fécondité. Les périodes de sécheresse prolongées ont un effet néfaste sur la faune (Dajoz, 1996).

La répartition annuelle des précipitations est donc importante aussi bien par son rythme que par sa valeur volumique absolue.

Généralement, le climat de la région de Mascara se caractérise essentiellement par sa douceur et des précipitations faibles, mais surtout mal réparties et irrégulières d'une année à l'autre, avec une moyenne de 400 mm par an.

La quasi-totalité de ces pluies est répartie du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril-Mai (Tableaux 4-5). Les valeurs minimales paraissent au centre de la plaine de Ghriss, tandis que les plus importantes sont mesurées sur les reliefs, à forte pente, dans les monts de Beni-Chougrane, Il est à noter également que les précipitations sont concentrées en un nombre restreints de jours, entrecoupées de longues périodes sèches ; encore que ces pluies ne dure généralement que quelques heures et constitue presque souvent des pluies torrentiels.

Les valeurs des précipitations mensuelles de la période 2009/2020, ainsi que celles de la campagne 2019/2020, sont consignées dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 4 : Valeurs des précipitations mensuelles (en mm) de la station de Mascara (période 2009/2020) (Source: ONM Mascara, 2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations (mm)	62.78	36.70	42.55	59.83	24.47	14.92	1.90	6.56	21.18	29.92	54.22	45.47

Tableau 5 : Valeurs des précipitations mensuelles (en mm) de la station de Mascara (compagne 2019/2020) (Source: ONM Mascara, 2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations (mm)	43.05	4.57	11.94	64.37	5.33	0	3.67	2.03	17.05	8.13	50.74	41.39

Les moyennes mensuelles montrent clairement que le mois de janvier est le plus arrosé alors que le mois le plus aride est le mois de juillet. Durant la période 2009/2020, nous avons remarqué que l'année 2020 a connu le plus faible taux des chutes de pluie (217.65 mm); alors que l'année 2013 a enregistré le taux le plus élevé (583.19 mm), année qui était très exceptionnelle de point de vue de chute de pluie à travers tout le territoire national.

Les tableaux 4 et 5 montrent aussi que :

- ✓ Les précipitations moyennes sont irrégulières et insuffisantes ;
- ✓ La période pluvieuse s'étale de septembre à avril, avec un maximum qui se situe en janvier (62.78 mm) ;
- ✓ La saison sèche s'étale de mai à août avec un minimum au mois de juillet (1.90 mm).

1.2.2. Les températures

Les températures, second facteur climatique, sont importantes et conditionnent en grande partie la répartition des végétaux et le cycle de développement des animaux. Elles agissent directement sur le climat et interfèrent avec les autres facteurs météorologiques et biogéographiques.

Les valeurs des températures mensuelles de la période 2009/2020, ainsi que celles de la campagne 2019/2020, sont regroupées dans les tableaux 6 et 7.

Tableau 6 : Valeurs des températures mensuelles (en °C) de la station de Mascara (période 2009/2020) (Source: ONM Mascara, 2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Températures (°C)	8.7	9.6	12.35	15.5	19.66	24.10	28.36	28.13	23.44	19.08	13.40	10.23

Tableau 7 : Valeurs des températures mensuelles (en °C) de la station de Mascara (Campagne 2019/2020) (Source: ONM. Mascara).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Températures (°C)	7.45	10.95	13.5	16.35	21.25	23.8	29.25	28.6	23.65	18.15	13.95	11.2

En effet, ces températures sont relativement élevées et soulignent l'existence de deux saisons qui sont :

- ✓ **Une saison froide** : qui s'étend sur six mois, de novembre jusqu'à avril ;
- ✓ **Une saison chaude** : qui se situe entre mai et octobre.

Il en ressort aussi, d'après ces tableaux, que :

- ✓ Juillet-Août sont les mois les plus chauds ;
- ✓ Janvier est le mois le plus froid.

1.2.3. Le vent

Le vent constitue l'un des facteurs climatiques déterminent dans la variation d'un milieu ; il intervient dans la pollinisation anémophile et dans le déplacement des graines (Seltzer, 1946). Selon Ramade (1984), le vent constitue dans certains biotopes un facteur écologique limitant ; il a parfois une action très marquée sur la répartition des insectes et sur leur degré d'activité ; il agit également en augmentant la vitesse d'évaporation, il a donc un pouvoir desséchant qui gêne l'activité des insectes (Faurie et *al.*, 1980).

Le vent de la région de Mascara souffle souvent selon une direction dominante du nord vers l'ouest. En été, le vent se caractérise par un souffle chaud sec desséchant, appelé sirocco. Il se manifeste particulièrement en été (juillet-août) sur l'ensemble de la région. Le nombre de jours de sirocco est de 15 à 20 jours par an ce qui provoque le dessèchement du feuillage des arbres surtout lorsqu'ils ne sont pas suffisamment irrigués pendant l'été et plantés selon la direction Est-Ouest.

Tableau 8 : Moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse du vent en m/s (période 2009/2020) (Source: ONM Mascara, 2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Vents (m/s)	3.08	3.47	3.29	3.04	3.08	3.29	3.01	2.87	2.69	2.56	3.08	2.65

Il résulte du tableau ci-dessus que la vitesse des vents est relativement faible ; elle varie de 2.56 m/s en Octobre jusqu'à 3.47 m/s en Février, comme valeur maximale à la période entre 2009 et 2020.

1.2.4. L'humidité relative (HR)

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'air. L'humidité relative de l'air est le rapport en pourcentage de la pression réelle de la vapeur d'eau à la pression de vapeur saturante à la même température (Dreux, 1980).

L'humidité relative agit sur la densité des populations en provoquant une diminution du nombre d'individus lorsque les conditions hygrométriques sont défavorables pour les organismes (Dajoz, 1971).

Les valeurs de l'humidité relative moyenne annuelles de 2009 à 2020 pour la région de Mascara sont portées dans le tableau 9 suivant :

Tableau 9 : Valeurs de l'humidité moyenne mensuelle de la région de Mascara (2009/2020) (Source: ONM Mascara, 2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
H.R (%)	75.13	72.28	70.40	66.83	55.59	47.36	40.53	43.79	55.83	59.5	69.35	74.17

Il ressort de ce tableau que le mois de Janvier présente le taux d'humidité le plus élevé de 75.13% enregistré au mois de Janvier ; alors que l'humidité la plus basse est notée au mois de Juillet avec 40.53%.

1.2.5. La gelée

Dans la région de Mascara, la gelée s'étale surtout de novembre jusqu'à la fin de mai. Elle est à craindre pendant le printemps car elle cause beaucoup de dégâts surtout aux bourgeons en croissance.

Le tableau 10 ci-dessous présente les valeurs moyennes du nombre de jours de gelées durant l'intervalle de 2009 à 2020 pour la région de Mascara

Tableau 10 : Le nombre de jours de la gelée par mois (période 2019/2020) (Source: ONM Mascara, 2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Nombre de jours	00	00	00	03	02	01	02	00	00	00	00	00	08

1.3. Synthèse climatique

Dans l'ensemble, le climat de l'Afrique du nord est caractérisé par l'opposition de deux saisons bien tranchées, surtout en ce qui concerne la température et les précipitations : une saison relativement froide et pluvieuse et une chaude et pratiquement sans pluie (Chaument et Paquin, 1971).

Notre synthèse climatique sur la période de 2009-2020 est basée essentiellement sur les points suivants :

- ✓ Déterminer la période sèche en utilisant le digramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953) ;
- ✓ Déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude à partir du diagramme pluviométrique d'Emberger (1963).

1.3.1. Diagramme pluviométrique

Le diagramme pluviométrique de Gaussen et Bagnouls permet de définir la période sèche. Pour cela, nous avons placé, sur le même graphe, les valeurs moyennes des précipitations P (mm) et des températures T (°C) en double ordonnées ou l'échelle des précipitations est égale au double de l'échelle des températures ($P=2T$), et les mois de l'année en abscisse. La zone comprise entre la courbe pluviométrique et celle de températures constitue la zone sèche. On considère que le mois est sec si $P \text{ (mm)} < T \text{ (}^\circ\text{C)}$.

D'après la figure 23, le diagramme pluviométrique (intersection des deux courbes divergentes des températures et des précipitations) de la région de Mascara montre l'existence de deux périodes, l'une sèche et l'autre humide. La période de sécheresse est longue et s'étale sur six mois et demi, allant de la fin du mois d'avril jusqu'au début novembre. La période humide est relativement courte et dure cinq mois et demi ; elle commence au début novembre et s'achève à la fin avril.

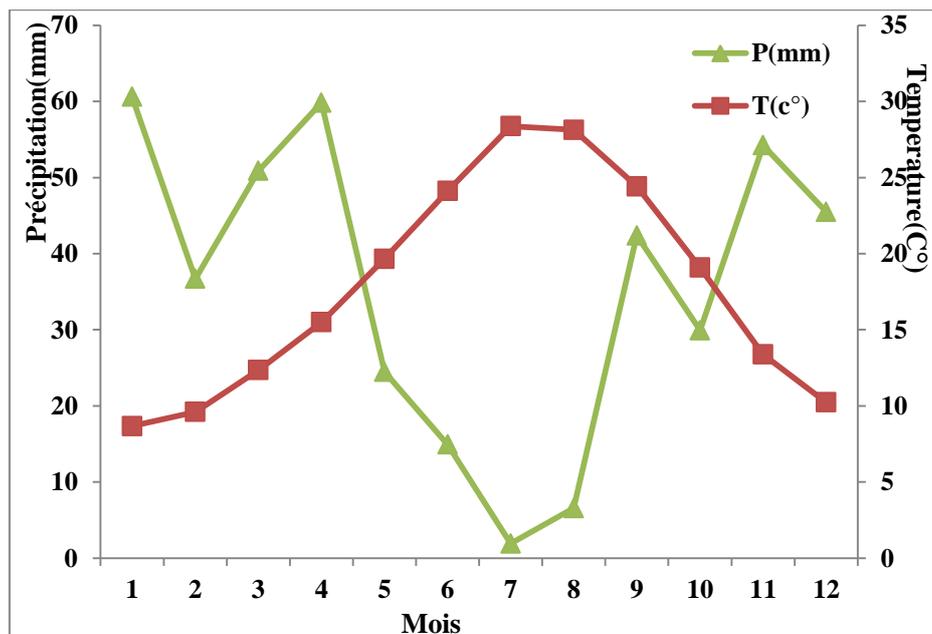


Figure 23 : Diagramme pluviométrique de Bagnouls et Gaussen de la station de Mascara (période 2009-2020).

On peut aussi noter que sur une période de 12 ans d'observation (2009-2020), la pluviométrie moyenne annuelle est de 400.43 mm. Cette moyenne des précipitations a nettement chuté, soit une réduction de presque 22 % : entre 1913 -1938, la pluviométrie était en moyenne de 511 mm (SELTZER, 1946).

1.3.2. Climagramme d'EMBERGER

Selon Mutin (1977), le climagramme d'Emberger est défini par un quotient pluviométrique qui permet de faire la distinction entre les différentes nuances du climat méditerranéen. Il 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, qui se calcule par la formule suivante:

$$Q_2 = 3.43 * P / M - m$$

P : précipitations moyennes annuelles.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C.

M : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

M-m : amplitude thermique moyenne en °C.

Avec des précipitations annuelles P de 404.21 mm, le quotient pluviométrique de la zone d'étude est égal à 40.15. Il permet de situer notre aire d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais sur le climagramme d'Emberger (Figure 24).

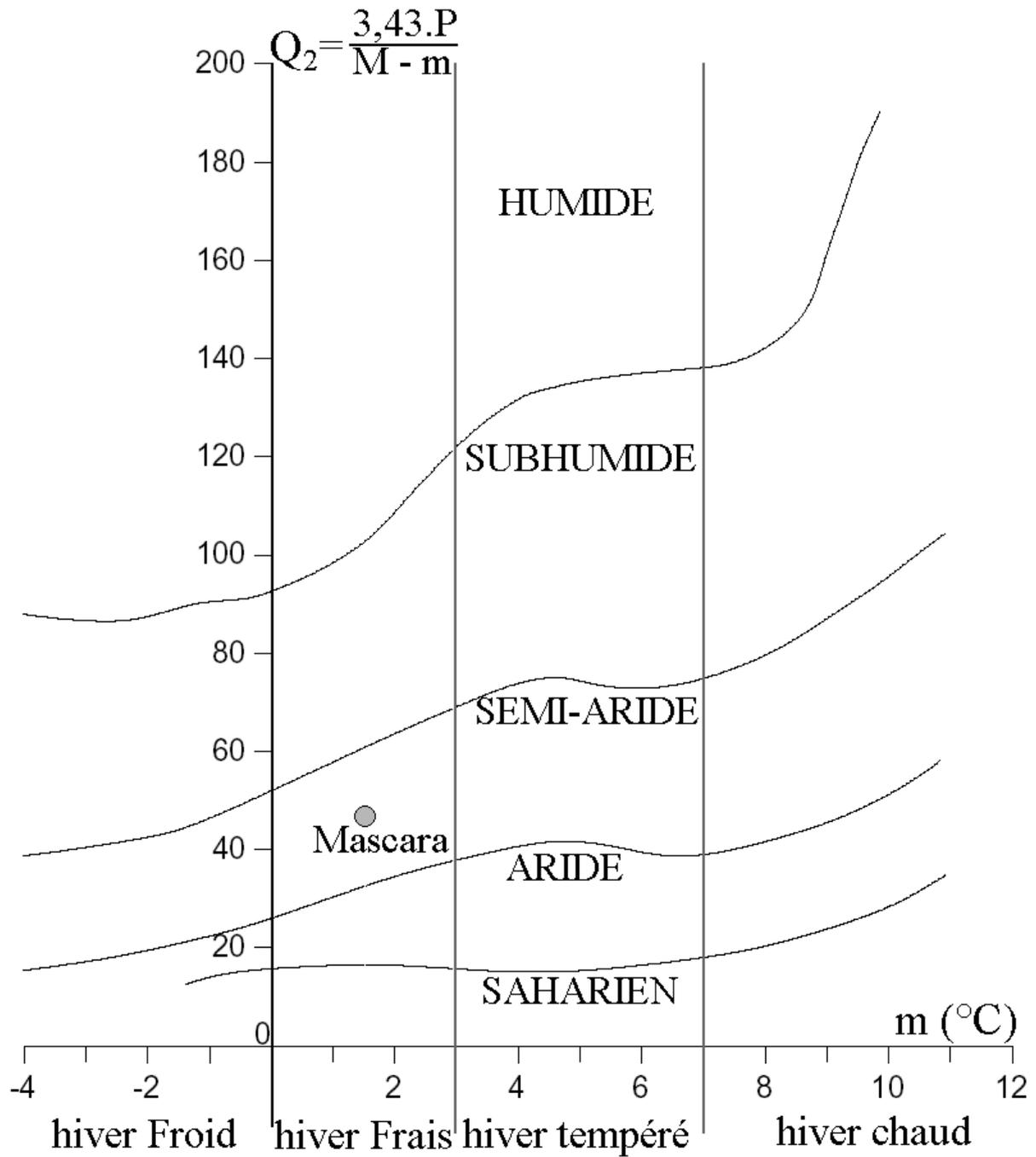


Figure 24 : Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude.

2. Présentation des stations d'étude

L'objectif de cette étude consistait à suivre l'évolution des fluctuations des populations du psylle de l'olivier *Euphyllura Olivina*, sa bioécologie et de détecter le premier vol des adultes ainsi que le nombre de générations pouvant être accomplie par ce ravageur dans son habitat. Pour ce présent travail, notre choix s'est porté sur deux oliveraies dans le but de mettre en évidence l'influence de l'entretien d'une oliveraie sur l'écologie du psylle. Pour ce faire, nous avons choisis une oliveraie, bien entretenue, située à Oued Taria ; l'autre verger, dans un état d'abandon, est situé à Ain fares.

2.1. Station d'étude 1 : Oliveraie d'Oued Taria

La station 1, retenue pour notre étude, est une oliveraie expérimentale située à Oued Taria [35°6'16" N, 0°0'33" E] et à une altitude de 471 m (Figure 25). Le verger est bien aéré. Il est composé de deux variétés Chemlal et Sigoise couvrant une superficie d'environ 3 ha, répartis dans des rangées homogènes de 250 arbres. Les arbres sont âgés de 16 ans, d'une hauteur de 3 à 6 mètres et plantées en ligne espacés de 8 mètres.

Les pratiques culturales et les opérations d'entretien pratiquées au niveau de la parcelle d'étude peuvent se résumer comme suit :

- ✓ **Le travail du sol** (labour) : cette opération consiste à travailler le sol de façon superficielle sur toute la surface de la parcelle à l'aide d'une herse rotative ;
- ✓ **Le désherbage** et entretien au plus près et au pied des oliviers est réalisé dans le but d'éliminer les plantes adventices ; le passage de griffes se fait à partir de la fin avril jusqu'à la fin juillet pour limiter ainsi la concurrence hydrique ;
- ✓ **L'irrigation d'appoint** : est appliquée à la sortie de l'hiver ou au début de printemps pour favoriser un bon départ végétatif et obtenir de bonnes récoltes ;
- ✓ **La taille** : est effectuée convenablement, en supprimant les gourmands et formant des rameaux de remplacement à la base de ceux venant de fructifier ;
- ✓ **Les amendements** : c'est surtout la fumure du fond qui est incorporée au moment du labour de défoncement précédent l'hiver et de fumure d'entretien. Cette dernière est apportée tous les deux ans.

Il est à signaler que l'oliveraie de cette station d'étude ne bénéficie d'aucun traitement phytosanitaire.

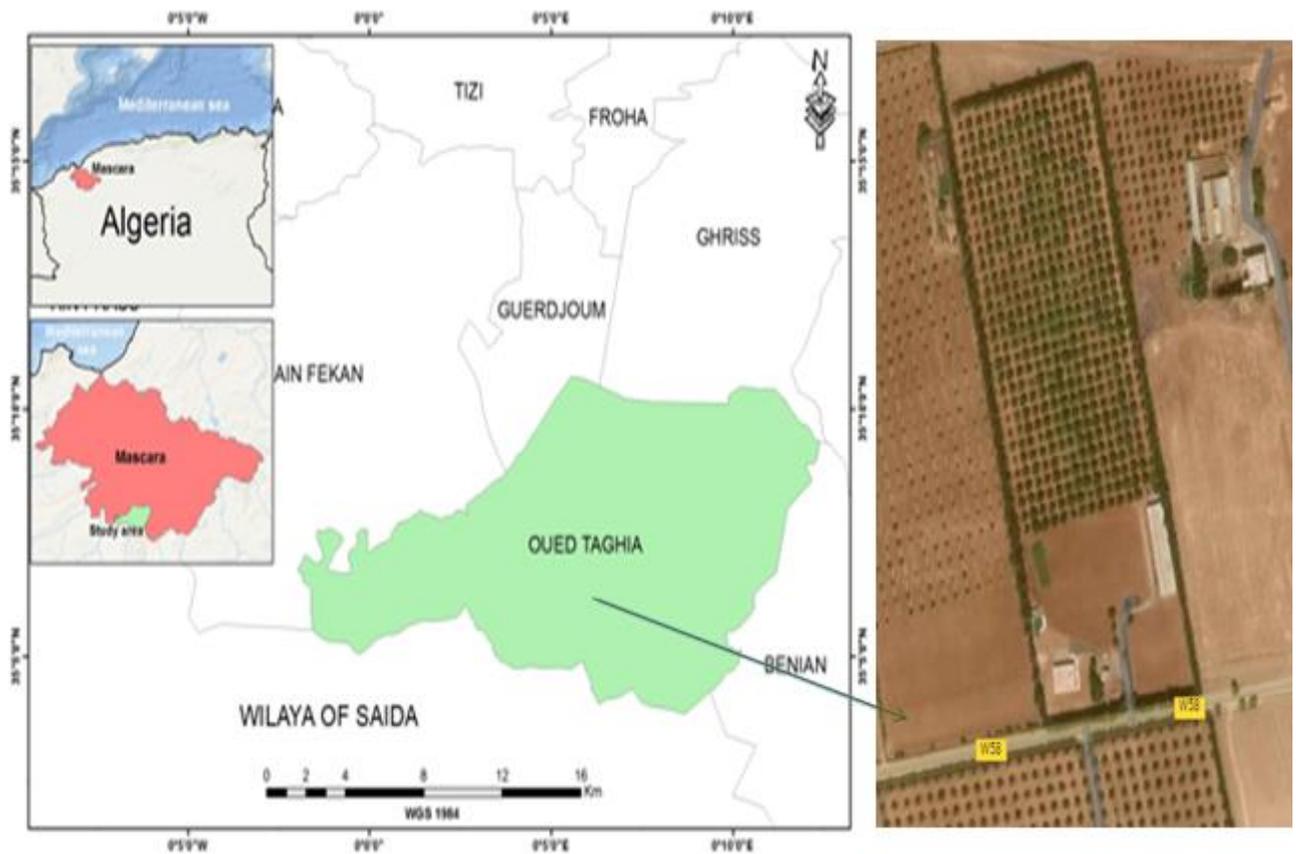


Figure 25 : Emplacement de l'olivieraie d'Oued Taria (Google Map, 2020)

Pour ce qui est des caractéristiques édaphiques et pour caractériser le sol de cette parcelle expérimentale, une analyse physico-chimique du sol a été réalisée au laboratoire régional Ouest des analyses de sols et de l'eau (El Matmar – Relizane). L'échantillon du sol analysé, remis au laboratoire par HOUACINE H. en février 2021, sur une profondeur P1H1 a donné les résultats suivants (Tableau 11) :

Tableau 11 : Analyse physico-chimique du sol de la station d'étude d'Oued Taria.

Elément en %	Valeur du P1H1	Valeur souhaitée
pH eau	8.90	6.5-7.5
Ced 1/5 (ds/m)	0.137	< 0.6
Matière Organique (%)	3.17	3-6
Caco3 total (%)	10.61	5-15
P2O5 (ppm)	40	80-120
N Total (%)	0.16	0.15-0.3
K2O (ppm)	221.75	100-180
CEC (meq/100g)	12.25	> 9

L'échantillon du sol analysé présente un pH fortement basique. La conductivité électrique (Ced 1/5) est très faible (Ced 1/5 inf. 0.6 dS/m, sol non salé). Le taux de calcaire est moyennement élevé. Le taux de matière organique (MO) est largement satisfaisant. Concernant les éléments fertilisants (Nt et P205), le taux d'azote (Nt) est bien pourvu et la teneur en phosphore assimilable (P205) est très faible.

2.2. Station d'étude 2 : Oliveraie d'Ain Fares

Cette 2^{ème} parcelle sur laquelle porte notre étude est une oliveraie située à Ain Fares à [35°28'47" N, 0°14'39" E] ; elle s'étend sur une superficie de 2,6 Ha. Le verger se compose de 165 arbres de deux variétés « Sigoise » et « Chemlal » âgés de plus de 50 ans et espacés les uns des autres de 8 mètres (Figure 26). Cette oliveraie s'élève à une altitude de 804 m et est caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers froids.

Les pratiques culturales et l'irrigation sont inexistantes ; le sol n'est pas travaillé, la taille n'est pas effectuée convenablement et aucun traitement phytosanitaire n'est réalisé ; ce qui favorise vraisemblablement l'installation des insectes ravageurs de l'olivier comme la mouche d'olive, et de la faune auxiliaire.

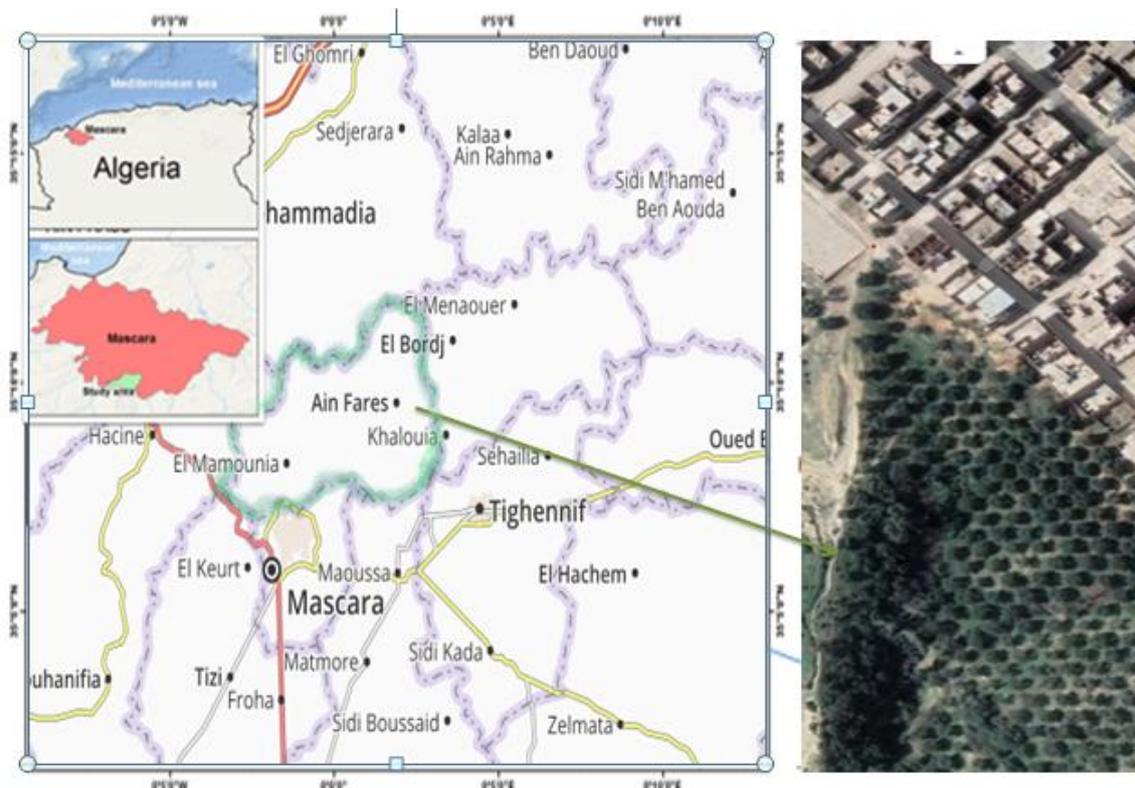


Figure 26 : Emplacement de l'oliveraie d'Ain Fares (Google Map, 2020)

Selon Morsli et *al.* (1988), les sols de cette station sont argilo-limoneux sur marnes (vertisols) et sablo-limoneux sur grès plus ou moins calcaires (sols rouges fersiallitiques, sols bruns calcaires plus ou moins vertiques et colluvions). Ils sont souvent carencés en matière organique, azote et phosphore assimilable. Les vertisols sont résistants à l'érosion, mais donnent lieu à beaucoup de ruissellement en période humide (ravinelements et glissements de terrain fréquents). Les sols rouges fersiallitiques, et bruns calcaires et colluviaux plus sableux sont plus sensibles à l'érosion en nappe, comme tous les sols pauvres en matières organiques et riches en limons et sables fins mal structurants. La végétation (étage Ouléolentisque) est très dégradée par le surpâturage.

CHAPITRE 2

ETUDE ENTOMOLOGIQUE D'*EUPHYLLURA OLIVINA*

Chapitre 2 :

Etude entomologique d'*Euphyllura olivina*

1. Identification et confirmation de l'espèce *Euphyllura olivina*

L'insecte Psylle de l'Olivier (*Euphyllura olivina*) est l'insecte sur lequel a été portée notre étude.

Notre choix s'est porté sur cet insecte pour les préjudices qu'il cause sur les oliveraies surtout dans notre région connue pour sa vocation oléicole. L'insecte est surtout nuisible à l'état larvaire en ponctionnant de la sève d'une part et d'autre part, favorisant l'apparition d'un champignon saprophyte (fumagine) suite à l'excrétion du miellat.

L'étude de la systématique, l'identification et la confirmation de ce ravageur repose sur:

- L'étude de la nervation alaire ;
- L'extraction de génitalia.

1.1. Etude de la nervation alaire

La préparation des ailes s'est faite comme suit :

- ✓ Extraction des ailes à leur base ;
- ✓ Nettoyage des ailes sur les deux faces avec un pinceau, noyées dans une goutte de benzène ;
- ✓ Mise en place entre lames et lamelles.

1.2. Extraction des génitalia

Après l'étude de la nervation alaire, l'identification et la confirmation certaine du genre et de l'espèce exige la dissection et la préparation microscopique des génitalia mâles et femelles.

Il est à rappeler que les génitalia sont les pièces sclérotinisées de l'appareil reproducteur mâle et femelle. Les extractions des génitalia sont des processus morphologiques de plus en plus utilisées en systématique, au niveau de l'espèce essentiellement et ils sont parfois les seuls critères possibles de détermination.

A partir d'échantillons collectés, un montage des genitalia a été réalisé au laboratoire de Recherche en Géo environnement et Développement des Espaces (LRGDE) de la Faculté SNV de l'Université de Mascara.

Les individus adultes (mâles et femelles) utilisés dans ce montage sont, soit récoltés directement sur terrain, soit provenant de leurs émergence au laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique (LRSBG).

Ces derniers ont été laissés vivre au moins 24 heures avant de les utiliser afin que leur chitine soit durcie et que leurs graisses soient complètement métabolisées.

Pour cette étude, il a été nécessaire de suivre les étapes suivantes, selon la méthode de CERAYON (1969) cité par TRAN VINH LIEM (1977) :

- ✓ L'abdomen est détaché, délicatement du reste du corps, à l'aide d'une paire d'épingle entomologique ;
- ✓ L'organe ainsi dégagé est placé dans une solution de potasse (KOH) à une concentration de 10 % ;
- ✓ L'ensemble est chauffé pendant 5 à 8 mn pour dégaissage ;
- ✓ Trois (3) lavages à l'eau distillée sont nécessaires pour neutraliser l'effet du KOH;
- ✓ Le contenu de l'abdomen est repoussé à l'extérieur, par l'extrémité antérieure, à l'aide du pinceau. Ces opérations sont effectuées dans l'éthanol à 30% ; quelquefois, un nouveau bain d'éthanol à 30% des parties macérées s'est avéré nécessaire, afin d'y voir clair et de compléter le nettoyage de l'abdomen et des génitalia. Plusieurs lavages sont ensuite nécessaires ;
- ✓ Pour monter les dissections, le baume du Canada est utilisé. Toutefois, les pièces disséquées sont trempées dans un bain de xylène avant le montage, pour assurer une bonne compatibilité chimique entre celles-ci et le baume.
- ✓ Enfin, l'observation sous microscope après montage entre lame et lamelle.

2. Dynamique des populations d'*Euphyllura olivina*

2.1. Sur le terrain

2.1.1. Matériel expérimental utilisé

Sur le terrain, nous avons utilisé le matériel suivant :

- ✓ Ruban adhésif en jaune pour marquer les arbres;
- ✓ Sécateur pour prélever les échantillons;
- ✓ Sachets en papier kraft pour récolter les échantillons;
- ✓ Pinceau fin pour récolter les individus visibles à l'œil nu ;
- ✓ Tubes Eppendorfs remplis d'éthanol dilué à 70% et étiquetés (date et lieu de prélèvement) pour séparer les insectes récoltés.

2.1.2. Méthodes d'étude

La méthode d'échantillonnage utilisée est celle suggérée et décrite par Fabres (1979), Biche et Sellami (2011) et Belguendouz-Benkhefha et Benrima (2015).

Notre travail d'échantillonnage et de comptage s'est étalé sur une période de plus d'une année à partir de décembre 2018 au mois de Mars 2020.

Chacune des deux oliveraies d'étude est divisée en 9 petites parcelles d'échantillonnages composées chacune de 25 arbres.

Les prélèvements sont effectués tous les 10 jours sur dix arbres de chaque parcelle pris aléatoirement. Le dénombrement des individus concerne aussi bien les prélèvements directs au sein de l'arbre ainsi que ceux récupérés des opérations de battages effectués sur les oliviers.

La méthode consiste à prélever 2 rameaux de 20 cm de long et 20 feuilles sur les arbres sélectionnés; ceci dans chaque direction cardinale (Nord, sud, est et ouest) plus le centre de l'arbre.

Les échantillons prélevés sont placés différemment et immédiatement dans des sachets en papier Kraft sur lesquels sont mentionnés toutes les coordonnées (date, direction, etc.).

Il est à noter que l'évolution phénologique (nombre de grappes florales, de fleurs et de fruits) des organes fixés et suivie par des observations durant la période d'étude et les dates de leur apparition ont été notées. Ces stades phénologiques ont été déterminés sur la base des stades phénologiques de l'olivier selon De Andrés (1977) et Colbrant et *al.* (1979).

2.2. Au laboratoire

2.2.1. Matériel expérimental utilisé

Au laboratoire nous avons travaillé avec le matériel suivant:

- ✓ Loupe binoculaire pour le tri, dénombrement et l'identification des insectes ;
- ✓ Boîtes Pétri pour le dénombrement des individus du psylle;
- ✓ Eppendorfs remplis d'éthanol dilué à 70% pour la conservation des espèces
- ✓ d'insectes et leur identification.

2.2.2. Méthodes d'étude

Les échantillons prélevés (rameaux et feuilles) sont acheminés au Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique (L.R.S.B.G) de la Faculté des Sciences de la Nature et de Vie de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara. A l'aide d'un pinceau, nous procédons tout d'abord à l'élimination de la cire sur les feuilles ; puis nous examinons minutieusement sous une loupe binoculaire les deux faces de la feuille ainsi que sur le rameau de chaque direction cardinale. De ces observations, sont notés sur des fiches, pour chaque stade biologique du psylle (œuf, larve et adulte), la date de la sortie, le numéro de l'arbre et la direction du prélèvement. Ainsi donc, pour chaque stade, nous quantifions le total des individus vivants afin d'apprécier l'état des infestations de l'insecte au cours du temps.

3. Analyses statistiques des données

Les résultats obtenus ont été testés par plusieurs analyses statistiques qui semblent être les plus adéquates pour ce type d'étude.

Les lots de données, différenciés selon le stade analysé, sont d'abord soumis à un test de normalité de manière à vérifier si la distribution de ces données suit une loi normale. Celles-ci sont considérées normales si la valeur de p est inférieure à la valeur α du test. Si les données ne sont pas normales, il n'est pas possible de réaliser correctement une analyse de la variance par une ANOVA (ANalysis Of VAriance) à un facteur, et un autre test, non paramétrique, est réalisé.

Pour ce faire, le test χ^2 a été réalisé à l'aide de la fonction `chisq.test` de l'environnement R (R Core Team, 2020). Des tests post hoc avec correction de Bonferroni ont été réalisés à l'aide du package `ffcr` (Fife, 2017). Le niveau de signification (α) a été fixé à 0,05 dans cette étude.

Échantillon = (2 brindilles+20 feuilles) * (4 orientations cardinales + centre de l'arbre)/ arbre).

CHAPITRE 3

ESSAI D'EFFICACITE DES CHAMPIGNONS ENTOMOPATHOGENES SUR LE PSYLLE DE L'OLIVIER

Chapitre 3 :

Essai d'efficacité des champignons entomopathogènes sur le psylle de l'olivier *E. olivina*

1. Introduction et objectif de l'étude

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'influence des champignons entomopathogènes à l'égard du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina*. Cette partie expérimentale est réalisée au niveau de deux laboratoires (Laboratoire de Recherche en Géo environnement et Développement des Espaces « LRGEDE » et 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.

Les essais d'efficacité concernent trois (3) champignons entomopathogènes :

- ✓ *Fusarium sp.*
- ✓ *Verticillium lecanii*.
- ✓ *Isaria fumosoroseus*.

Dans leur utilisation comme agent de lutte, la première étape consiste à trouver une souche de pathogène efficace. Pour cela, il a fallu les rechercher activement sur les insectes contaminés, ensuite, les identifier et les conserver correctement.

Pour ce faire, les deux premiers champignons entomopathogènes (*Fusarium sp* et *Verticillium lecanii*) ont été isolés et identifiés à partir des cadavres de ver blanc « *Geotrogus deserticola* » momifiés, en vérifiant leur pathogénicité sur les larves (L4 et L5) du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina*.

Le troisième champignon *Isaria 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. Etude mycologique

2.1. Isolement des champignons entomopathogènes

Les cadavres (Adultes et larves de ver blancs *Geotrogus deserticola*) (Figure 27), utilisés dans cet essai, ont été désinfectés à l'eau de javel à 2% pendant 5min, puis rincés trois fois dans l'eau distillée stérile. Séchés tout d'abord sur papier absorbant 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 (Inglis *et al.*, 2001). Les colonies obtenues sont purifiées puis identifiées morphologiquement.



Figure 27 : Cadavres de ver blancs *G. deserticola* (Adultes/larves) momifiés (originale)

2.2. Purification et conservation des isolats de 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 (Figure 28). 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.

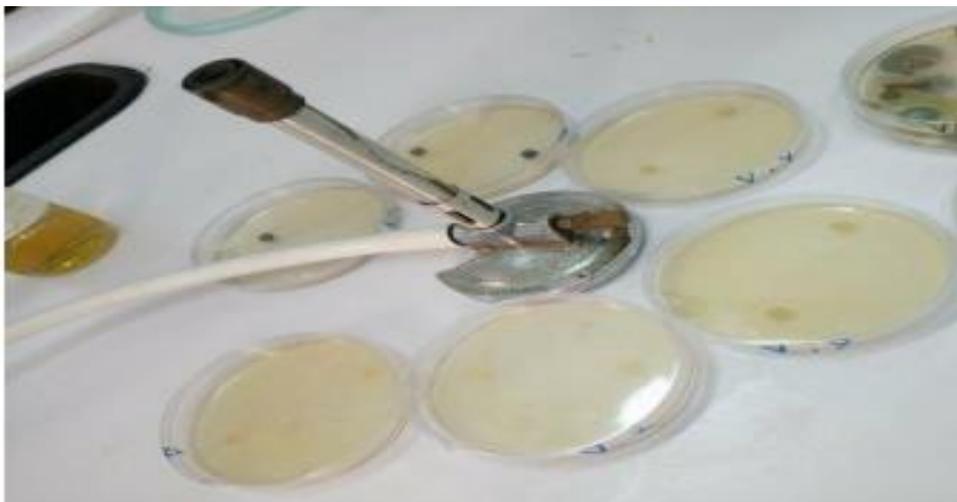


Figure 28 : Repiquage des isolats fongiques (originale)

2.3. Identification macroscopique et microscopiques des isolats obtenus

L'identification des champignons entomopathogènes a été basée sur des observations macroscopiques et microscopiques. Les caractères morphologiques et culturels 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 (Davidson *et al.*, 1996).

Pour l'identification de nos isolats, nous avons utilisé la clé de Keller (1987).

3. Caractérisations biologiques des isolats obtenus

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

Nous avons utilisés trois milieux de culture (PDA, Czapek et SDA); des boîtes coulées de milieux de cultures ont étéensemencées par des explants de 0.8 cm de diamètre des cultures de trois isolats de champignons entomopathogènes âgée 15 jours. Les explants sont placées au centre des boites de Pétri; puis ces boites sont incubées à 25° C. Trois répétitions sont réalisées pour chaque isolat. Les mesures du diamètre de colonie ont été faites tous les deux (2) jours après incubation jusqu' à une semaine.

La croissance mycélienne a été évaluée, chaque deux (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:

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

3.2. Effet des températures sur la croissance mycélienne

Une gamme de température, allant de 5 à 30°C, avec un intervalle de 5°C, a été utilisée afin de déterminer la température optimale pour la croissance mycélienne des isolats. Un explant de 0.8 cm de chaque isolat a été mis au centre des boites de pétri coulés de milieu PDA ajusté à un pH=6,5. Les boites ont été incubées à 25°C et à l'obscurité avec trois répétitions pour chaque isolat et chaque température. La croissance mycélienne a été évaluée par la formule citée précédemment.

3.3. Effet du pH sur la croissance mycélienne

Pour réaliser ce test, nous avons utilisé le milieu de PDA avec un pH modifié (4.5, 6.5, 8.5). Le pH de milieu a été ajusté par l'acide chlorhydrique ou le KOH. Chaque pH obtenu est contrôlé à l'aide d'un pH mètre pour une éventuelle correction.

Un explant mycélien de 0.8 mm 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.

4. Evaluation du taux de sporulation

La sporulation des isolats a été évaluée après 20 jours de culture. 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 ensuite, en utilisant une mousseline stérile. Par la suite, le nombre de conidies a été déterminé par utilisation de la cellule de Malassez sous un microscope optique (Aby, 2013).

5. Test de la viabilité

La germination des conidies a été évaluée sur le milieu PDA. Des boîtes de pétri coulées de PDA sont inoculés avec 0.1 ml de la suspension sporale avec la concentration 1×10^6 conidies / ml pour chaque isolat. Nous opérons alors un comptage du nombre de spores germées après 24h d'incubation à 25°C. Pour chaque traitement, 300 conidies ont été observées aléatoirement avec trois répétitions. La germination a été observée au microscope optique 40X (Ayala-Zermeño *et al.*, 2015).

6. Les bio-essais

6.1. Préparation de la suspension sporale

Nous avons procédé tout d'abord à un grattage des colonies âgées de 15 jours dans 0.01 % de tween 80 en plus de l'eau distillée. Les suspensions ainsi 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 préparée de chaque isolat par la méthode de suspension-dilution avec l'utilisation de la cellule de Malassez (Figure 29). Cinq (5) concentrations de 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 et 10^8 conidie/ ml ont été, en conséquence, préparées (Butt et Goettel, 2000).



Figure 29 : Préparation de l'inoculum (originale)

6.2. Le test de pathogénicité (bio-essai)

Les oliviers infestés du même âge, taille, forme, hauteur, vigueur et similaire en infestation ont été choisis. Sur chaque arbre, Cinq petites branches de 15 cm de long ont été prélevées au hasard dans chaque direction, dans les deux fermes (Ain Fares et Oued taria).

Les échantillons prélevés ont été placés dans des sachets de kraft et transférés au laboratoire pour vérifier la présence du quatrième et cinquième stade larvaire à l'aide du microscope binoculaire. Les branches infestées avec environ 30 larves de chaque stade ont été pulvérisées par différentes concentrations préparées précédemment.

Il est à signaler que cette technique est recommandée comme méthode standard de la détection et de mesure de la résistance des insectes aux insecticides et particulièrement pour mesurer la toxicité des champignons par contact et particulièrement pour mesurer la toxicité des champignons par contact (Butt *et al.*, 1995 ; Foster *et al.*, 2000)

Les branches ont été recouvertes avec des sacs en plastiques stériles afin de favoriser l'humidité puis placées dans des gobelets contenant un mélange d'eau et de miel à 3% (Figure 30). Le témoin a été traité par l'eau distillée stérile. Les branches ont été incubées dans des conditions de laboratoire à 25°C, 70 % d'humidité relative et une photopériode de 12 :12 h (L:D). La mortalité des insectes a été enregistrée après 3 jours, 5 jours et 7 jours. Le traitement a été répété au moins deux fois. Pour chaque concentration trois répétitions ont été réalisés (Gabarty *et al.*, 2014; Soliman *et al.*, 2020).

Les larves mortes sont transférées sur du papier filtre stérile imbibée d'eau distillée stérile, et ensuite placée en incubation à 25°C. Après l'apparition du mycélium sur les cadavres, les larves sont cultivés sur du PDA.

Afin de confirmer que la mortalité des larves est due à une infection des mêmes champignons entomopathogènes, des examens microscopiques ont été réalisés (Butt et Goettel, 2000).



Figure 30 : Test de pathogénicité (originale)

7. Méthodes d'analyse des données

Les données brutes récoltées durant nos expériences sont soumises à un post-traitement qui tient compte des éventuelles causes de mortalité.

7.1. 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.

Le comptage des larves de psylles (L4 et L5) mortes est réalisé tous les 24 heures et la mortalité observée est exprimée après correction par la formule d'Abbott (ABBOTT, 1925).

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

Avec :

- ✓ MC : Mortalité corrigée (%)
- ✓ Mt : mortalité sous traitement (%)
- ✓ Mc : mortalité en contrôle (%)

7.2. Détermination de la DL50

L'un des moyens d'estimer l'efficacité d'un produit est le calcul de la DL50 qui correspond à la quantité de substance toxique entraînant la mort de 50% d'individus d'un même lot. Elle est déduite par le tracé de la droite de régression mortalité / dose. De ce fait, les pourcentages de mortalité corrigés sont transformés en probit selon la méthode de **Finney (1952)**. Pour déterminer les LC et LT, une analyse log probit a été utilisée via le package R « ecotox » (Hlina *et al.*, 2019).

7.3. Analyse statistique des données (ANOVA)

La différence entre les traitements de taux de mortalité a été déterminée par l'analyse de la variance (ANOVA). La méthode de Tukey a été utilisée pour comparer les différences entre les traitements ($p < 0,05$) à l'aide du logiciel statistique SPSS 26.

CHAPITRE 4

ESSAI D'EFFICACITE DES CHAMPIGNONS ENTOMOPATHOGENES SUR LE PSYLLE DE L'OLIVIER

Chapitre 4 :

Effet biocide des huiles essentielles des plantes aromatiques sur le psylle de l'olivier *E. olivina*

1. Objectif de l'étude

Cette étude vise à tester l'effet insecticide des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques, en vue d'une éventuelle utilisation dans le domaine de la lutte biologique.

2. Matériel

2.1. Matériel entomologique

Le matériel biologique animal est représenté par *Euphyllura olivina* (Homoptera: Psyllidae), l'un des principaux ravageurs de l'olivier dans la région de Mascara.

Pour notre essai de la toxicité des huiles essentielles vis-à-vis d'*E. olivina*, nous avons utilisé des larves de psylle des stades L4 et L5 âgés de 2 jours au plus. Ces larves sont récoltés directement sur le terrain pendant nos sorties et ramenés au Laboratoire de Recherche Géoenvironnement et Développement des Espèces « LRGEDE » de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara.

2.2. Matériel végétale

Nos essais expérimentaux ont porté sur les parties aériennes (Feuilles) de trois espèces de plantes aromatiques et médicinales :

- ✓ *Le thym (Thymus vulgaris)*
- ✓ *L'Eucalyptus (Eucalyptus globulus).*
- ✓ *La Sarriette (Satureja calamintha nepeta).*

Ces trois espèces de plantes ont été choisies pour les raisons suivantes :

- Leur large utilisation en médecine traditionnelle (Préparation des tisanes et autres), pour le traitement de maladies et d'infection de nature microbienne ;
- Leur large répartition, comme ressources botaniques naturelles dans plusieurs régions du pays ;
- Le manque de travaux de recherche sur les propriétés biopesticides des huiles essentielles de ces espèces végétales.

3. Méthodes expérimentales

3.1. Traitement des échantillons

Les rameaux portant les feuilles des plantes aromatiques choisies ont été récoltées au mois d'Avril 2021 au niveau de la région de Mascara. Les feuilles et l'ensemble du matériel végétal, coupés en petites parties, ont été nettoyés et séchés au laboratoire à l'abri de la lumière dans un endroit bien aéré et à une température moyenne de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $75 \pm 5\%$ pendant une période de 07 à 20 jours selon l'espèce. Après le séchage, les échantillons (feuilles) ont été conservés dans des sacs en papier propres, avec les mentions du nom botanique et la date de récolte, jusqu'au moment de l'utilisation.

3.2. Méthodes d'extraction des Huiles Essentielles

L'obtention des huiles essentielles a été effectuée par hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger modifié (Figure 31).

❖ Mode opératoire

La méthode d'extraction appliquée consiste à introduire, pour chacune de nos trois (3) plantes testées (*Thymus vulgaris*, *Eucalyptus globulus* et *Satureja calamintha nepeta*), 100g de feuilles séchées et coupées grossièrement, dans un ballon en verre contenant une quantité suffisante d'eau distillée (500ml) pour recouvrir la matière végétale. Le mélange est porté à ébullition à l'aide d'un chauffe ballon pendant 3 à 4h.

Le mélange est porté à ébullition à l'aide d'un chauffe ballon, les vapeurs chargées d'huiles essentielles passent à travers le tube vertical puis dans le réfrigérant où aura lieu la condensation. Les gouttelettes ainsi produites s'accumulent dans le tube rempli au préalable d'eau distillée (Figure 31).

L'huile ainsi obtenue est récupérée puis traitée par un déshydratant, sulfate de sodium Na_2SO_4 , pour éliminer le peu de l'eau susceptible d'avoir été retenue dans l'huile.

❖ Conservation de l'extrait

L'extrait des plantes a été préservé dans des flacons en verre scellés et protégés avec du papier aluminium pour éviter toute dégradation des molécules par la lumière (Figure 31). Il est ensuite conservé dans le réfrigérateur (4°C) pour nos expériences de toxicité.

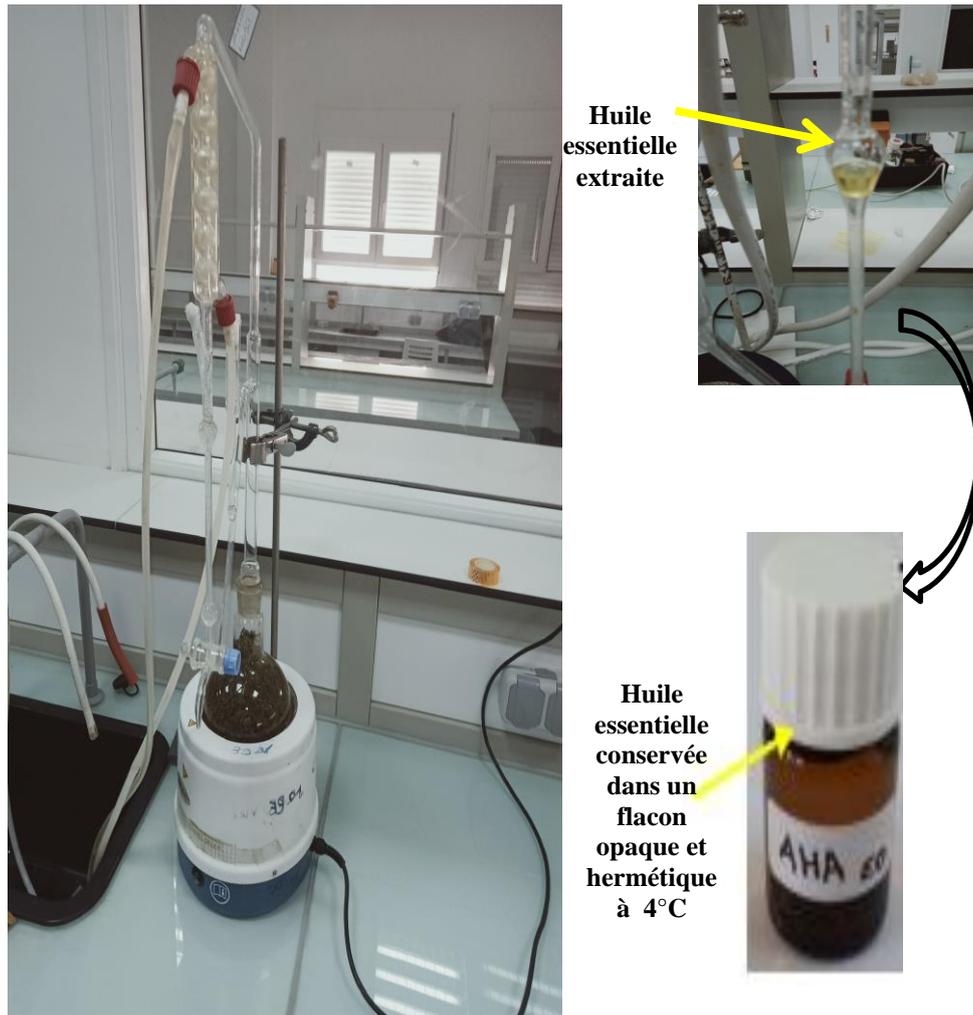


Figure 31 : Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation de type Clevenger (originale)

3.3. Détermination du rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport de la masse de l'huile essentielle et la masse du matériel végétale utilisé pendant l'extraction ; il est calculé selon la formule suivante (Bouguerra, 2012) :

$$\text{RHE} = \frac{\text{MHE}}{\text{MPS}} * 100$$

Avec

- RHE : Rendement en huile essentielle (%) ;
- MHE : Masse de l'huile essentielle obtenue (g) ;
- MPS : Masse de la plante sèche traitée (g).

3.4. Collecte et bio-test des insectes

Les insectes utilisés pour les essais biologiques ont été prélevés directement sur le terrain et n'ont pas été obtenu par l'élevage au laboratoire en raison de l'information réduite sur les facteurs nutritionnels et les exigences climatiques du cycle biologique de l'espèce.

Les oliviers infestés du même âge, taille, forme, hauteur et vigueur ont été choisis. Sur chaque arbre, cinq petites branches (15 cm de long) ont été prélevées au hasard dans chaque direction, dans les deux fermes (Ain Fares et Oued Taria) pour chaque intervalle d'échantillonnage. Les échantillons prélevés ont été placés dans des sachets en papier kraft et transférés au laboratoire pour compter les différents stades de cet insecte à l'aide d'une loupe binoculaire. Les branches portant les 4^{ème} et 5^{ème} stades larvaires ont été comptées, enregistrées et retenues. Les branches avec 10 larves (avec 3 répétitions), pour chaque stade larvaire retenu, ont été placées dans des gobelets contenant un mélange d'eau et de miel à 3%. Les larves d'*E. olivina* sont ensuite soumises à des expériences dans les conditions ambiantes de laboratoire durant toute la durée des tests :

- Température : à 26,7 °C ;
- Humidité Relative : à 70 % ;
- Photopériode (lumière naturelle (LN) : Alternance continue de jours longs (JL : 16 h/j de lumière; 16L:8N).

3.5. Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles

Afin de déterminer l'effet larvicide de l'huile essentielle obtenue à partir de *T. vulgaris*, *E. globulus* et *S. calamintha nepeta* contre les larves d'*E. olivina*, toutes les branches ont été examinées pour les 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire ont été comptées et enregistrées. Sur la base des résultats préliminaires, une gamme de doses volumiques de 0.015µl, 0.025µl, 0.05µl, 0.1µl, 0.15µl, 0.25µl, 0.5µ, 0.7µl, 1µl, 2µl a été formulée en utilisant 50 % d'huile essentielle comme ingrédient actif, 30% de solvant (éthanol) comme stabilisant et 20% de Tween 80 comme émulsifiant. La formulation témoin (T₀) était constituée de 50 % d'eau distillée, 30 % d'éthanol et 20 % de Tween 80 et a été utilisée comme témoin dans les mêmes conditions. Chaque échantillon a été répliqué trois fois à chaque dose. Les branches infestées avec environ 30 larves de chaque stade ont été pulvérisées avec différentes concentrations. Afin d'étudier la toxicité des huiles essentielles formulées, extraites des trois plantes à savoir l'Eucalyptus, le Thym et la Sarriette, nous avons pulvérisé les rameaux portant les larves comme décrit précédemment, par les traitements formulés avec leurs différentes doses retenues (Figure 32).

Les doses préparées ont été pulvérisées sur les larves de chaque branche. Les branches ont été conservées dans des conditions de laboratoire à 25 °C, 70 % d'humidité relative et une photopériode de 12 :12 h (L : D). Cinq (05) répétitions ont été réalisées pour chaque dilution ainsi que pour le témoin, la mortalité des insectes est relevée d'une manière régulière après une période de contact de 24h ; 48h et 72.



Figure 32 : L'effet insecticide des huiles essentielles sur le 4^{ème} et le 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina* (originale)

3.6. Chromatographie en phase gazeuse/Spectrométrie de masse (GC/MS)

Le but du présent travail est de mettre en pratique quelques applications de la GC-MS par l'analyse des huiles essentielles de trois plantes choisies pour leur intérêt et essai de leur effet biocide sur le psylle de l'olivier *E. olivina* qui sont: le thym (*Thymus vulgaris*, l'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) et la Sarriette (*Satureja calamintha nepeta*). Cette technique de chromatographie en phase gazeuse spectrométrie de masse (GC-MS) permet donc de connaître très exactement la composition chimique des huiles essentielles et de rechercher d'éventuelles traces des produits indésirables tels des pesticides ou des produits chimiques ajoutés.

Pour ce faire, un volume de 1 µL de chaque échantillon, dissous dans CH₂C₁₂ (1:100 v/v) polaire, a été injecté.

Abondances relatives d'HE : Les composants de type ont été déterminés par GC au moyen d'un chromatographe en phase gazeuse (GCMS TQ 8030, USA) équipé d'un ioniseur de flamme détecteur (FID) à l'aide d'un HP-5 (phénylméthyl siloxane, 30 m × 0.32mm ID × 0,25 µm df) colonne capillaire.

L'hélium a été utilisé comme gaz vecteur, et la tension d'ionisation appliquée était de 70 eV, gamme de masse m/z 40-400 Da. L'azote était utilisé comme étalon interne.

Programme de température : Température initiale 60 °C (8 min), 60 °C à 260 °C avec une rampe de (5 °C/min), le mode split était de 1:1500. La température de l'injecteur était de 230°C et les composés ont été identifiés par comparaison à la norme NF ISO 4731.

Identification qualitative des différents terpènes : était basée sur une comparaison de leurs temps de rétention aux n-alcanes, par rapport aux temps publiés données et confirmées par chromatographie avec des données authentiques échantillons.

3.7. Méthodes d'analyse des données

3.7.1. Estimation de la mortalité corrigée

L'évaluation de l'effet toxique des traitements biologiques a été estimée par l'évaluation des taux de la mortalité corrigée (MC%). En effet, le nombre d'individus morts dans une population traitée par une substance toxique n'est pas le nombre réel d'individus tués par cette substance. Il existe dans toute population une mortalité naturelle qui s'ajoute à la mortalité provoquée par la substance appliquée. Les pourcentages de mortalité doivent être corrigés par la formule d'Abbott (Abbott, 1925).

$$MC\% = (M - Mt * 100) / (100 - Mt)$$

Avec :

- ✓ MC: la mortalité corrigée
- ✓ M: pourcentage de morts dans la population traitée
- ✓ Mt: pourcentage de morts dans la population témoin

3.7.2. Analyse statistique des données (ANOVA)

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SAS 9. Les différences entre les traitements ont été détectées par analyse de variance (ANOVA). Les valeurs $p < 0,05$ ont été considérées comme significatives. Les comparaisons multiples (deux-deux) des moyennes entre les différents extraits de plantes ont été réalisées à l'aide du test de Tukey des différences les moins significatives (LSD).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE 1
ETUDE ENTOMOLOGIQUE
*D'**Euphyllura olivina***

Chapitre 1 :

Etude entomologique d'*Euphyllura olivina*

Euphyllura olivina, ravageur commun dans tous les pays méditerranéens, ou il est inféodé à l'olivier (*Olea europea*) a été décrit pour la première fois par O. G. COSTA (1839), sous le nom de *Thrips olivina*. Plusieurs synonymes ont été successivement données : *Psylla oleae* (BOVER DE FONS-COLOMBE, 1840); *Euphyllura oleae* (FOERSTER, 1848); *Psytla olivina*, (A. COSTA, 1877).

Les travaux traitant de la morphologie et de la systématique de cet insecte sont nombreuses. Pour éviter toute confusion avec des espèces voisines d'intérêts agronomiques appartenant à la même famille, il nous a paru nécessaire d'étudier au préalable la nervation alaire et l'extraction des génitalia.

1. Identification et confirmation d'*Euphyllura olivina*

L'étude de la systématique et l'identification de ce ravageur repose sur :

- L'étude de la nervation alaire ;
- L'extraction des génitalia.

1.1. L'Etude de la nervation alaire

Les observations montrent que :

- ✓ Les ailes antérieures sont membraneuses, de couleur jaune paille, translucides, deux fois plus longues que larges (2 à 2,2 mm de longueur ; de 4 à 1,1 mm de largeur chez la femelle). Elles sont de forme rectangulaire et arrondies dans leur partie postérieure. Elles présentent également deux taches noires, la première située à l'apex de la branche proximale de la Cu 1 et la deuxième près de la bifurcation de la médiane et de la cubitale.

- ✓ Les ailes postérieures sont transparentes, fines et de taille plus réduite. Elles ont une nervation du même type que celle des ailes antérieures, mais plus simple et moins prononcée.

La nervation (Figure 33) présentée ci-dessous concerne celle des ailes antérieures. Nos observations montrent :

- ✓ La fusion de la nervure *costale* (*C*) à la *sous-costale* (*S/C*) ;
- ✓ Les nervures *Radiale* (*R*), *Médiane* (*M*) et *Cubitale* (*Cu*) partent d'un tronc commun qui parcourt environ le 1/5 cinquième de l'aile ;
- ✓ Même lorsqu'on isole la *Radiale*, la *Médiane* et *Cubitale* restent encore fusionnées, ce qui est caractéristique de la famille ;
- ✓ La nervure *Radiale* se divise en deux : La *R* 2-3 et la *R* 4-5. La première envoie des prolongements secondaires jusqu'au bord supérieur de l'aile, alors que la *R* 4-5 est entière ;
- ✓ La nervure *Médiane* se divise en deux branches : *M* 1+2 et *M* 3+4 ;
- ✓ La première *Cubitale* se bifurque elle aussi en deux petites nervures : *Cu* 1 a et *Cu* 1 b.
- ✓ Dans la région basale coté postérieur, nous observons une deuxième cubitale (*Cu* 2) et un peu plus bas l'anale (*A* 1).



Echelle : 70/1

Figure 33 : Aile antérieure d'*Euphyllura olivina* (Originale)

A:Anale; C : Costale; Cu:Cubitale; M:Médiane; R : Radiale; SC: Sous costale

1.2. Extraction des génitalia

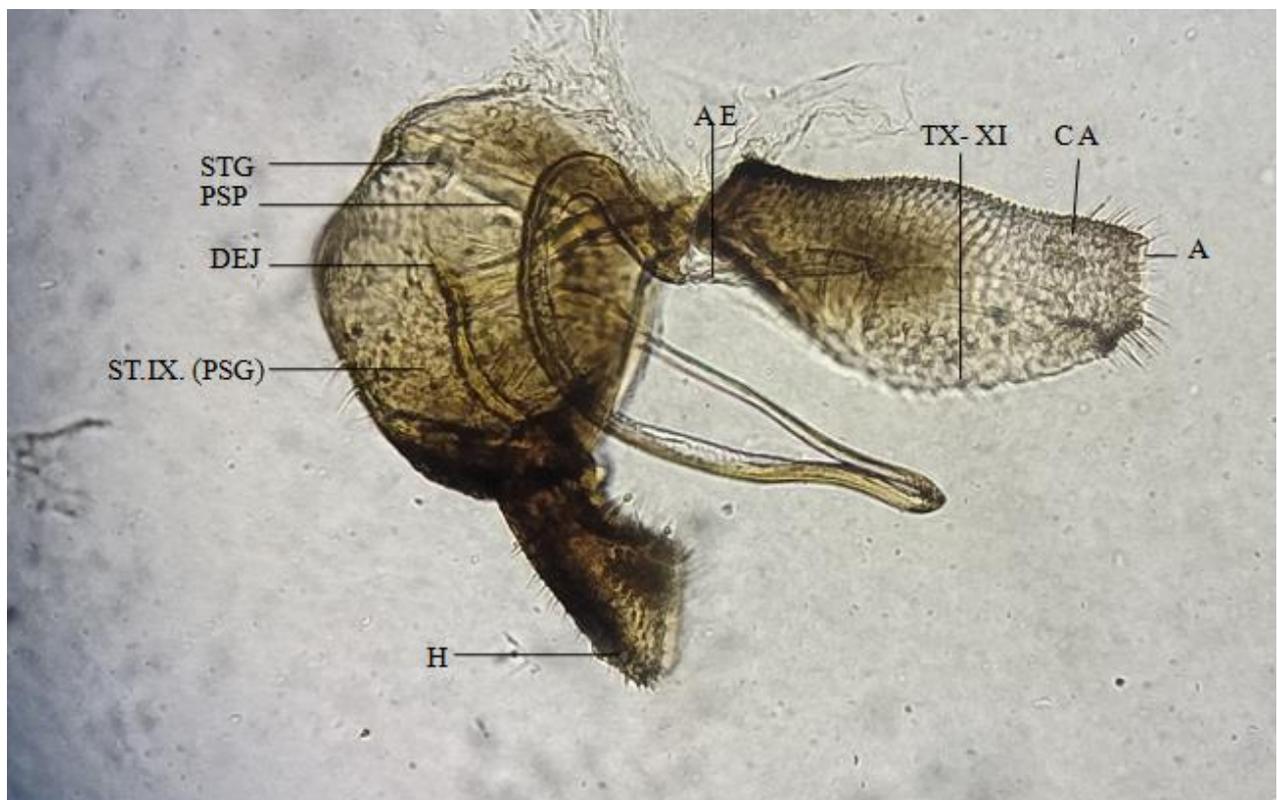
Etant donné la réduction des premières plaques antérieures qui font partie intégrante du métathorax, la plupart des auteurs qui ont étudié la morphologie des segments abdominaux chez les *Psylloïdea* ne sont pas tombés d'accord sur la numérotation de ces segments qui reste d'ailleurs difficile à établir. Ceci a été possible grâce aux travaux antérieurs notamment ceux de Chermiti (1983), Arambourg (1984) et Chermiti & Arambourg (1986).

1.2.1. Complexe génito-anal mâle

Il est formé dorsalement par le cône anal et centralement par la plaque sous-génitale (Figure 34). Selon Zucht (1972), le cône anal résulte de la soudure des tergites 10 et 11 ; le neuvième tergite étant représenté, selon Grasse (1979) in Chermiti (1983), par la marge antérieure du cône anal renforcé en demi-cercle. Cet ensemble de segments est concave dans sa partie postérieure ou débouche l'anus.

La plaque sous-génitale représente le neuvième sternite, creusé en auge sur sa face interne. Son bord antérieur est renforcé et sa marge postéro-latérale porte une paire de grands appendices mobiles appelés harpagones par Gothe (1975). Ces appendices sont en forme d'ailette et garnis de poils fins sur leur partie postérieure.

L'*aedeagus* ou pénis se compose de deux pièces allongées, la pièce distale un peu plus courte que la précédente se replie sur elle au repos. La partie proximale de l'*aedeagus* est recourbée, elle reçoit le *ductus ejaculatorius* en provenance de la pompe spermatique qui est située au niveau du septième sternite (Figure 34).



Echelle : 70/1

Figure 34 : Complexe génito-anal mâle d'*Euphyllura olivina* (Originale)

A : Anus; CA: Cone anal ; H : Harpagone ; AE : Aedeagus (Penis) ; STG: Stigmate,
ST.IX. (PSG): Sternite 9(Plaque sous-génitale) ; TX- XI : Ter0gite 10-11 ;
DEJ : Ductus ejaculatorius (Canal éjaculateur); PSP : Pompe spermatique.

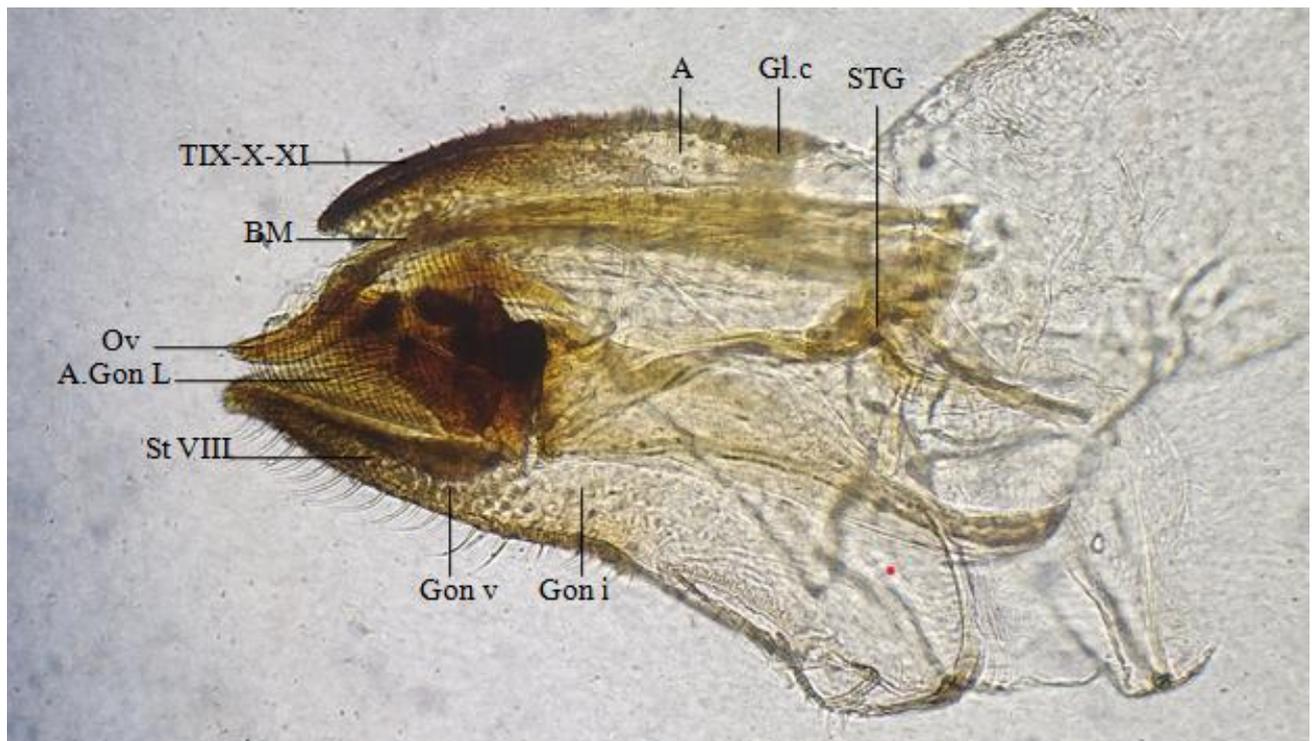
1.2.2. Complexe génito-anal femelle

Lors de notre manipulation, il a été difficile de faire apparaître la bourse copulatrice ; le canal copulateur de cette dernière est indépendant de la bourse copulatrice.

La figure 35 montre que le canal copulateur est constitué d'une grande plaque dorsale qui se termine en pointe. Cette plaque correspond à la soudure du tergite 9, aux segments 10 et 11. Il apparaît aussi que toute trace du tergite 8 a disparu.

Ventralement, le complexe génito-anal femelle est présenté par une large plaque relevée sur les bords appelée plaque sous-génitale et qui semble correspondre au sternite 8 et qui abrite la base des valves de l'ovipositeur. Ce dernier est formé de trois (3) paires de gonapophyses (GON.V): Gonapophyses internes ventrales et latérales (Figure 35).

Les tergites TIX-X-XI (Neuvième, Dixième et Onzième) forment la plaque anale ou plaque dorsale qui montre une aire membraneuse qui est limitée par une double rangée formée par les orifices des glandes cirières (GL.C) et d'une série de poils assez fins. L'anus apparaît bien dans la partie antérieure de l'aire membraneuse. Les deux plaques sont garnies de poils sensoriels (Figure 35).



Echelle : 70/1

Figure 35 : Complexe génito-anal femelle d'*Euphyllura olivina* (Originale)

A:Anus, A.GON.L: Ailes des gonapophyses latérales ; BM:Baguette médiane ;
 GON.i.:gonapophyses internes ;GON.V.:gonapophyses ventrales ; GL.C : Glandes cirières ;
 Ov : Oviscapte ; St VIII. : Huitième sternite (plaque sous-génitale) ;
 STG:Stigmatæ ; TIX-X-XI : Neuvième, Dixième et Onzième tergite (plaque anale).

Nous pouvons ainsi conclure que ces travaux de systématique et d'identification qui ont concerné l'observation des ailes et le montage des génitalia des adultes (mâle et femelle), sous microscope entre lame et lamelle, ont permis de confirmer qu'il s'agit bien de l'espèce *E. olivina*. Nos résultats corroborent parfaitement plusieurs travaux antérieurs notamment ceux de : Chermiti, 1983 ; Trjapitzin & Doğanlar, 1997 ; Aposhveli & Noyes, 2005 ; Triapitsyn *et al.*, 2014.

2. Dynamique des populations d'*E. olivina*

2.1. Dynamique globale des populations d'*Euphyllura olivina*

Les résultats de la dynamique des populations sont obtenus durant une année (Mars 2019 à Mars 2020).

Les résultats de la fluctuation annuelle d'*Euphyllura olivina* sont présentés dans la Figure 36. Les pics les plus importants ont été enregistrés au printemps dans les deux oliveraies d'étude.

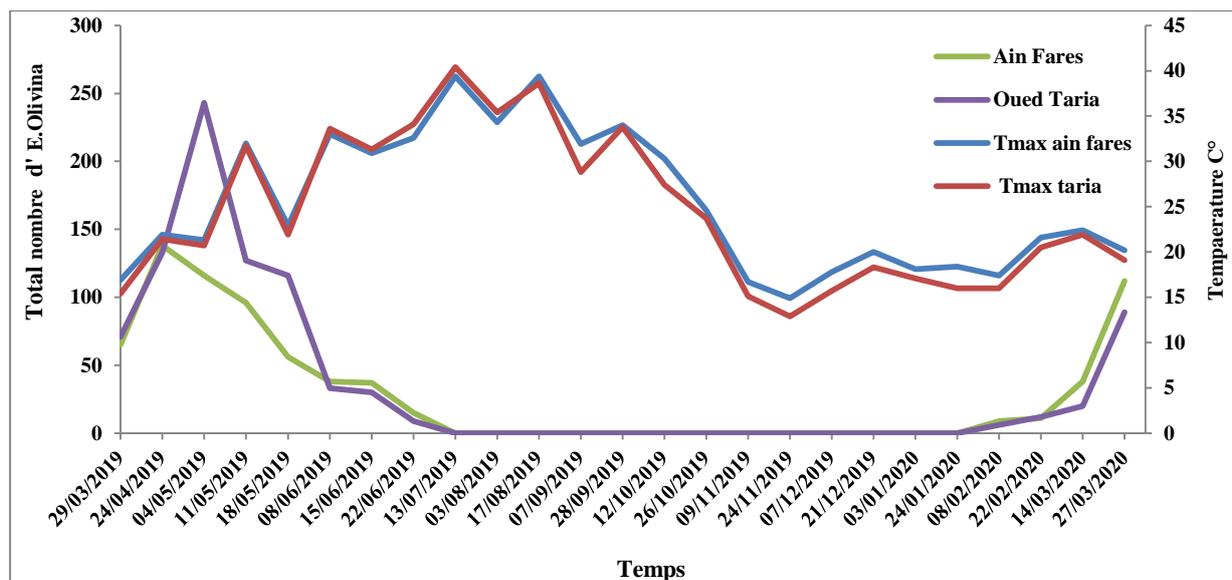


Figure 36: Fluctuation de la population globale d'*E. olivina* sur l'olivier à Ain fares et Oued taria du Mars 2019 au Mars 2020 dans la région de Mascara

Il nous a été permis de constater une absence des individus du psylle sur les premiers échantillonnages. L'infestation par le psylle de l'olivier et l'évolution de sa population a été enregistrée à partir du 29/03/2019 avec de faibles abondances. Les adultes observés lors de ces premiers comptages proviennent vraisemblablement de l'émission des larves de la saison hivernale.

Cette fluctuation s'est poursuivie jusqu'au 22/06/2019 avec une augmentation des effectifs qui fût notée pour atteindre son maximum (premier pic) à la fin du mois d'Avril (26/04/2019) (253 individus) pour l'oliveraie d'Ain Fares et le début du mois de mai (04/05/2019) (284 individus) dans la station d'Oued Taria. Le second, malgré peu important, est enregistré au cours du mois de juin où un pic est observé avec 86 individus pour la station 1 et 91 individus pour la station 2.

Néanmoins, on peut signaler que cette génération est tardive. Une chute brusque des populations de psylle est constatée par la suite dans les deux stations où l'on enregistre les plus bas niveaux au mois de juillet : 9 pour la station 1 et 6 pour la station 2.

Les résultats montrent que l'oliveraie d'Oued Taria était plus infestée qu'à Ain Fares. Ceci est vraisemblablement aux variations géographiques et climatiques.

L'examen de cette courbe (Figure 36) montre clairement qu'*E. olivina* développe deux générations durant cette période d'activité de l'insecte et la période printanière semble la plus favorable au développement du psylle de l'olivier. Cela coïncide vraisemblablement avec le réveil végétatif de la plante et le déclenchement de la poussée de sève printanière.

La première génération à Oued Taria est apparue un peu plus tard qu'à Ain Fares. Ceci est lié, fort probablement, aux conditions écologiques telles que les conditions nutritionnelles et climatiques locales.

La première génération d'Ain Fares a débuté en mars, coïncidant avec la première poussée de sève, et s'est terminée au début juin, tandis que la deuxième génération s'est déclenchée en début juin et a pris fin en juillet.

A Oued Taria, et comparativement à la station Ain Fares, la première génération a pris naissance à la fin du mois de mars et s'est terminée au début juin ; tandis que la deuxième génération était de courte durée (début juin au début juillet). Cela semble corroboré avec les travaux de Kaplan et Alaserhat (2019) qui ont prouvé l'existence d'une relation étroite entre l'écologie d'*Euphyllura*, la phénologie des plantes et les conditions climatiques.

2.2. Répartition spatiale des différents stades de vie d'*E. olivina*

Selon l'orientation de l'arbre et dans les deux sites d'étude, une différence significative dans l'évolution des populations du psylle de l'olivier *E. olivina* est enregistrée (Tableau 12 ; Figures 37, 38).

Tableau 12 : Nombre de psylle de l'olivier/arbre enregistré dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria selon les orientations cardinales au cours de la période 2019/2020.

	L1	L2	L3	L4	L5	FEMELLE ADULTE	MALE ADULTE	OEUFS	Pvalue	chisq.test
Ain Fares										
Sud	11a	15ab	21ab	9a	9a	35bc	6a	62c	<0.0001	Chi2=120.28df=7
Nord	3a	9abc	30d	20bcd	7abc	23bd	5ac	63e	<0.0001	Chi2=138.1 df=7
Est	8ab	19ab	22a	7ab	5b	16ab	7ab	53c	<0.0001	Chi2=102.24df=7
Ouest	3a	15ab	20b	8ab	11ab	13ab	3a	20b	<0.0001	Chi2=27.17df=7
Centre	9ab	15ab	24a	24a	10ab	24a	5b	62c	<0.0001	Chi2=104.59df=7
Oued Taria										
Sud	13ab	33acd	40cd	25abc	16ab	56de	10b	89e	<0.0001	Chi2=140.58df=7
Nord	8ab	17ab	22a	10ab	4b	15ab	5b	54c	<0.0001	Chi2=109.08df=7
Est	7ab	18ab	21a	16ab	22a	20a	4b	59c	<0.0001	Chi2=94.12df=7
Ouest	0a	14bc	21b	17b	1a	14bc	3ac	33b	<0.0001	Chi2=47.94 df=6
Centre	9a	24ab	25ab	12a	11a	34b	8a	79c	<0.0001	Chi2=154.75df=7

L'analyse statistique montre que le nombre cumulé dans la même ligne avec des lettres différentes diffère significativement à une valeur $P \leq 0,05$ (tests de différences significatives entre toutes les paires utilisant le test χ^2 ; NS, non significatif à une valeur $P \geq 0,05$).

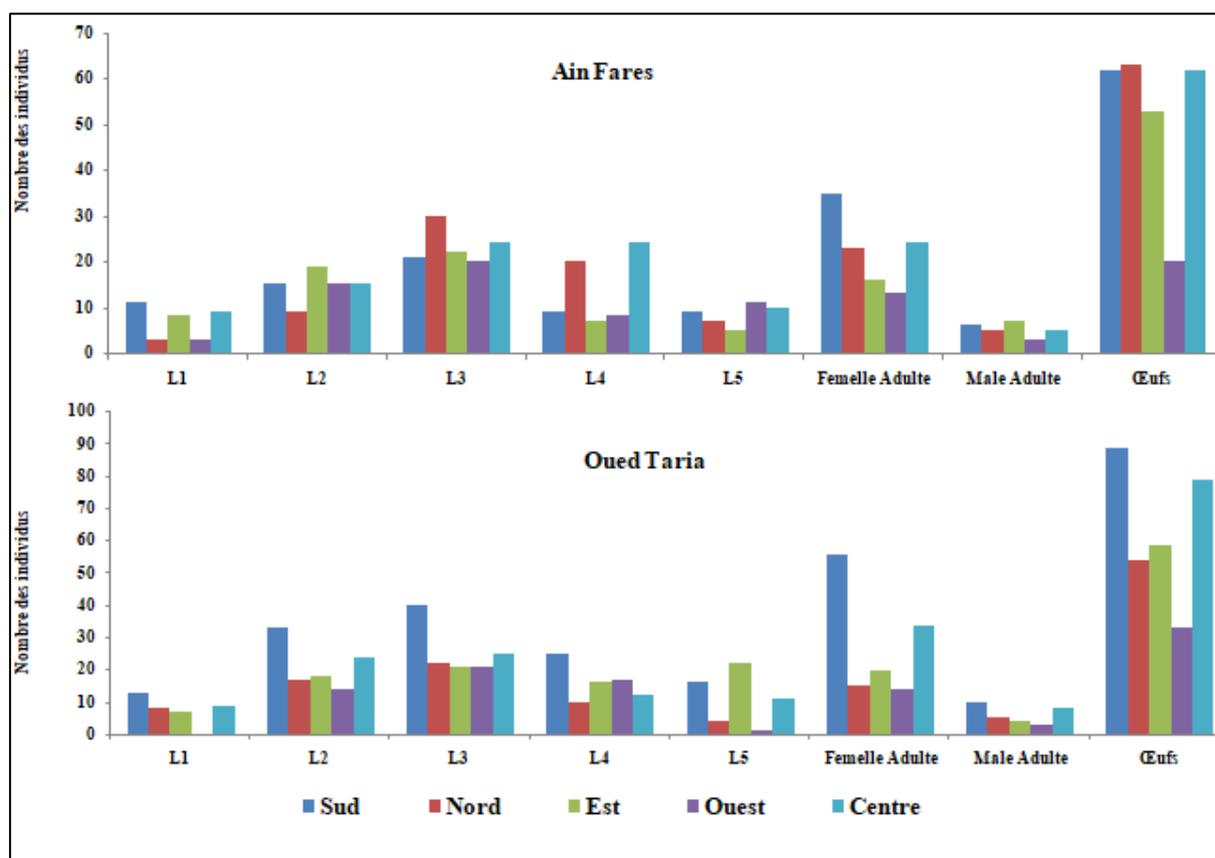


Figure 37 : Répartition des populations du psylle de l'olivier d'*E. olivina* dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria selon les orientations cardinales

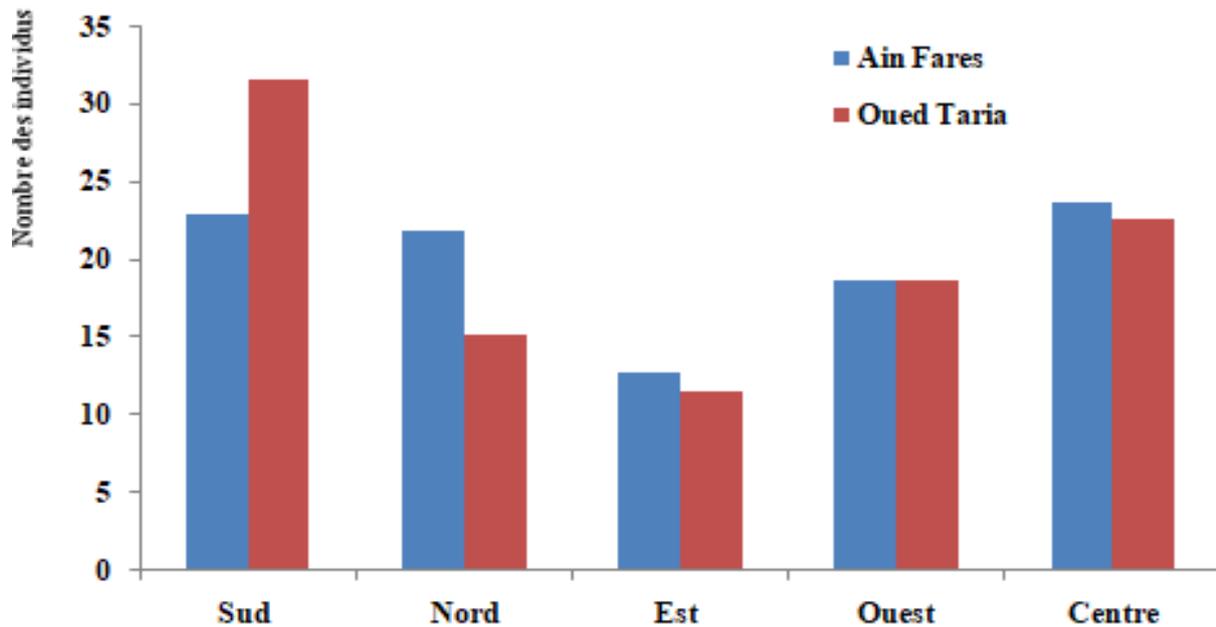


Figure 38 : La distribution cardinale des populations d'*E. olivina* dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria

2.2.1. Répartition spatiale des différents stades d'*E. olivina* dans la station Ain Fares

L'abondance des différents stades de développement (œufs, L1, L2, L3, L4, L5, femelle et mâle) selon l'orientation était significativement différente ($\chi^2 = 49,53$, $df = 28$, $P = 0,0073$) à l'oliveraie d'AinFares (Figure 37).

❖ Evolution des œufs

Les œufs étaient présents en grand nombre sur les points cardinaux Nord, Sud et Centre, avec 63 œufs/échantillon pour chaque orientation. De plus, les orientations Est et Ouest présentaient des nombres d'œufs inférieurs, avec respectivement 53 et 20 œufs.

❖ Evolution des larves

Le premier stade larvaire (L1) était présent avec une moyenne de 11 et 9 larves/échantillon respectivement dans le Sud et le Centre.

Le deuxième stade larvaire (L2) a montré les nombres les plus élevés pour l'orientation Est, avec une moyenne de 19 larves/échantillon et 16 larves/échantillon dans le Sud.

Au troisième stade larvaire (L3), nous avons noté un effectif élevé d'individus du côté Nord, avec une moyenne de 30 individus par échantillon.

Pour le quatrième stade larvaire (L4), nous avons observé que les directions Centre et Nord montraient le plus grand dénombrement de larves, avec une moyenne de 24 larves/échantillon et 20 larves/échantillon, respectivement.

Les effectifs du dernier stade larvaire (L5) ont montré des moyennes respectives de 11 et 10 larves par échantillon dans les directions Ouest et Centre.

❖ Evolution des adultes

Pour les femelles et les mâles adultes, les moyennes étaient les plus élevées principalement dans le sud, avec respectivement 35 femelles adultes par échantillon et 7 adultes mâles par échantillon (Figure 37).

2.2.2. Répartition spatiale des différents stades d'*E. olivina* dans la station Oued Taria

Le test de Pearson's χ^2 a montré un lien entre l'abondance des différents stades de développement et l'orientation cardinale de l'oliveraie d'Oued Taria ($\chi^2 = 50,2105$, $df = 28$, $P = 0,00613$).

❖ Evolution des œufs

Nous avons noté que le nombre d'œufs était le plus élevé du côté Sud et au Centre de l'arbre, avec un taux de 89 œufs/échantillon. Par contre, la direction Nord a enregistré environ 54 œufs/échantillon et seulement 33 œufs/échantillon dans l'orientation Ouest.

❖ Evolution des larves

Le premier stade larvaire (L1) présentait 13 larves/échantillon au sud et 9 au Centre de l'arbre. Pour le deuxième stade larvaire (L2), les nombres les plus élevés ont été enregistrés dans la direction Sud avec une moyenne de 33 larves, suivies par les individus comptés au Centre avec 24 larves/échantillon. Quant au troisième stade larvaire (L3), une moyenne de 40 larves par échantillon avait été dénombrée du côté Sud. D'autre part, une incidence de 25 larves/échantillon a été notée pour le quatrième stade larvaire (L4) dans l'orientation Sud de l'arbre. Enfin, il a été démontré que, pour le dernier stade larvaire (L5), les directions Est et Sud étaient plus infectées par les larves, avec respectivement 22 et 16 larves/échantillon.

❖ Evolution des adultes

Concernant les effectifs des adultes, femelles et mâles, les moyennes étaient les plus élevées principalement dans le sud, avec respectivement 35 femelles adultes par échantillon et 7 adultes mâles par échantillon (Figure 38).

Globalement, on peut donc déduire des résultats consignés dans le tableau 12 et illustrés par les figures 37 et 38 que le nombre cumulé des stades de vie du psylle de l'olivier *E. olivina* selon l'orientation au cours de la saison 2019, soulignent des relations positives entre les stades du psylle, les infestations et les orientations. En effet, les individus des stades L2 et L3 étaient plus dominants selon l'orientation, alors que le nombre de femelles adultes était plus élevé dans les côtés Sud, Nord et Est.

Par contre, les effectifs d'œufs pondus étaient très importants dans toutes les orientations. Le tableau 12 montre également qu'il existe une relation entre la répartition des stades larvaires selon l'orientation au cours de la saison 2019/2020. Le nombre d'œufs était le plus haut dans la direction Sud, Centre, Est et Nord avec 89, 79, 59 et 54 œufs/échantillon, respectivement. En revanche, les chiffres des œufs déposés dans la position Ouest étaient les plus bas. On peut donc en déduire qu'il y a donc une différence significative entre le nombre d'œufs pondus et l'orientation.

Pour le premier et deuxième stade larvaire, les orientations Sud et le Nord ont cumulé les nombres les plus supérieurs, avec respectivement 13, 33, 8 et 17 larves/échantillon. En outre, la distribution la plus haute du troisième, quatrième et cinquième stade était dans la direction Sud, Nord et Centre. On peut ainsi retenir une nette différence entre les stades larvaires et les orientations.

3. Distribution mensuelle et saisonnière

Les résultats illustrés dans la figure 33 montrent qu'*Euphyllura olivina* semble être sous la dépendance des conditions climatiques qu'offrent les saisons.

Le taux de population du psylle collecté différait entre les deux fermes, ainsi que selon la saison et le mois (Figures 39 et 40). Peu ou pas de psylles ont été collectés en hiver et en été (Figure 39).

Par contre, au printemps 2019 et 2020, un grand nombre de psylles ont été ramassés sur les deux sites d'étude (Figure 40) et les populations ont culminé au mois de Mai.

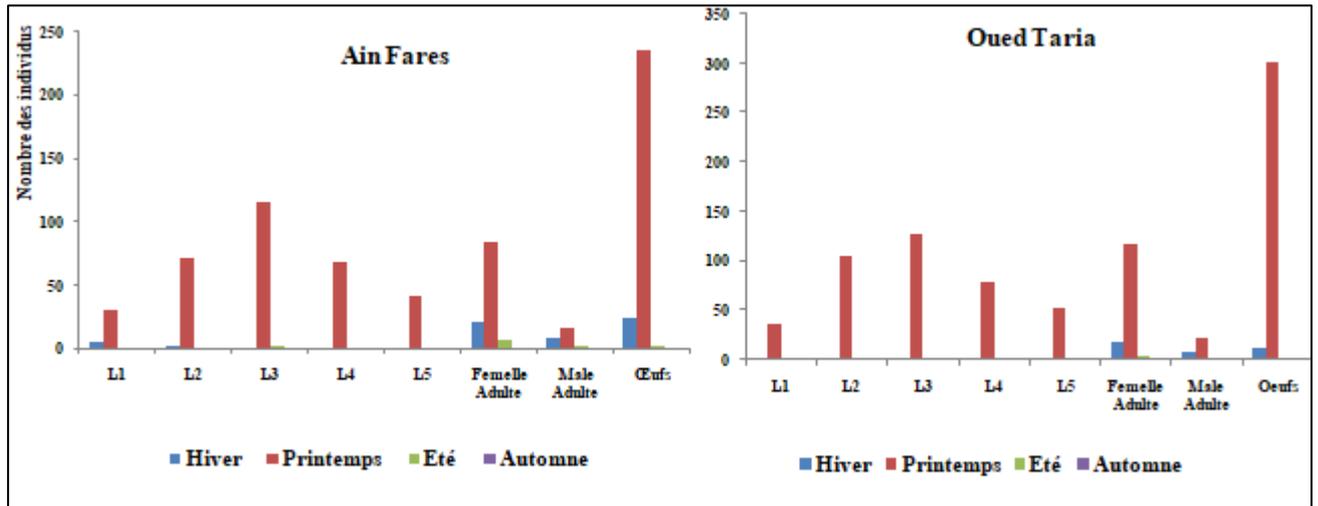


Figure 39: Abondance saisonnière des différents stades de développement d'*E. olivina* dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria

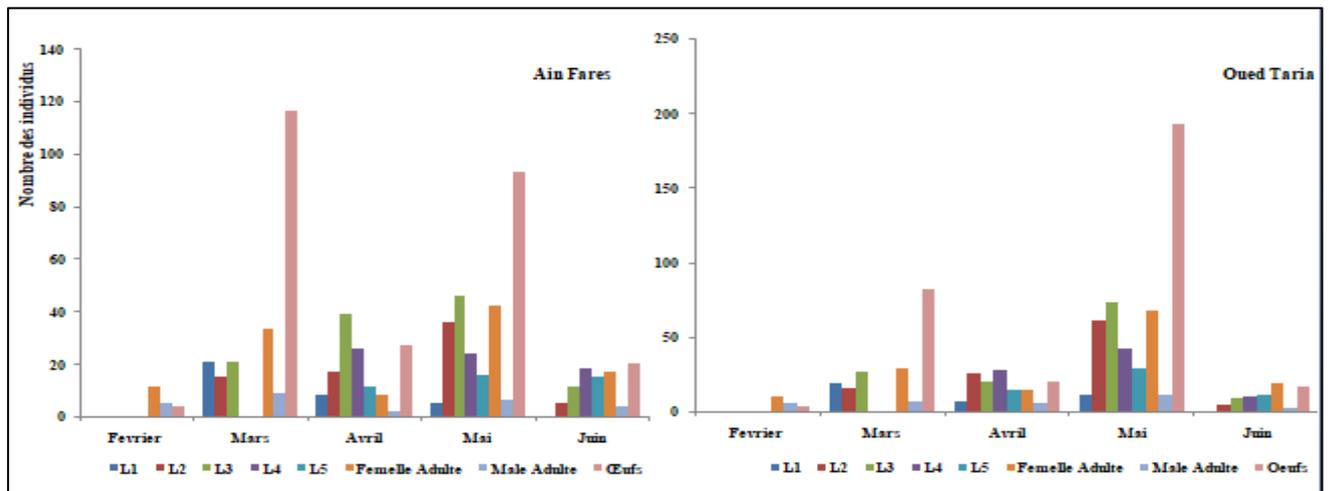


Figure 40: Evolution mensuelle des différents stades de développements d'*E. olivina* dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria

Le test du chi carré de Pearson (χ^2) a montré qu'il existe un lien entre la présence des différents stades du psylle (L1, L2, L3, L4, L5, femelle, mâle et œufs) et la saison d'échantillonnage ($\chi^2 = 81,0207$, $df = 14$, $P = 0$). En effet, l'abondance mensuelle et l'évolution de tous les stades des psylles étaient significativement différentes dans les deux zones d'étude.

Le test χ^2 a prouvé l'existence d'une relation entre le niveau de population et les mois (Ain Fares : $\chi^2 = 229,37$, $df = 28$, $P < 0,001$). A Oued Taria, une différence significative a été notée entre le stade de vie du psylle et la saison ($\chi^2 = 80,0128$, $df = 14$, $P = 0$).

Dans le même contexte, une différence significative a été observée entre les différents stades et les mois ($\chi^2 = 196,69$, $df = 28$, $P = 0$). Dans la station d'Ain Fares, les résultats présentés dans les tableaux 12 et 13 ont montré que tout au long de la saison 2019, l'activité saisonnière de vol d'*E. olivina* a démarré en fin février et a continué son activité tout au long de la saison jusqu'à fin juin 2019.

Tableau 13 : Nombre cumulé de psylles de l'olivier/arbre enregistré dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria selon la saison durant les années 2019/2020.

	L1	L2	L3	L4	L5	FEMELLE ADULTE	MALE ADULTE	OEUFS	Pvalue	chisq.test
Ain Fares										
Hiver	4a	2a	0a	0a	0a	21b	8ab	23b	<0.0001	Chi2=32.86df=4
Printemps	30ab	71cd	115e	67cd	41ac	83de	16b	235f	<0.0001	Chi2=408.33df=7
Eté	0a	0a	2a	1a	1a	7a	2a	2a	0.07NS	Chi2=10.2 df=5
Automne	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
Oued Taria										
Hiver	1ab	1ab	0a	0a	0a	18c	7abc	11bc	<0.0001	Chi2=27.26 df=4
Printemps	36ab	105cd	128c	79de	59ae	117cd	23b	302f	<0.0001	Chi2=517.3 df=7
Eté	0a	0a	1a	1a	2a	4a	0a	1a	0.437NS	Chi2=3.778 df=4
Automne	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA

Le traitement statistique prouve que le nombre cumulé dans la même ligne avec des lettres différentes diffère significativement à une valeur $P \leq 0,05$ (tests de différences significatives entre toutes les paires utilisant le test χ^2 ; NS, non significatif à une valeur $P \geq 0,05$).

Cette présente étude a également démontré qu'un pic d'activité de vol d'*E. olivina* s'est produit à la mi-avril. Le nombre cumulé de psylles selon la saison, dont le printemps était la saison la plus élevée pour la saison d'apparition 2019, était de 1 017. De même, les résultats montrent que le taux d'infestation par les psylles était significativement affecté par la saison. Il a été aussi enregistré un nombre d'œufs plus élevé avec 235 œufs/arbre au printemps, suivi par les L2 et L3 avec 71 et 115, respectivement.

Un nombre plus élevé d'individus a été enregistré au cours de l'année d'étude de mars 2019 à mars 2020 dans Oued Taria par rapport à Ain Fares (36, 105, 128, 79, 59, 117, 23 et 302), respectivement pour (L1, L2, L3, L4, L5, femelle adulte et mâle adulte). Une différence significative a été notée entre la saison et le nombre cumulé de tous les stades.

La population a augmenté progressivement dès le début de la saison et un déclin a été noté en fin de saison (Tableau 2).

Tableau 14 : Nombre mensuel de psylle de l'olivier/arbre enregistré dans les 2 oliveraies : Ain Fares et Oued Taria durant les années 2019/2020.

	L1	L2	L3	L4	L5	FEMELLE ADULTE	MALE ADULTE	OEUFS	Pvalue	chisq.test
Ain Fares										
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
F	0a	0a	0a	0a	0a	11a	5a	4a	0.12NS	Chi2=4.3 df=2
M	21ab	15ab	21ab	0c	0c	33a	9bc	116d	<0.0001	Chi2=224.06df=5
A	8ab	17 acd	39 c	26 acd	11 abd	8 ab	2 b	27 cd	<0.0001	Chi2=63.043df=7
M	5 a	36 bc	46 b	24 bc	16 ac	42 b	6 a	93 d	<0.0001	Chi2=171.34df=7
J	0 a	5 abc	11 bc	18 bc	15 bc	17 bc	4 ab	20 c	0,004	Chi2=18.89 df=6
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
A	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
S	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
O	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
N	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
D	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
Oued Taria										
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
F	0a	0a	0a	0a	0a	10a	5a	3a	0.115NS	Chi2=4.33df=2
M	19ab	16ab	27a	0c	0c	29a	7bc	82d	<0.0001	Chi2=118.66df=5
A	7a	25b	20ab	28b	14ab	14ab	5a	3ab	<0.0001	Chi2=27.90 df=7
M	11a	67b	73b	42bc	23ac	67b	11a	192d	<0.0001	Chi2=390.54df=7
J	0a	4abc	9abcd	10bcd	11bcd	19d	2ab	17cd	0,001	Chi2=22.5 df=6
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
A	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
S	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
O	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
N	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
D	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA

Le nombre cumulé dans la même ligne avec des lettres différentes diffère de manière significative à une valeur $P \leq 0,05$ (tests de différences significatives entre toutes les paires à l'aide du test χ^2 ; NS, non significatif à une valeur $P \geq 0,05$).

Au cours de cette étude, nous avons remarqué aussi la présence d'œufs pondus en fin février, où les effectifs s'accélérent en mars (Tableau 13). Une forte infestation larvaire a été remarquée au printemps de mars à mai, alors que le nombre d'œufs et des stades larvaires était le plus élevé. A la mi-juin, la quasi-totalité de la population était nulle. Une différence significative a été enregistrée entre les nombres de stades larvaires et les mois.

4. Discussion générale

Dans la présente étude, il n'y a eu aucune augmentation des populations d'*E. olivina* en mars, et les sites d'étude avaient une très faible densité de population de mars à juin 2019. Cela corrobore parfaitement avec les résultats de Khobzi (2019) qui a étudié la fluctuation globale d'*E. olivina* au sein d'une parcelle dans la région de Mostaganem (Algérie) et qui a confirmé l'absence d'individus de psylle sur les deux premiers échantillons et les premières apparitions de l'insecte n'ont été enregistrées qu'à partir du 23 mars avec une faible abondance.

Nos résultats montrent la dynamique et l'évolution des populations d'*E. olivina* du 29 mars 2019 au 27 mars 2020 et confirment l'existence de deux générations printanières sous l'influence des conditions climatiques. Notre résultat est assez proche et en parfaite concordance avec plusieurs auteurs qui ont compté deux générations de l'insecte ; il y a lieu de citer en l'occurrence les travaux de Mustafa (1989) en Jordanie, Chemseddine (1988), Hilal *et al.* (1997) et Tajnari (2001) à Haouz (Maroc), Meftah *et al.* (2014) au Maroc, Tzanakakis (2008) en Italie, Dibo et Ksantini (2011) en Tunisie, Chafaa *et al.* (2017) dans le nord-est de l'Algérie (Batna).

La population de psylle dans les deux fermes présente une variation et était la plus élevée à Oued Taria, qui était irriguée. Nos résultats sont assez proches avec ceux d'Abo-Shanab (2000) et de Mesbah *et al.* (2019) en Egypte concernant une autre espèce de psylle de l'olivier, *E. straminae*.

Par ailleurs, le taux d'infestation était plus élevé dans la ferme irriguée que dans la ferme avec peu de pluie, et l'activité de l'insecte était fort probablement influencée et liée aux facteurs météorologiques. La première génération avait un niveau de population plus important que la deuxième génération.

Ces observations concordent parfaitement avec celles rapportées par Arambourg (1964), Chermiti (1989) et Ksantini (2003). L'activité de la première génération de l'insecte semble être influencée par la température et la qualité nutritionnelle de la plante, qui favorisent la fertilité des femelles et le développement larvaire.

L'orientation avec des conditions plus favorables semble également jouer un rôle dans le développement de l'insecte. En effet, Belhamdounia (1993) a noté la préférence de l'orientation sud pour les larves au printemps, et l'orientation sud et ouest pour les adultes.

La répartition des populations d'*E. olivina* selon la saison et le mois a montré un comportement identique dans les deux sites d'étude. Le printemps a été la saison la plus favorable au développement du psylle de l'olivier. Cette constatation est contradictoire pour l'espèce *E. straminea*, citée par Kaplan et Alaserhat (2019) qui ont noté sa présence dans la nature toute l'année, hibernant en hiver à l'âge adulte.

De même, Ksantini (1986) et Chermiti (1989) ont observé que des températures élevées associées à une faible humidité relative provoquaient une mortalité élevée des œufs et des larves, et la ponte s'arrêtait même chez les femelles d'*E. olivina*. On peut donc déduire, qu'en raison des températures élevées et de la croissance végétative plus lente de l'arbre, les adultes de deuxième génération sont apparemment entrés en repos estival à partir de juin.

L'insecte présentait une dynamique polycyclique, montrant sa stabilité à survivre d'une génération à l'autre. Une différence apparente est observée ainsi entre le stade de vie du psylle et de la saison. Il est aussi utile de signaler que d'autres espèces de psylles telles que *Bactericera cockerelli*, *Cacopsylla pyricola* (Förster) et *Cardiaspina albitextura* ont été signalées comme étant intolérantes aux conditions météorologiques extrêmes (Blomquist et Kirkpatrick, 2002 ; Rakhshani et Saedifar, 2013).

Par ailleurs, Atwal *et al.* (1970) ont prouvé que les températures élevées et basses étaient préjudiciables à la population de psylles. Cependant, nous avons constaté une relation significative entre la saison et la fluctuation de la population d'*E. olivina*. Ce phénomène, associé à des conditions climatiques différentes comme le montrent les précipitations de février à mi-avril, pourrait expliquer pourquoi il n'y a pas eu d'augmentation de la population en mars.

Dans ce contexte, il est utile de mentionner les résultats des travaux de Mustafa et Najjar (1985) qui ont enregistré cinq (5) stades distincts de formation et de développement des ovarioles ; le développement ovarien de la génération estivale était en diapause reproductive de la mi-juin à la mi-novembre. Les facteurs environnementaux, notamment la température et la photopériode, induisent, sans doute, des diapauses chez l'adulte. Les adultes de la génération printanière ont présenté des œufs matures dans la semaine suivant l'émergence.

CHAPITRE 2

ESSAI D'EFFICACITE DES CHAMPIGNONS ENTOMOPATHOGENES SUR LE PSYLLE DE L'OLIVIER

Chapitre 2 :

Essai d'efficacité des champignons entomopathogènes sur le psylle de l'olivier *E. olivina*

1. Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes

1.1. Caractérisation morphologique de *Fusarium* sp.

Les caractéristiques morphologiques de l'isolat de *Fusarium* sont présentées dans la Figure 39.

D'après les principaux caractères morphologiques de *Fusarium*, nous avons pu identifier le genre *Fusarium* (*Fusarium* sp.)

Cet isolat est caractérisé par une croissance relativement lente. Le mycélium est floconneux d'une couleur blanche à pigmentation rose grisâtre à la périphérie (Figure 39).

La sporodochie est formée dans le centre de la colonie, de couleur marron foncé. Les macroconidies sont très abondantes et présentant 3 cloisons; la biométrie des macroconidies est de 12.5 à 24 μm .

Les microconidies sont abondantes, mesurant de 5 à 6 μm de long. Les chlamydospores sont formés dans les hyphes et parfois sont formés en chaînette, ou dans les macroconidies; leur diamètre est de 12.5 μm (Figure 39).

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.

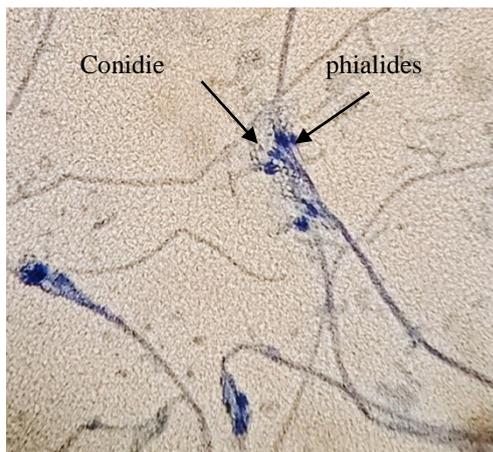
Les phialides sont formées seules ou en verticilles de 3. La colonie a formé des micro-sclérotés après quelques jours d'incubation à 25°C.

Les conidies sont abondantes, ellipsoïdales cylindriques mesurant de 6 μm de longueur. Il n'y avait aucun signe de présence de chlamydospores (Figure 39).

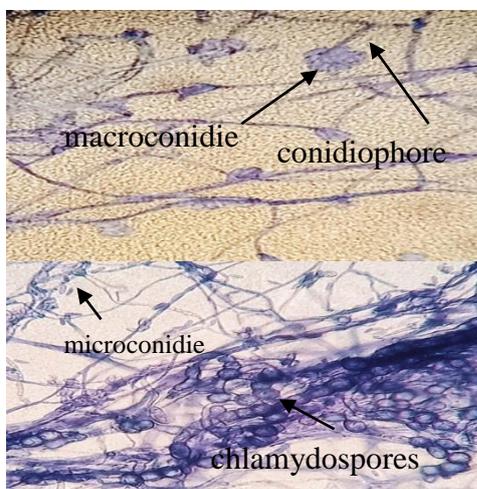
Observation macroscopique



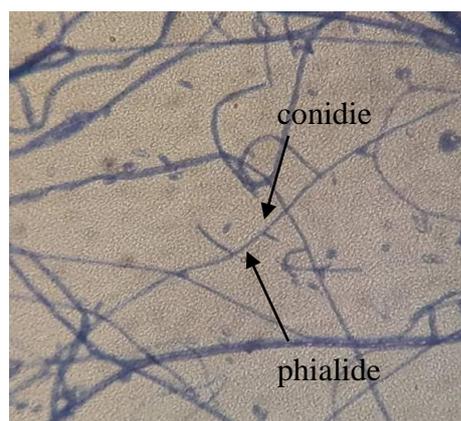
Observation microscopique



Isaria fumosorosea



Fusarium sp



Verticillium lecanii

Figure 39 : Caractérisation morphologique des trois isolats de champignons entomopathogènes.

1.3. Caractérisation morphologique d'*Isaria fumosorosea*

La morphologie de la colonie a été caractérisée à l'aide de cultures *in vitro* maintenues sur des milieux SDA.

Après une semaine, les cultures étaient floconneuses, poudreuses et apparaissaient 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 39).

2. Effets des facteurs physiques sur les trois isolats de champignons entomopathogène

2.1. Effet de milieux de culture sur la croissance mycélienne des isolats

L'effet de différents milieux de culture sur la croissance mycélienne a été étudié et comparé aux résultats précédents pour cribler les conditions nutritionnelles pour la croissance mycéliennes de nos isolats.

En effet, les trois espèces ont présenté des taux de croissance variés selon le type de milieu de culture utilisé. Les résultats indiqués dans le tableau 14 ont montrés que les milieux de cultures PDA et le SDA sont les milieux les plus appropriés pour la croissance mycélienne de nos isolats.

Tableau 15 : Effets de milieux de culture sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes.

Milieu de culture Temps	Après 2 jours	Après 4 jours	Après 6 jours
<i>Fusarium sp</i>			
PDA	2.16A±1.18	4.91A±3.75	7.43A±4.91
SDA	2.30A±1.27	5.20A±2.57	7.83A±4.19
CZAPEK	1.88A±1.04	4.88A±3.49	6.93A±4.21
<i>Vertillium lecanii</i>			
PDA	2.25B±1,47	5.35B±3,15	8.41A±4,91
SDA	3.35A±1,91	6.56A±3,75	8.50A±4,76
CZAPEK	1.65B±0,78	3.01C±1,67	5.11B±3,29
<i>Isaria fumosorosea</i>			
PDA	2.98A±1,79	5.25A±3,20	8.43A±4,91
SDA	3.43A±2,08	5.68A±3,26	8.46A±4,85
CZAPEK	1.90B±1,10	3.25B±1,70	5.98B±4,39

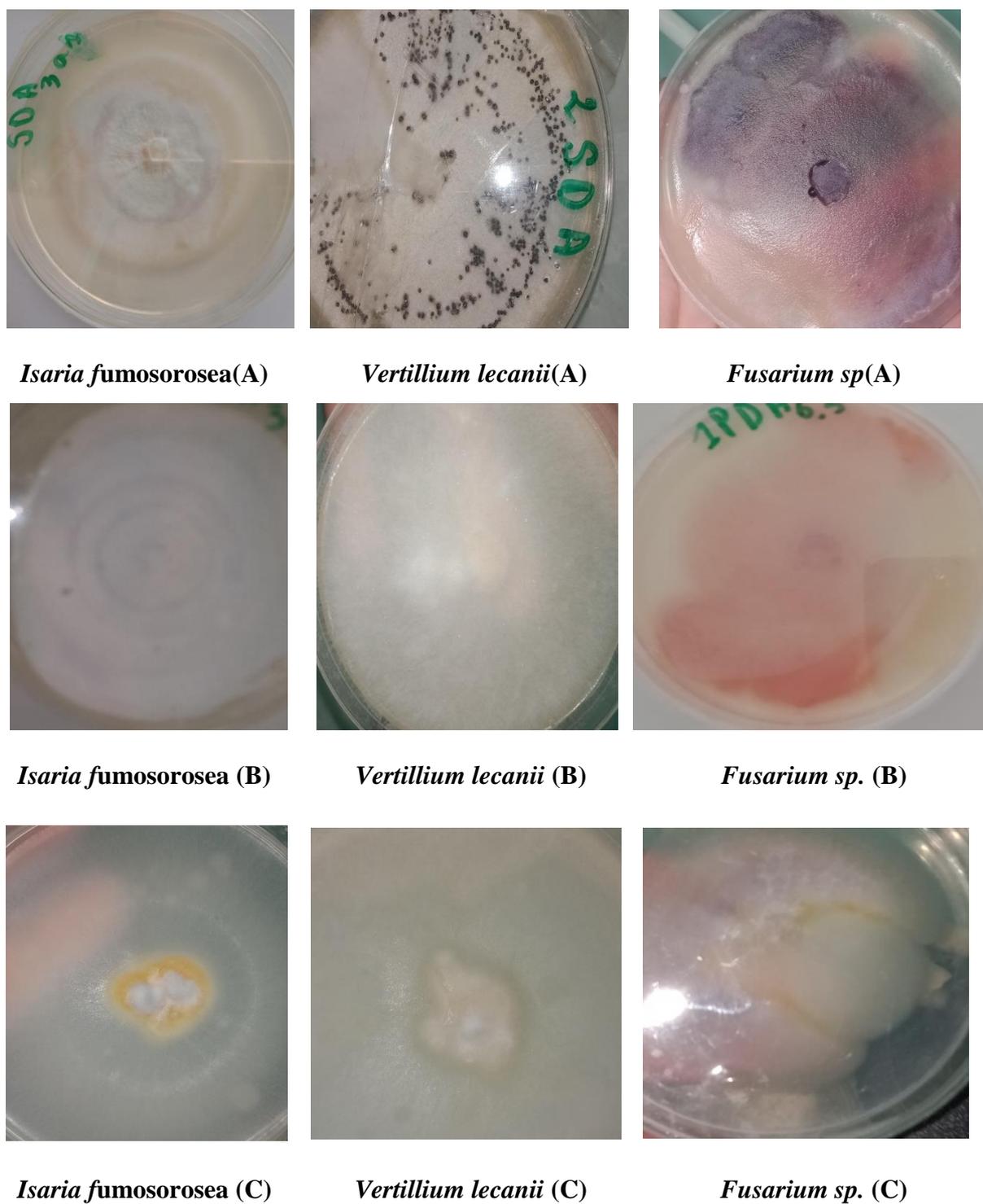


Figure 40 : Effet de différents milieux de cultures sur la croissance mycélienne des isolats de champignons entomopathogènes.

(A): Milieu de SDA, (B): Milieu de PDA, (C): Milieu de Czapek.

A la lumière de nos résultats, il a été constaté que l'isolat de *Fusarium sp* a une croissance diamétrale plus élevée sur le milieu Sabouraud-dextrose-agar avec (7,83 cm), suivi par le milieu de PDA avec (7,43 cm) et enfin le milieu CZAPEK avec (6,93 cm) (Tableau 15 Figure 40).

Par ailleurs, le traitement statistique des données a montré qu'aucune différence significative n'a été observée entre ces milieux ($df=2$; $F=2,43$; $P= 0,1685$).

De même, l'isolat de *V. lecanii* a présenté une croissance rapide sur SDA avec (8,50 cm) et de (8,41 cm) sur le milieu de PDA et de (5,11 cm) sur CZAPEK (Tableau 15) et aucune différence significative n'a été enregistrée ($df=2$; $F=55,2$; $P=0,0001$).

La croissance mycélienne de l'isolat d'*I. fumosorosea* est plus élevée sur le milieu SDA avec (8,46 cm), suivi par le milieu de PDA avec (8,43 cm) et le milieu de CAZAPEK avec (5,98 cm) (Tableau 15) avec ($df=2$; $F=107$; $P=0,0000$). Nous pouvons aussi déduire que ces isolats se sont avérés être polyvalentes capables d'utiliser diverses milieux nutritionnelles.

Nos résultats montrent clairement que les facteurs physiques et chimiques ont un effet prononcé sur les caractères physiologiques d'un champignon. Par conséquent, il est souvent nécessaire d'utiliser plusieurs milieux artificiels en tentant d'identifier un champignon ; la croissance mycélienne et la sporulation sont des caractères biologiques importants (St-Germain et Summerbell, 1996).

D'autre part, Il est souvent recommandé d'utiliser une large gamme de milieux pour l'isolement des différents groupes des champignons qui influent la croissance végétative et la morphologie, la pigmentation et la sporulation en fonction de la composition du milieu de culture, le pH, la température, la lumière et la disponibilité de l'eau (Zain *et al.*, 2009). Par conséquent, nos résultats ont indiqué nettement que les trois milieux favorisaient la croissance mycélienne de *Fusarium sp*, *V. lecanii* et *I. fumosorosea*. Ces résultats étaient similaires et en parfaite concordance à ceux enregistrés par Lazreg *et al.* (2007); Yadav et Chandra (2014) et Hoa *et al.* (2015). En effet, ils ont démontré que le milieu de culture (PDA) et le milieu (SDA) étaient les milieux les plus favorables pour la croissance mycélienne des champignons entomopathogènes.

Il a été aussi prouvé que les milieux de culture influencent la germination, la croissance mycélienne et la virulence des champignons entomopathogènes (Fargues *et al.*, 1997) ; l'isolat d' *I. fumosorosea* a une bonne croissance mycélienne comparé aux autres isolats.

De plus, Moore *et al.* (1996) ont également mentionné que les champignons entomopathogènes diffèrent, dans leur capacité à utiliser diverses sources de carbone et d'azote pour la croissance mycélienne et la production de conidies. La présence de glucides était, fort probablement, suffisante pour la germination des spores de *M. anisopliae* M-99, alors que la germination des spores de *B. bassiana* AIG était inhibée par les glucides. Nos résultats semblent en concordance avec ceux de Iskandarov *et al.* (2006) qui démontré que l'ajout de KJ, ZnSO₄ ou KBr au milieu Czapek a augmenté l'activité pathogénique de *B. bassiana*.

2.2. Effet du pH sur la croissance mycélienne des isolats

Les résultats regroupés et consignés dans le tableau 16 ont montré que les trois isolats de champignons entomopathogènes peuvent se développer sur un pH variant entre 4,5 et 8,5.

L'isolat de *Fusarium* sp a présenté une croissance mycélienne très élevée à pH 6,5 avec (7,20 cm), suivi par le pH 4,5 et 8,5 avec (5,83 cm) et (5,86 cm) respectivement, sans différence significative (df = 2; F =9,68; P=0,0133). Les résultats de la croissance mycélienne de l'isolat *V. lecanii* à différents pH 4,5, 6,5 et 8,5 étaient respectivement (8,35 cm), (7,63 cm) et (5,66 cm). Ces résultats indiquent que cet isolat peut se développer sur différentes gammes de pH sans aucune différence significative (df=2; F=18,3; P=0,0028). La croissance mycélienne d'*Isaria fumosorosea* a été très importante à pH 6,5 et 4,5 avec (8,38 cm) et 4,5 (7,15 cm) respectivement, alors que la croissance mycélienne à pH 8,5 était très faible avec (3,15 cm) (Figure 41).

Tableau 16 : Effets de pH sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes.

PH Temps	Après 2 jours	Après 4 jours	Après 6 jours
<i>Fusarium</i> sp			
pH 4.5	1.90A±0.78	4.36AB±2.60	5.86AB±4.13
pH 6.5	1.90A±0.78	4.60 A±2.60	7.20A±4.13
pH8.5	2.05A±1.04	3.95B±2.19	5.83B±2.94
<i>Vertillium lecanii</i>			
pH 4.5	2.28A±1,44	4.55A±2,89	7.63A±4,91
pH 6.5	2.28A±1,44	4.55A±2,89	8.35A±4,91
pH8.5	1.26B±0,66	2.80B±1,47	5.66B±3,18
<i>Isaria fumosorosea</i>			
pH 4.5	2.26A±1,33	4.50B±2,54	7.15A±3,90
pH 6.5	2.43A±1,33	5.51A±3,15	8.38A±4,71
pH8.5	0.60B±0,35	1.50C±1,04	3.15B±2,37

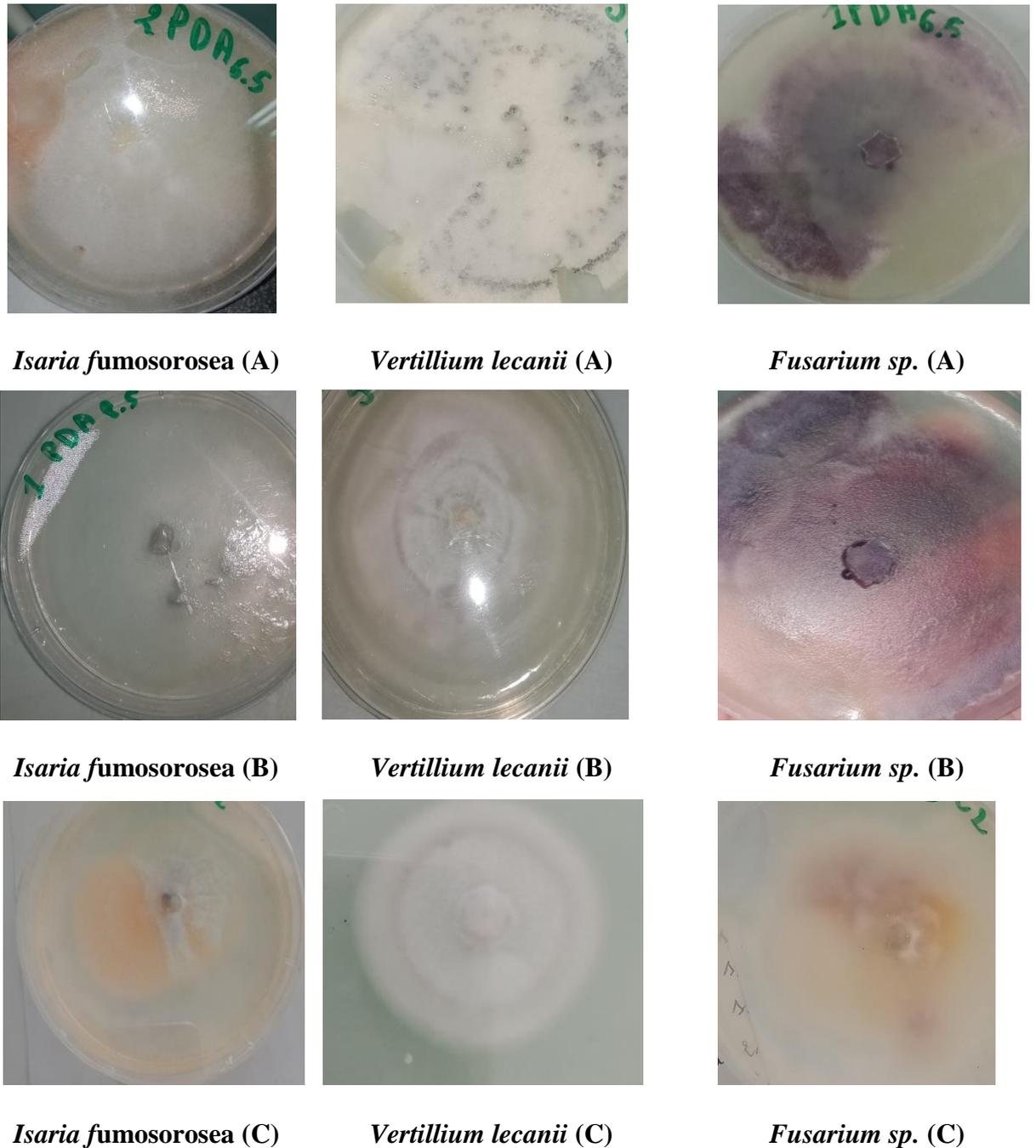


Figure 41 : Effet de différent pH sur la croissance mycélienne des isolats de champignons entomopathogènes.

(A) : pH: 6.5; (B) : 8.5, (C) : 4.5.

D'autre part, Monteiro *et al.* (2004) ont évalué la croissance et la sporulation de deux isolats de *V. lecanii* cultivés sur milieu solide avec différentes valeurs de pH initial (4, 5, 6, 7, 8 et 9). Ils ont démontré qu'il n'y avait pas d'effet substantiel des valeurs de pH initiales sur la croissance et la sporulation des deux isolats après vingt jours d'incubation, sauf le pH 4, où la croissance a été considérablement réduite.

Notre étude sur l'effet du pH sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes a indiqué que ces isolats peuvent se développer sur des pH variant entre 4,5 et 8,5 ; nos résultats corroborent ainsi avec ceux trouvés par Hallsworth et Magan (1999).

Il est à noter également que les champignons entomopathogènes *Fusarium sp*, *V. lecanii* et *I. fumosorosea* ont une croissance optimale dans des valeurs de pH : 5 à 8. Nos résultats confirment ceux enregistrés par Hallsworth et Magan (1999) qui ont démontré que les trois isolats de champignons entomopathogènes présentaient une adaptabilité de croissance dans une large gamme de pH allant de pH de 5 à 8.

2.3. Effet de températures sur la croissance mycélienne des isolats

Dans notre présente étude, nous avons remarqué que la température a un effet très important sur le développement mycélien des isolats.

Les résultats obtenus montrent une absence totale de la croissance de tous les isolats à 5°C; par contre, la température optimale notée pour la croissance des isolats est 25°C (Tableau 17).

Les analyses et les traitements statistiques, consignés dans le tableau 17, montrent que la croissance mycélienne de *Fusarium sp*, *V. lecanii* et *I. fumosorosea* a été influencée par la température (P=0,05).

Les deux températures, 20°C et 25°C, ont été les plus adaptées pour la croissance mycélienne de ces isolats. La croissance mycélienne de *Fusarium sp* est plus élevée à 25°C et 20°C avec (7,28 cm) et (7,80 cm) respectivement. Cette croissance mycélienne a été limitée dans les températures comprises entre 10°C et 30°C avec (5,03 cm) et (6,81 cm). Les températures, 5 °C et 35°C, ont bloqué la croissance mycélienne après 6 jours d'inoculation (tableau 16). Une différence significative a été enregistrée (df=5; F=147; P=0,0000).

Tableau 17 : Effets de températures sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes.

Températures Temps	Après 2 jours	Après 4 jours	Après 6 jours
<i>Fusarium sp</i>			
5 ⁰ C	0.80D±0.46	0.80B±0.46	0.80C±0.46
10 ⁰ C	1.46CD±0.87	3.03AB±1.96	5.03B±3.06
20 ⁰ C	2.61AB±1.65	4.58A±3.03	7.28A±4.47
25 ⁰ C	2.16BC±1.18	5.36A±4.53	7.80A±4.91
30 ⁰ C	3.43A±1.93	4.83A±3.38	6.81A±4.33
35 ⁰ C	0.96D±0.61	1.28B±0.87	1.66C±1.15
<i>Vertillium lecanii</i>			
5 ⁰ C	0.80C±0,46	0.80D±0,46	0.80E±0,46
10 ⁰ C	1.05C±0,69	2.23C±1,44	4.63C±2,94
20 ⁰ C	2.20B±1,24	4.93A±2,86	7.31B±4,24
25 ⁰ C	3.46A±2,05	5.60A±3,06	8.50A±4,91
30 ⁰ C	2.10B±1,27	3.93B±2,37	7.13B±4,27
35 ⁰ C	1.03C±0,55	2.13C±1,15	3.41D±1,88
<i>Isaria fumosorosea</i>			
5 ⁰ C	0.80C±0,46	0.80C±0,46	0.80E±0,46
10 ⁰ C	1.58B±0,92	3.00B±1,85	5.88C±3,64
20 ⁰ C	2.31A±1,27	4.016AB±1,79	8.05AB±4,56
25 ⁰ C	2.48A±1,21	4.58A±2,63	8.36A±4,91
30 ⁰ C	2.11A±1,21	4.26AB±2,37	7.10B±3,90
35 ⁰ C	1.01C±0,66	1.55C±1,15	2.91D±1,85

Les résultats présentés dans le tableau 17 prouvent aussi que les températures 20°C, 25°C et 30°C ont favorisé la croissance mycélienne de *V. lecanii* avec (8,50cm), (7,31cm) et (7,13cm) respectivement (planche 46). De même, la croissance mycélienne était de 4,63 cm à 10°C, une différence significative a été constatée entre les températures avec (df = 5; F= 301; P= 0,0000).

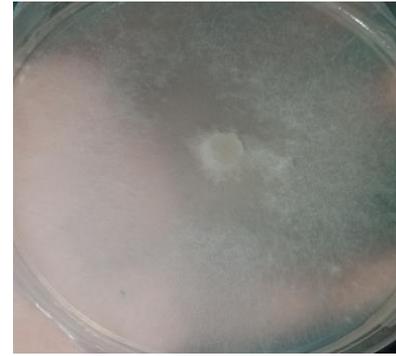
Pour le champignon entomoptahogène *I. fumosorosea*, les résultats du tableau 17 ont montré que l'isolat s'est développé d'une manière optimale à 20°C, 25°C et 30°C avec (8,36 cm), (8,05 cm) et (7,10 cm) respectivement. La croissance mycélienne a été très faible à températures 5 °C et 35°C, avec une différence significative (df= 5 ; F=170 ; P= 0,00).



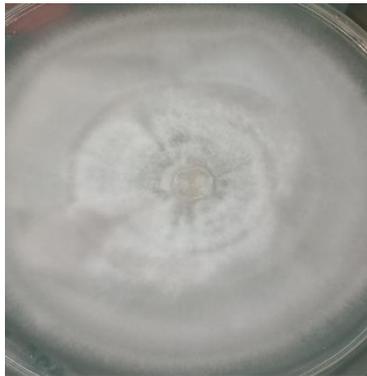
Isaria fumosorosea (A)



Vertillium lecanii (A)



Fusarium sp. (A)



Isaria fumosorosea (B)



Vertillium lecanii (B)



Fusarium sp. (B)



Isaria fumosorosea (C)



Vertillium lecanii (C)



Fusarium sp. (C)

Figure 42 : Effet de différentes températures sur la croissance mycélienne des isolats de champignons entomopathogènes.

(A): 25°C (B): 20°C (C) :35°C.

Les espèces entomopathogènes étudiées dans notre présent essai sont, comme la plupart des champignons, mésophiles (Gray et Williams, 1971; Deacon, 1980) puisque leur gamme de croissance couvre des températures modérées 20-30°C. La température optimum pour la croissance mycélienne des ces isolats est comprise 20°C et 30°. Ces résultats sont très proches avec ceux signalés par Ferron *et al.* (1991).

De même, nos constatations confirment celles de Hall et Papierok (1982) qui ont démontré que les optimums thermiques de la croissance, déterminés par l'analyse macroscopique du développement de colonies fongiques *in vitro*, sont étroitement corrélés avec les optimums de germination et de sporulation.

2.4. La Production des spores et la viabilité des spores des isolats de champignon entomopathogènes

Le dénombrement des conidies a été effectué par l'utilisation de la cellule de malassez (Tableau 18).

Nous avons enregistré, après les traitements statistiques, une différence significative dans les taux de sporulation des trois isolats de champignons entomopathogènes avec (F=2 ; df=25,58 ; valeur P=5,47).

L'isolat d'*I. fumosorosea* a un taux de sporulation plus élevé sur SDA avec $7,63 \times 10^6$ conidies/ml par rapport aux isolats de *V. lecanii* et *Fusarium sp* avec $6,93 \times 10^6$ conidies/ml et $5,26 \times 10^6$, respectivement (tableau 17). Les trois milieux de cultures ont un effet significatif sur les taux de sporulation des trois isolats de champignons entomopathogènes (F=4 ; df=9, 23; P-value = 0,0003).

La sporulation a été très faible sur CZAPEK avec $5,83 \times 10^6$; $2,77 \times 10^6$ et $4,42 \times 10^6$ conidies/ml, respectivement pour *I. fumosorosea*, *V. lecanii* et *Fusarium sp*. L'isolat *I. fumosorosa* a montré la sporulation la plus élevée sur différents milieux. Dans ce contexte, il y a lieu de signaler les travaux de Prayogo *et al.* (2005) qui ont rapporté que le nombre de conidies déterminera l'efficacité des champignons entomopathogènes dans la lutte contre les insectes.

La viabilité des spores étant un caractère physiologique très important, les résultats de la germination des trois isolats testés, présentés dans les Tableaux 17-18, font ressortir que le nombre de spores viables est différent selon l'espèce.

L'analyse de la viabilité des conidies d'*I. fumosorosea*, *V. lecanii* et *Fusarium sp* a montré que *I. fumosorosea* et *V. lecanii* ont fourni la germination la plus élevée sur PDA (tableau 17). Cependant, la germination des spores a présenté une différence significative avec (F=2; df=21,40 ; P=0,007).

Tableau 18 : Taux de sporulation et la viabilité des spores des trois isolats de champignon entomopathogènes.

Production de spore		
<i>Fusarium sp</i>		
PDA	SDA	CZAPEK
4.91×10 ⁶ E±0.54	5.26×10 ⁶ BCD±0.51	4.42×10 ⁶ DE±0.23
Germination de spore	127.33 B±8.57	
<i>Vertillium lecanii</i>		
PDA	SDA	CZAPEK
6.34×10 ⁶ ABCD±0.32	6.93×10 ⁶ AB±0.15	2.77 ×10 ⁴ E±0.02
Germination de Spore	189.33A±9.68	
<i>Isaria fumosorosea</i>		
PDA	SDA	CZAPEK
7.53×10 ⁶ A±0.51	7.63×10 ⁶ A±0.38	5.83×10 ⁶ ABCD±0.57
Germination de Spore	211.66A±7.26	

D'autre part, la viabilité du champignon doit être évaluée car il s'agit d'un élément important (Alves *et al.*, 1998). Par conséquent, la composition du milieu de culture est un facteur important à considérer. Les besoins nutritionnels pour la germination des champignons entomopathogènes ne sont généralement pas complexes (Smith et Grula 1981). Actuellement, les céréales, telles que le riz et l'orge, ont été largement utilisées pour la production de conidies de leurs champignons entomoptahogènes (Grimm, 2001).

D'autre part, Carlile *et al.*, (2001) notent que diverses espèces de champignons entomopathogènes nécessitent différentes conditions chimiques, physiques et nutritionnelles pour une germination optimale.

Les résultats obtenus sont en concordance avec ceux de Shah *et al.* (2005) qui ont montré que les conidies germent plus lentement et sont moins virulentes sur un milieu avec un rapport C/N plus élevé.

Par ailleurs, Alavo *et al.* (2002) ont prouvé 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. La germination des conidies dépend des souches d'isolats et d'espèces de champignons car chaque isolat a des besoins nutritionnels différents.

De plus, la taille des conidies affecte les taux de germination; plus les conidies sont grosses, plus elles germent vite (Lazzarini *et al.*, 2006).

3. La sensibilité des larves de quatrième et cinquième stade d'*Euphyllura olivina*

Ce travail a été réalisé pour la première fois en Algérie et dans le bassin méditerranéen pour lutter contre le psylle de l'olivier. Pour cela nous avons étudié la virulence de trois isolats de champignons entomopathogènes, *Fusarium sp*, *V. lecanii* et *I. fumosorosea* dans les conditions de laboratoire (Tableaux 18-19).

Il est très important d'utiliser ces isolats de champignons entomopathogènes comme biopesticide pour la stratégie de lutte biologique. Les résultats obtenues ont montré que les trois isolats étaient significativement ($P < 0,05$) efficaces contre le quatrième et le cinquième stade larvaire du psylle, entraînant une mortalité plus élevée, atteignant 100 %, respectivement, par rapport au témoin de 0,00 % (tableaux 18 et 19, figure 47).

Tableau 19 : Mortalités cumulées du quatrième stade larvaire d'*Euphyllura olivina* causées par *Fusarium sp*; *V.lecani*, et *I. fumosorosea* avec différentes concentrations.

Isolats	Temps/jours	0	10 ⁴ conidia/ml	10 ⁵ conidia/ml	10 ⁶ conidia/ml	10 ⁷ conidia/ml	10 ⁸ conidia/ml	F	p value
<i>Fusarium sp</i>	3	0a±0.00	46a±0.33	54a±0.57	75a±0.33	82a±0.88	89a±0.33	1,421	0,299
	5	0a±0.00	75a±0.57	82a±0.88	96a±0.33	99a±0.66	100a±0.00	1,023	0,369
	7	0a±0.00	94a±0.57	100a±0.66	100a±0.00	100a±0.00	100a±0.00	1,189	0,337
<i>V. lecanii</i>	3	0a±0.00	58a±0.57	62a±0.33	65a±0.33	68a±0.57	89a±0.57	1,726	0,259
	5	0a±0.00	79a±0.57	96a±0.33	100a±1.00	100a±0.33	100a±1.00	0,909	0,394
	7	0a±0.00	100a±0.57	100a±0.33	100a±0.00	100a±0.00	100a±0.00	0,503	0,517
<i>I. fumosorosea</i>	3	0a±0.00	79a±0.57	89a±0.57	96a±0.66	100a±0.57	100a±0.33	1,732	0,259
	5	0a±0.00	96a±0.33	100a±0.33	100a±0.57	100a±0.00	100a±0.00	1,388	0,304
	7	0a±0.00	100a±0.57	100a±0.33	100a±0.00	100a±0.00	100a±0.00	0,436	0,545

Tableau 20 : Mortalités cumulées des du cinquième stade larvaire d'*Euphyllura olivina* causées par *Fusarium sp*; *V.lecani*, et *I. fumosorosea* avec différentes concentrations.

Isolats	Temps/jours	0	10 ⁴ conidia/ml	10 ⁵ conidia/ml	10 ⁶ conidia/ml	10 ⁷ conidia/ml	10 ⁸ conidia/ml	F	p value
<i>Fusarium sp</i>	3	0a±0.00	54a±0.57	58a±0.33	82a±0.33	85a±0.33	96a±0.57	1,423	0,299
	5	0a±0.00	79a±0.88	85a±0.33	100a±0.33	100a±0.57	100a±0.57	3,09	0,154
	7	0a±0.00	100a±0.88	100a±0.33	100a±0.66	100a±0.33	100a±0.00	0,622	0,474
<i>V. levanii</i>	3	0a±0.00	46a±0.57	58a±0.57	65a±0.33	68a±0.57	82a±0.33	1,536	0,283
	5	0a±0.00	75a±0.33	89a±0.33	100a±0.33	100a±1.00	100a±0.66	0,856	0,407
	7	0a±0.00	100a±0.33	100a±0.33	100a±0.00	100a±0.00	100a±0.0	0,59	0,485
<i>I. fumosorosea</i>	3	0a±0.00	62a±0.33	79a±0.57	89a±0.66	82a±0.57	100a±0.33	6,501	0,063
	5	0a±0.00	96a±0.33	100a±0.33	100a±0.66	100a±0.33	100a±0.00	1,009	0,372
	7	0a±0.00	100a±0.33	100a±0.33	100a±0.00	100a±0.00	100a±0.00	0,506	0,516

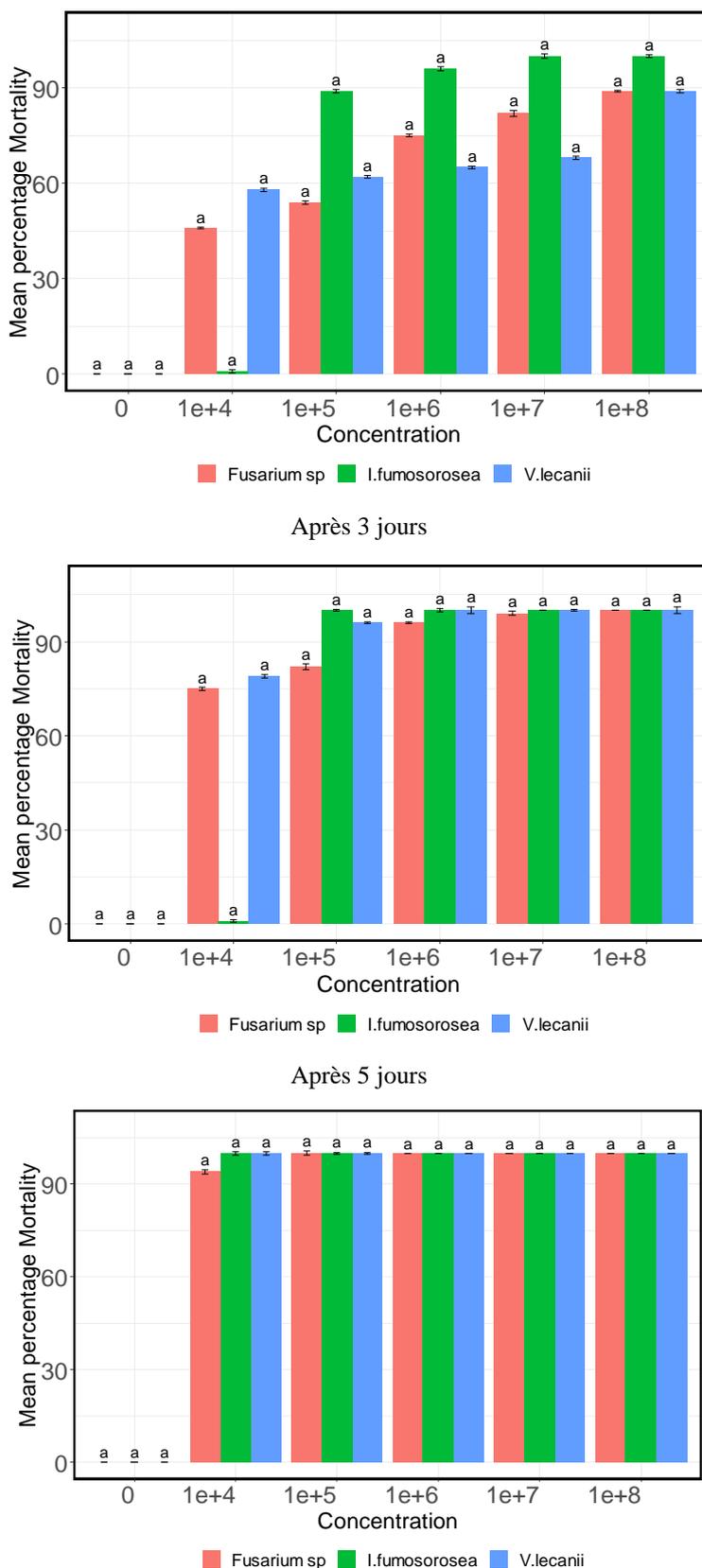
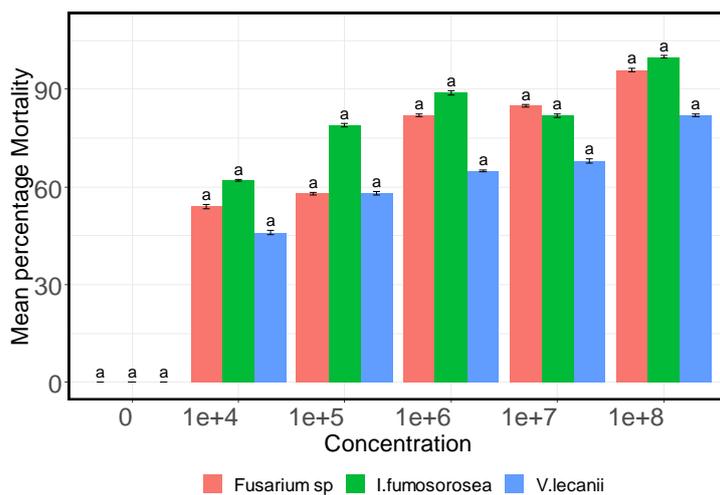
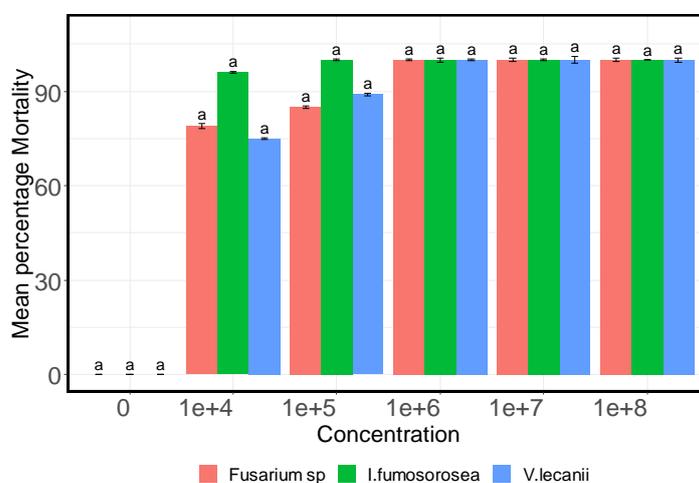


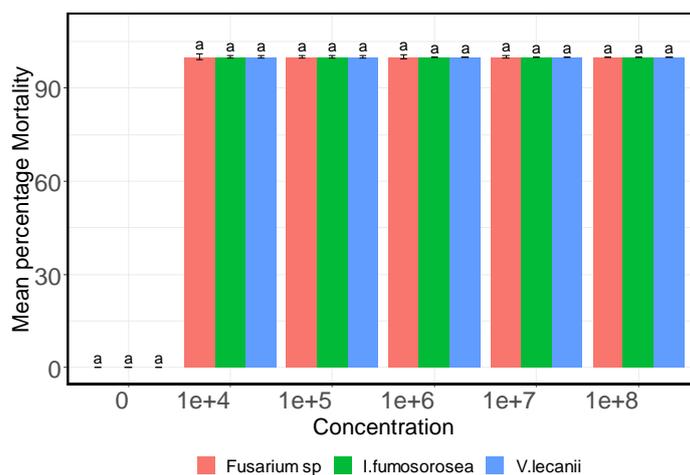
Figure 43 : Pourcentage de mortalités Cumulé du quatrième stade larvaire d'*Euphyllura olivina* causées par *Fusarium sp.*; *V. lecanii*, et *I. fumosorosea* avec différentes concentrations.



Après 3 jours



Après 5 jours



Après 7 jours

Figure 44 : Pourcentage de mortalités cumulé du cinquième stade larvaire d'*Euphyllura olivina* causées par *Fusarium sp*; *V.lecanii*, et *I. fumosorosea* avec différentes concentrations.

Le pourcentage de mortalité des larves de psylle de l'olivier traité avec différentes concentrations de champignons, ont été mentionnés dans les tableaux 18 et 19. Les résultats ont montré une augmentation significative de la mortalité ($P < 0,05$) avec l'augmentation de la concentration.

Les traitements de bio-essai réalisés ont montré que le champignon *I. fumosorosea* a causé les pourcentages les plus élevés de mortalité au quatrième stade larvaire qui variait de 79 à 100 % à 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml après trois à sept jours respectivement. Le taux de mortalité semblait augmenter avec l'augmentation de la concentration. De même, *V. lecanii* s'est classé en deuxième rang en enregistrant une mortalité oscillant de 58 à 100 % aux concentrations 1×10^4 et 1×10^8 conidies/ml. La mortalité causée par *Fusarium sp* variait de 46 à 100%. La mortalité causées par le *Fusarium sp*, *V. lecanii* et *I. fumosorosea* à 1×10^4 conidies/ml a été de 54, 46 et 62 %, respectivement. Les trois isolats de champignons entomopathogènes ont montré des résultats encourageants pour contrôler les quatrième et cinquièmes stades larvaires du psylle de l'olivier (Tableaux 19-20).

Tableau 21 : Le Temps Létale (LT) pour *Euphyllura olivina* traités avec les différentes concentrations de *Fusarium sp*; *V. lecanii*, et *I. fumosorosea*

Isolats	Dose conidia /ml	LT25	LT50	LT750	LT90	Slope.SE	Chi ²	p
<i>Fusarium. Sp</i>	10^4	26,072	45,640	79,894	132,242	2.773± 0.5174	2,396	0,663
	10^5	23,754	38,018	60,847	92,911	3.302± 0.529	2,987	0,559
	10^6	15,54	25,808	42,836	67,587	3.065± 0.5533	7,374	0,117
	10^7	14,388	23,111	37,122	56,868	3.277± 0.5936	7,610	0,106
	10^8	13,466	20,061	29,886	42,784	3.896± 0.7409	11,322	0,023
<i>V. lecanii</i>	10^4	25,359	43,824	75,733	123,909	2.839± 0.5173	2,730	0,603
	10^5	22,626	33,711	50,225	71,906	3.895 ± 0.5582	5,12	0,275
	10^6	21,153	29,513	41,176	55,568	4.663± 0.6331	5,146	0,272
	10^7	20,137	27,697	38,095	50,753	4.872± 0.679	3,139	0,534
	10^8	15,210	22,399	32,987	46,735	4.012± 0.6911	3,657	0,454
<i>I. fumosorosea</i>	10^4	16,974	29,793	52,292	86,763	2.760± 0.5214	3,079	0,544
	10^5	13,079	22,499	38,705	63,069	2.862± 0.5657	3,274	0,5129
	10^6	12,880	19,941	30,873	45,754	3.553± 0.6841	6,755	0,149
	10^7	21,091	22,821	24,693	26,509	19.701 ± 4068.944	4,8	0,308
	10^8	16,427	18,190	20,142	22,077	15.236± 4889.054	2,069	0,723

Les concentrations sub-létales (CL10), CL30 et létales (CL50 et CL90) des trois champignons entomopathogènes sont présentés dans le tableau 21. Les résultats ont montré que *I. fumosorosea* a causé une mortalité plus importante et plus élevée sur les larves de quatrièmes et cinquièmes stades. D'une manière générale, il a été observé et noté que les champignons entomopathogènes varient dans leur pathogénicité envers les insectes.

Tableau 22 : Toxicité de *Fusarium sp*; *V. lecani*, et *I. fumosorosea* quatrième et cinquième stages larvaire de psylle.

Isolats	stade Larvaire	LC10	LC30	LC50	LC90	LC99	Slope.SE	Chi ²	p
<i>Fusarium sp</i>	L4	0.104	2.1×10^6	2.63×10^7	6.69×10^9	5.29×10^{15}	0.4066 ± 0.0747	80,967	0
	L5	0.4785	2.20×10^6	1.03×10^8	2.23×10^8	1.19×10^{13}	0.5069 ± 0.0823	97,2378	0
<i>V. lecani</i>	L4	0.0011	9.05×10^4	2.57×10^7	5.91×10^9	5.18×10^{16}	0.3454 ± 0.0767	125,049	0
	L5	0.0065	4.20×10^5	1.03×10^8	1.64×10^{10}	9.67×10^{16}	0.3543 ± 0.0743	121,0051	0
<i>I. fumosorosea</i>	L4	0.2434	3.73×10^4	8.79×10^6	3.17×10^8	2.42×10^{10}	0.6176 ± 0.1084	54,4357	0
	L5	0.5977	8.47×10^5	1.90×10^7	6.04×10^8	4.01×10^{10}	0.6274 ± 0.1026	119,7551	0

Les isolats fongiques testés étaient pathogènes vis-à-vis des quatrièmes et cinquièmes stades larvaires du psylle. Cependant, il y avait une variation de la virulence entre les isolats fongiques. Cette même constatation corrobore avec les travaux de *Ferron et al.* (1991).

Dans une certaine mesure, la vitesse à laquelle un pathogène fongique est capable d'infecter et de pénétrer son hôte est influencée par la capacité de la propagule infectante à adhérer à l'hôte.

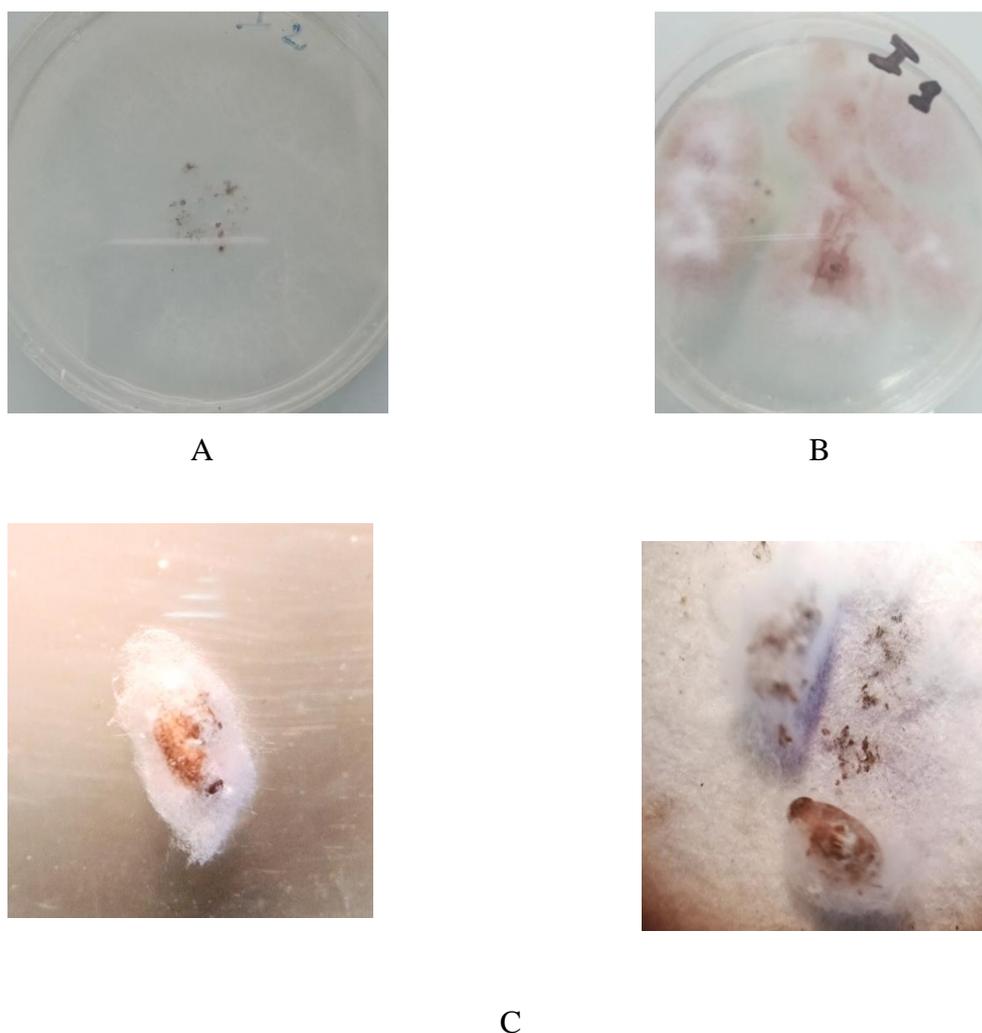


Figure 45 : L'émergence des champignons sur les cadavres des larves de psylle
A : *V. lecani*; ; B : *Fusarium sp*; C : *I. fumosorosea*.

Le taux de mortalité des insectes dû aux infections de champignons entomopathogènes est influencé à la fois par des facteurs internes et externes (Ricario *et al.*, 2013). Les propriétés virulentes des champignons entomopathogènes sont principalement influencées par la production de mycotoxines et la viabilité des conidies.

D'après nos résultats, *I. fumosorosea* est resté le plus efficace contre le psylle, causant plus de (75%) de mortalité dans les 5 jours suivant le traitement. Ces résultats sont conformes aux conclusions de nombreuses études qui ont démontré l'efficacité d'*I. fumosorosea* sur certains insectes ravageurs ; il y a lieu de citer notamment les travaux de Chow *et al.* (2016) ; Xiao-Yan *et al.*, (2016).

Nos résultats corroborent également avec ceux de Lacey *et al.* (2015) qui ont également enregistré une mortalité élevée des psylles de la pomme de terre (*Bactericera cockerelli*) contrôlés par PFR97® (*I. fumosorosea*) que F52® (*M. anisopliae*).

D'autre part, Rios-Velasco *et al.* (2014) ont également signalé une tendance de sensibilité similaire pour les insectes suceurs (psylles, thrips et aleurodes). De même, Lezama-Gutierrez *et al.* (2012) appuient notre démarche expérimentale de choisir les larves dans nos essais puisqu'ils révèlent que les nymphes et larves se sont révélées plus sensibles que les psylles adultes car elles sont plus susceptibles d'être ciblées plus rapidement par les conidies fongiques que les psylles adultes. Deuxièmement, leur cuticule est plus délicate et moins sclérifiée que les adultes et, par conséquent, ils sont plus facilement pénétrés et envahis par les mycéliums fongiques et leurs enzymes dégradant la cuticule que les adultes. De plus, il n'y avait pas de mortalité de psylle dans les traitements témoins.

CHAPITRE 3

LES HUILES ESSENTIELLES ET LES PLANTES AROMATIQUES TESTEES

Chapitre 3 :

Effet biocide des huiles essentielles des plantes aromatiques sur le psylle de l'olivier *Euphylluraolivina*

1. Rendement en huiles essentielles

Le rendement en huile essentielle est le rapport entre le poids d'huile essentielle extraite (m), après distillation, et le poids sec de la matière végétale utilisée (M) (Williams et Lusunzi, 1994). Ce rapport a permis d'estimer la production en huile essentielle des plantes.

Les rendements obtenus en huile essentielle sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23 : Rendement en huiles essentielles des parties des trois plantes étudiées

Espèce (Partie utilisée)	Rendement (%)
<i>Satureja calamintha nepeta</i> (Feuilles et rameaux)	1.63
<i>Eucalyptus globulus</i> (Feuilles)	0.20
<i>Thymus vulgaris</i> (Feuilles et rameaux)	0.94

Ce tableau montre la variabilité des rendements en huiles essentielles des organes des trois espèces étudiées.

Ces résultats montrent que les rendements réalisés en huile essentielle sont variables entre les deux parties de la plante mais restent faibles et il a fallu plusieurs distillations pour obtenir une bonne quantité.

L'huile essentielle de l'*Eucalyptus* est d'une couleur blanc laiteux, son rendement (0.20 %) est inférieur à ceux obtenus pour le thym et la sarriette avec 0.94 % et 1.63 % respectivement.

La faible teneur serait vraisemblablement due, selon certains auteurs aux facteurs écologiques (température, humidité, composition du sol...) et géographiques (altitude...) qui peuvent influencer la quantité et la qualité des huiles essentielles extraites (Alizadeh et al., 2011). Les rendements pour l'*Eucalyptus* semblent être proches de ceux constatés par ZRIRA et al. (1994) qui trouvent des pourcentages entre 0.39 et 4.78 pour six espèces d'*Eucalyptus*.

2. Effet des huiles essentielles sur la mortalité de 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina*

Pour chaque huile essentielle testée, il y a un effet toxique dépendant de la concentration. En effet, la survie des larves diminue au fur et à mesure que la concentration des huiles essentielles augmente.

Ainsi, dans notre présente étude, nous avons voulu déterminer la toxicité de trois (3) huiles essentielles sur le quatrième et le cinquième stade larvaire d'*E. olivina*.

Les résultats obtenus ont montré que les trois huiles essentielles étaient significativement ($P < 0,05$) efficaces contre le quatrième et le cinquième stade larvaire du psylle, entraînant une mortalité plus élevée, atteignant 100 %, respectivement, par rapport au témoin de 0,00 %.

La mortalité des larves d'*E. olivina* exposés à des doses croissantes d'huiles essentielles varie en fonction des plantes. Toutes les huiles essentielles utilisées entraînent une mortalité dose-dépendante.

La majorité des huiles testées ont montré une mortalité de 100 % à une concentration finale de 2 μ l. Après 24 heures d'exposition, *S. calamintha nepeta* et *E. globulus* ont montré un taux de mortalité de plus de 50 % pour les deux stades larvaires à 0,25 μ l, tandis que *T. vulgaris* a montré une mortalité de moins de 50 % pour la même concentration. De plus, les huiles ont commencé à affecter la vie des larves à différentes concentrations; la plus faible concentration qui a causé une mortalité égale ou supérieure à 10 % était de 0,015 μ l pour *E. globulus* et *S. calamintha nepeta*, de 0,05 μ l pour *T. vulgaris* (Tableau 23).

L'huile de *S. calamintha nepeta* est la plus toxique et tue tous les insectes traités à partir de 0,5 μ l. Celle extraite d'*E. globulus* est la deuxième huile la plus efficace et entraîne la mortalité de tous les insectes traités à partir de 0,7 μ l. Enfin l'huile de *T. vulgaris* a la plus faible activité larvicide, ne provoquant une mortalité totale qu'à la plus forte dose (2 μ l).

Ainsi, l'activité biologique des huiles essentielles vis-à-vis des larves est non seulement liée à la plante d'où elles sont extraites mais aussi à la dose utilisée.

Après 24 heures d'exposition, la sarriette et l'*Eucalyptus* ont montré un pourcentage de mortalité qui dépasse 50% pour les deux stades larvaires pour la concentration de 0.25 μ l, alors que le thym n'a montré qu'une mortalité inférieure à 50% pour la même concentration. L'huile de la sarriette a atteint un pourcentage de 100% de mortalité pour les deux stades larvaires pour la dose de 2 μ l.

Après 48 heures d'exposition, l'*Eucalyptus* a montré une mortalité moyenne de 100% pour la dose de 2 μ l ; alors que le thym a causé seulement une mortalité de 97% chez le 4^{ème} stade larvaire et 90% pour le 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina* pour la même concentration.

Après 72 heures d'exposition, le thym a montré une mortalité moyenne de 100% et 97% respectivement pour le 4^{ème} et le 5^{ème} stade larvaire, pour la concentration de 2 μ l.

3. Test de l'efficacité de chaque huile essentielle

3.1. Huile essentielle de *S. calamintha nepeta*

Les résultats des bios essais, présentés dans le tableau 23, indiquent que la mortalité d'*E. olivina* varie significativement avec la concentration appliquée et la durée d'exposition.

Ainsi, la concentration de 0.05 μ l a induit des mortalités inférieures à 50% à partir du premier jour (24 h) après le test jusqu'au troisième jour (72 h). Par contre, les concentrations allant de 0.25 à 2 μ l ont causé des mortalités comprises entre 57% et 100% jusqu'à la fin des observations. La concentration minimale de l'huile essentielle de *S. calamintha nepeta* permettant d'obtenir 100% de mortalité des insectes a été de 0.5 μ l pour le 4^{ème} stade larvaire et 0.7 μ l pour le 5^{ème} stade larvaire après trois (3) jours d'exposition.

Par ailleurs, les valeurs moyennes des taux de mortalité, toutes concentrations confondues (excepté 0.5 μ l), ont été élevées (plus de 90%) 48 h après le test.

3.2. Huile essentielle d'*E. globulus*

Les résultats des tests de l'activité insecticide de l'huile essentielle d'*E. globulus* indiquent également une relation significative entre la concentration, le temps d'exposition et le taux de mortalité des larves d'*E. olivina* (Tableau 24).

En effet, les valeurs moyennes des taux de mortalité ont été élevées du deuxième jour (48 h) jusqu'au dernier jour d'observation (72 h), à toutes les concentrations.

Toutefois, les taux de mortalité moyens obtenus avec la concentration de 0.025 µl pour le 4^{ème} stade larvaire et 0.075µl pour le 5^{ème} stade larvaire restent inférieurs à 50% pendant les deux (2) premières observations. La concentration minimale de l'huile essentielle d'*E. olivina* permettant d'obtenir 100% de mortalité des insectes a été de 0.7µl pour le 4^{ème} stade larvaire et 1µl pour le 5^{ème} stade larvaire après trois (3) jours d'exposition.

3.3. Huile essentielle de *Thymus vulgaris*

Chez *T. vulgaris*, cette huile ne provoque une mortalité comparable à celle de *S. calamintha nepeta* et *E. globulus* (100%) chez le 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire qu'à la dose de 2 µl. La concentration de 0.5µl a montré des mortalités inférieures à 50% à partir du premier jour (24 h) après le test jusqu'au troisième jour (72 h).

La concentration minimale de l'huile essentielle d'*E. globulus* permettant d'obtenir 50% de mortalité des larves a été de 0.25µl pour le 4^{ème} stade larvaire et 0.5µl pour le 5^{ème} stade larvaire après 48h d'exposition. Cette huile provoque également une très faible mortalité soit $3 \pm 83\%$ à la plus forte dose (2 µl) après 24 h de traitement.

Tableau 24 : Mortalité Cumulée du quatrième et cinquième stade larvaire d'*Euphyllura olivina* causées par *Eucalyptus globulus*, *Satureja calamintha nepeta* et *Thymus vulgaris* avec différentes concentrations.

Plante	H	0	0,015	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,25	0,5	0,7	1	2	F	P value
Nepeta	24	0b±0	16.7ab±0.52	23.3ab ±0.58	26.7ab ±0.63	30ab ±0.67	36.7ab ±0.72	40a±0.77	53.3a±0.84	63.3a±0.94	66.7a±0.99	73.3a±1.14	93.3a±1.44	32,875	0
	48	0b±0	30ab±0.65	33.3 ab ±0.72	40ab±0.77	43.3ab±0.8	50ab±0.99	56.7a±1.01	66.7a±1.09	70a±1.19	73.3a±1.09	90a±1.32	96.7a±1.48	21,541	0
Eucalyptus	24	0c±0	23.3bc±0.46	26.7bc±0.54	30bc±0.58	33.3bc±0.62	40abc±0.68	46.7ab±0.74	53.3ab±0.84	63.3ab±0.94	66.7ab±0.99	73.3ab±1.09	90a±1.32	44,647	0
	48	0b±0	33.3ab±0.6	40ab±0.67	43.3ab±0.74	46.7ab±0.77	66.7ab ±0.89	70a±1.04	70a±0.94	73.3a±1.01	76.7a±1.07	83.3a ±1.09	90a±1.32	28,636	0
Thym	24	0c±0	3.3b±0.16	6.7bc±0.26	16.7ab±0.45	20ab±0.51	26.7ab±0.57	33.3ab±0.63	43.3abc±0.73	50ab ±0.8	60ab±0.93	66.7a±1.04	83.3a±1.09	41,417	0
	48	0c±0	10bc±0.35	16.7bc±0.45	23.3ab±0.57	30ab±0.63	33.3ab±0.68	50ab±0.8	56.7ab±0.91	66.7ab±1.02	73.3ab±1.08	80ab±1.17	93.3a±1.44	34,636	0
	72	0c±0	23.3bc±0.53	30ab±0.61	33.3ab±0.68	40ab±0.75	46.7ab±0.82	60ab±0.91	66.7ab±1.02	76.7ab±1.12	86.7ab±1.29	93.3ab±1.44	100a±0.0	37,141	0

3.4. Comparaison entre la toxicité des huiles essentielles de *S. calamintha nepeta*, *E.globulus* et *T.vulgaris*

La transformation des pourcentages de mortalité après exposition en probit et la régression de ces données en fonction du logarithme de la concentration des huiles essentielles a permis de déterminer les DL50 (Concentration causant la mortalité de 50% de la population du psylle de l'olivier) et DL90 (Concentration causant la mortalité de 90% de la population du psylle de l'olivier) (Tableau 24).

Les DL50 et DL90 de chaque huile essentielle confirment les résultats obtenus au niveau des tests. En effet, les DL50 et DL90 obtenues ont montré que l'huile essentielle de *S.calamintha nepeta* et *E. globulus* ont donné les doses létales les plus faibles, DL50 est de (0.13µl et 0.15µl respectivement) et DL90 égal à (3.92µl et 3.26µl respectivement) après 24 heures.

Les DL50 et DL90 sont de 0.28µl et 3.95µl respectivement pour l'huile essentielle *T.vulgaris*. L'huile essentielle de *S.calamintha nepeta* est plus toxique sur *E. globulus* après 48 h car les DL50 et DL90 obtenues sont environ deux (2) fois moins élevées que celles observées avec *T.vulgaris*.

Tableau 25 : La Dose Létale (DL) par rapport au temps (jours) pour le 4^{ème} et le 5^{ème} stade larvaire d'*Euphyllura olivina* traités avec les différentes concentrations d'*Eucalyptus globulus*; *Satureja calamintha nepeta* et *Thymus vulgaris*.

Plante	H	DL10	DL30	DL50	DL90	DL99	Slope.SE	Chi ²	P
<i>Satureja calamintha nepeta</i>	24	0,0046	0,0336	0,134	3,9277	61,6724	0.8736 ± 0.084	11,0493	0,9449
	48	0,0019	0,012	0,0423	0,9261	11,4712	0.9559 ± 0.0917	19,4361	0,4937
	72	0,0014	0,0064	0,019	0,2664	2,295	1.1172 ± 0.1129	16,5901	0,6794
<i>Eucalyptus globulus</i>	24	0,0078	0,0465	0,1599	3,2632	38,1489	0.9784 ± 0.0862	11,5951	0,9293
	48	0,003	0,0176	0,0604	1,2361	14,4847	0.9775 ± 0.0897	19,4978	0,4897
	72	0,0027	0,0107	0,0275	0,2778	1,832	1.2754 ± 0.1161	11,5879	0,9295
<i>Thymus vulgaris</i>	24	0,021	0,0985	0,2877	3,9503	33,4272	1.1265 ± 0.0911	12,6795	0,8907
	48	0,0106	0,0467	0,131	1,6246	12,657	1.1719 ± 0.0918	13,8281	0,8391
	72	0,0059	0,0244	0,0651	0,7147	5,0382	1.2318 ± 0.0985	21,0971	0,3914

3.5. La DL50 et DL90 pour chaque stade larvaire

Les résultats des essais biologiques de toxicité par contact ont montré que toutes les huiles essentielles étaient toxiques pour le 4^{ème} et le 5^{ème} stade larvaire d'*Euphyllura olivina*, mais les effets toxiques des huiles essentielles variaient selon chaque espèce végétale (Tableau 26 et Figures 46-47-48).

L'efficacité la plus élevée a été observée avec les huiles essentielles obtenues à partir de *S.calamintha nepeta* et *E.globulus* avec des valeurs DL50 de (0.034µl pour L4, 0.058µl pour L5) et (0.047µl pour L4, 0.08µl pour L5) ; des valeurs DL90 de (0.77µl pour L4, 1.78µl pour L5) et (0.85µl pour L4, 1.7µl pour L5) respectivement.

La moindre efficacité contre le psylle de l'olivier a été observée pour l'huile essentielle de *T.vulgaris* avec DL50 égal à (0.094µl pour L4, 0.18µl pour L5) et des valeurs DL90 égal à (1.33µl pour L4 et 2.43µl pour L5).

Tableau 26 : Toxicité d'*Eucalyptus globulus*, *Satureja calamintha nepeta* et *Thymus vulgaris* avec le quatrième et cinquième stade larvaire du psylle de l'olivier.

Plante	Stade	DL10	DL 30	DL 50	DL 90	DL 99	Slope.SE	Chi²	p
<i>Satureja calamintha Nepeta</i>	L4	0,0015	0,0096	0,0343	0,778	9,9187	0.9451 ± 0.0762	92,5531	0
	L5	0,0019	0,0144	0,0584	1,7819	28,9243	0.8632 ± 0.0706	73,0791	0
<i>Eucalyptus globulus</i>	L4	0,0025	0,0142	0,0468	0,8597	9,2315	1.0135 ± 0.076	82,8555	0
	L5	0,0037	0,0228	0,0797	1,7035	20,6754	0.9637 ± 0.0716	74,435	0
<i>Thymus vulgaris</i>	L4	0,0067	0,0319	0,0943	1,3336	11,5578	1.114 ± 0.0746	59,4433	0,0016
	L5	0,0144	0,0655	0,1871	2,439	19,7808	1.1493 ± 0.0741	53,1143	0,008

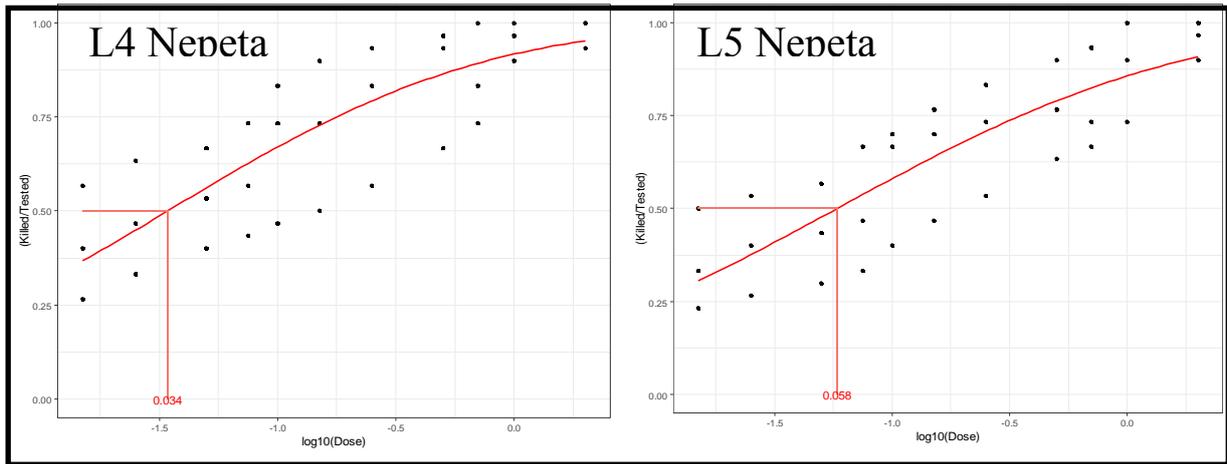


Figure 46 : Les droites de régressions de l'huile essentielle du *Satureja calamintha nepeta* pour le 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina*.

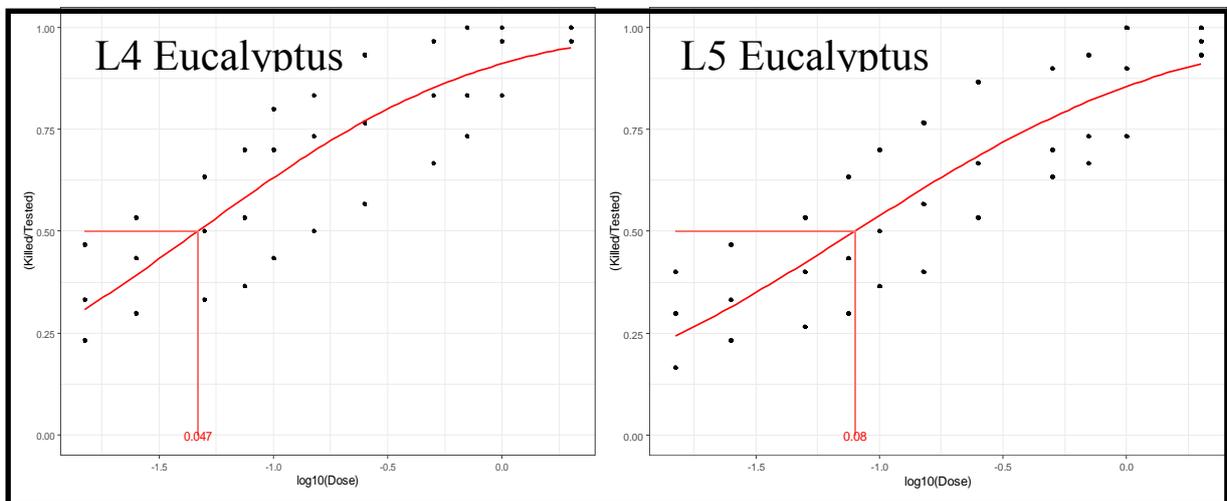


Figure 47 : Les droites de régressions de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* pour le 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina*.

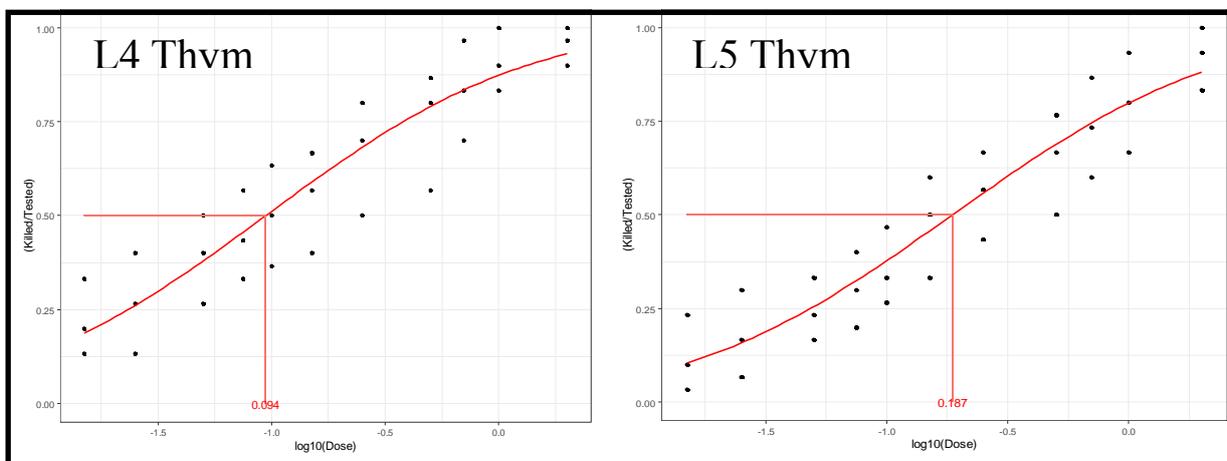


Figure 48 : Les droites de régressions de l'huile essentielle du *Thymus vulgaris* pour le 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina*.

3.6. Le Temps léthal pour chaque stade larvaire

Dans le test de toxicité par contact, l'insecte ravageur étudié présente une sensibilité similaire pour chaque huile essentielle. *S. calamintha nepeta*, *E.globulus* et *T.vulgaris* se sont avérés plus toxiques avec des valeurs de LT25 (7.83H pour L4, 9.24H pour L5) ; (8.02H pour L4, 10.22H pour L5) et (9.2H pour L4, 14.21H pour L5) respectivement et de LT50 (22.89H pour L4, 29.89H pour L5) ; (25.09H pour L4, 33.91H pour L5) et (35.39H pour L4, 58.64H pour L5) respectivement (Tableau 27).

En général, les temps létaux médians (LT50 et LT90) ont diminué avec l'augmentation des concentrations des huiles essentielles. Aux plus faibles concentrations testées (0,015µl), *E.olivina* était plus sensible à *S. calamintha nepeta* HE (LT50 de 69.23H et LT90 de 463.25H) (Tableau 27).

Tableau 27 : Le Temps Léthal (LT) pour le 4^{ème} et le 5^{ème} stade larvaire d'*Euphyllura olivina* traités avec les différentes concentrations d'*Eucalyptus globulus*; *Satureja calamintha nepeta* et *Thymus vulgaris*.

Plante	Larve	LT25	LT50	LT75	LT90	Slope.SE	Chi ²	p
<i>Satureja calamintha Nepeta</i>	L4	7,8371	22,893	66,8731	175,493	1.4488 ± 0.2016	363,8908	0
	L5	9,2422	29,8966	96,7086	278,1894	1.3229 ± 0.1977	304,0891	0
<i>Eucalyptus globulus</i>	L4	8,0273	25,0976	78,4682	218,9096	1.3624 ± 0.1995	363,7047	0
	L5	10,2204	33,9148	112,5411	331,2508	1.2948 ± 0.197	325,3221	0
<i>Thymus vulgaris</i>	L4	9,2047	35,399	136,1362	457,5891	1.153 ± 0.1962	359,6965	0
	L5	14,2171	58,6425	241,8873	865,9501	1.096 ± 0.1975	349,4	0

Tableau 28 : Le Temps Létal (LT) pour les huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*, *Thymus vulgaris* et *Satureja calamintha nepeta* contre le psylle de l'olivier ; *Euphyllura olivina*.

Plante	Dose	LT25	LT50	LT75	LT90	Slope.SE	Chi ²	p
<i>Satureja calamintha Nepeta</i>	0,015	25,4578	69,2305	188,2675	463,2536	1.5524 ± 0.5013	1,1322	0,8891
	0,025	19,9182	55,8223	156,4462	395,5312	1.507 ± 0.491	1,4822	0,8298
	0,05	15,4567	46,9016	142,3175	386,4887	1.3992 ± 0.485	2,0781	0,7214
	0,075	15,0416	38,6113	99,1137	231,5389	1.6474 ± 0.4872	2,3373	0,674
	0,1	12,7313	28,3521	63,1388	129,7919	1.9398 ± 0.4983	2,5023	0,6442
	0,15	12,0596	25,2466	52,8537	102,7707	2.1021 ± 0.5098	2,0554	0,7256
	0,25	10,5106	21,1302	42,4796	79,6413	2.224 ± 0.5324	2,4024	0,6622
	0,5	8,3422	16,4275	32,3489	59,529	2.2919 ± 0.5785	4,5311	0,3389
	0,7	7,0542	14,8197	31,1338	60,729	2.0921 ± 0.576	6,9385	0,1392
	1	6,9761	12,004	20,6557	33,6658	2.8615 ± 0.8234	5,9964	0,1994
	2	4,9554	8,344	14,05	22,4572	2.9805 ± 1.2961	1,9336	0,748
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,015	32,5158	98,5893	298,9273	811,2278	1.4001 ± 0.5158	0,8564	0,9307
	0,025	22,6015	75,5081	252,2614	747,0312	1.2875 ± 0.4958	1,3449	0,8537
	0,05	19,6183	54,5026	151,4165	379,8108	1.52 ± 0.4905	1,6398	0,8016
	0,075	18,3299	44,5475	108,2643	240,7648	1.7489 ± 0.4902	1,7786	0,7764
	0,1	14,7582	33,3074	75,171	156,3938	1.908 ± 0.4929	3,7453	0,4416
	0,15	12,9739	28,4971	62,5935	127,0856	1.9738 ± 0.499	3,1181	0,5383
	0,25	10,9867	22,233	44,9915	84,8514	2.2033 ± 0.5254	3,0291	0,553
	0,5	7,6668	16,5803	35,8567	71,7897	2.0135 ± 0.5495	4,8568	0,3023
	0,7	7,0542	14,8197	31,1338	60,729	2.0921 ± 0.576	6,9385	0,1392
	1	8,5533	13,952	22,7581	35,3503	3.1741 ± 0.823	3,8996	0,4198
	2	2,3716	4,6852	9,2558	17,0822	2.2811 ± 1.3104	2,3513	0,6714
<i>Thymus vulgaris</i>	0,015	67,517	167,618	416,1297	943,3182	1.708 ± 0.6217	4,4306	0,3509
	0,025	51,9996	118,7737	271,2941	570,5577	1.8803 ± 0.5843	2,3743	0,6673
	0,05	30,5415	112,7946	416,5682	1350,0869	1.1887 ± 0.5106	4,5774	0,3335
	0,075	22,6978	83,2266	305,1695	982,6745	1.1953 ± 0.4963	4,3546	0,3601
	0,1	17,5092	62,0251	219,7195	685,8929	1.2279 ± 0.4876	4,3808	0,3569
	0,15	14,0317	41,6942	123,8915	330,1607	1.4261 ± 0.4842	0,8428	0,9326
	0,25	9,5915	27,5654	79,222	204,8767	1.4711 ± 0.4884	2,7876	0,594
	0,5	8,6927	21,3404	52,3903	117,5726	1.7292 ± 0.5069	2,6411	0,6196
	0,7	6,9991	15,8193	35,7547	74,4863	1.9046 ± 0.5465	4,1917	0,3807
	1	5,4803	11,8203	25,4948	50,9219	2.0205 ± 0.6133	6,6258	0,157
	2	5,1737	9,3592	16,9306	28,8651	2.62 ± 0.9009	2,4255	0,658

4. Analyse de la composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont été extraites par entraînement à la vapeur et analysées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrophotométrie de masse (CPG/SM) pour déterminer les différents composants et leurs teneurs.

L'analyse chimique a montré que les huiles essentielles de *S. calamintha nepeta*, d'*E.globulus* et de *T.vulgaris* contenaient principalement des monoterpénoïdes avec des monoterpènes oxygénés comme sous-classe dominante (73.97%, 72.37% et 93,32% respectivement) (Tableau 29 - Figures 49-50-51).

4.1. Composition chimique de l'huile essentielle de *Satureja calamintha nepeta*

Les analyses GC –MS des HE de *S.calamintha nepeta* ont identifié 38 constituants, représentant 73,97 % de l'HE totale. Le pulegone (38,75%), le piperitone (7,10%), Aromadendrene (3.69%), P.menthone (2.96%), Borneol (2.64%), Isomenthol (2.63), Carvacrol (1.84%), Para-Cymene (1,52%) et Caryophyllene (1,36%) étaient les composés individuels les plus abondants.

4.2. Composition chimique de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*

Dans l'huile essentielle d'*E.globulus*, 27 composants ont été identifiés, correspondant à 72.37% de l'huile essentielle totale. Les principaux composants de l'huile essentielle d'*E.globulus* avec; Para-cymene (22.76%), Cryptone (11.13%), Spathulenol (10.13%), Eucalyptol (9.45%) et Carvacrol (3.36%). Cette composition est différente par rapport aux données précédemment publiées pour la même espèce.

4.3. Composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*

Dans l'huile essentielle de *T.vulgaris*, 18 composés ont été identifiés, représentant 93,32 % de l'huile essentielle totale. Les principaux constituants étaient le carvacrol (43.30%), le thymol (20%), le para-cymene (11.55%) et γ -Terpinene (9.17%).

Tableau 29 : Composition de l'huile essentielle de *Satureja calamintha nepeta*, *Eucalyptus globulus* et *Thymus vulgaris* en pourcentage.

<i>Satureja calamintha nepeta</i>		<i>Eucalyptus globulus</i>		<i>Thymus vulgaris</i>	
Composition	(%)	Composition	(%)	Composition	(%)
Pulegone	38.75	Para-cymene	22.76	Carvacrol	43.3
Piperitone	7.1	Eucalyptol	9.45	Thymol	20
Borneol	2.64	Cryptone	11.13	Para-cymene	11.55
P-Menthone	2.96	Aromadendrene	10.13	γ -Terpinene	9.17
Para-cymene	1.52	Carvacrol	3.36	Linalool	2.46
Isomenthol	2.63	Pulegone	0.59	α -Terpinene	1.73
Aromadendrene	3.69	Pinocarveol « trans »	1.66	Borneol	1.31
Carvacrol	1.84	Phellandral	1.37	β -Pinene	1.28
Limonene	0.92	Benzaldehyde	4.91	Limonene	0.7
γ -Terpinene	0.68	4-Isopropylphenol	1.07	Terpinen	0.71
Eucalyptol	0.24	Thujone	0.4	Caryophyllene	0.28
β -Pinene	0.27	Globulol	1.14	Aromadendrene	0.31
3-Octanol	1.2	Trans-piperitol	0.46	4-Thujanol	0.24
D-Germacrene	0.68	Spathulenol	0.45	D-Carvone	0.06
Piperitenone-oxide	0.8	Pinocarvone	0.37	Isospathulenol	0.03
Delta- Cadimene	0.71	Limonene	0.31	Verbenol	0.1
Caryophyllene	1.36	Terpinen-4-ol	1.28	Pelargol	0.01
D-Carvone	0.32	β -Pinene	0.12	Deta-Cadinene	0.08
Naphthalenol	0.36	Bicyclopropyl	0.23		
Isospathulenol	0.16	γ -Terpinene	0.17		
α -Elemol	0.22	α -Terpineol, dihydro	0.06		
Dehydroxy-isocalamindiol	0.27	1,2-Expoxylinool	0.12		
Sabinene	0.12	Isomenthone	0.08		
α -Terpinene	0.1	Lanceol « Cis »	0.27		
4-Thujanol	0.13	Neodihydro-carveol	0.29		
P-Mentha-3.8-diene	0.15	Campholaldehyde	0.07		
Camphor	0.1	α -Fenchol	0.12		
Linalool	0.24				
α -Gurjunene	0.09				
Trans-Carveol	0.09				
Humulene	0.12				
Verbenol	0.09				
D-Germacrene	0.68				
Myrtenol	0.11				
Caryophyllene-oxide	1.18				
1.2-Campholide	0.24				
Bicyclogermacrene	0.47				
Piperitenone-oxide	0.83				

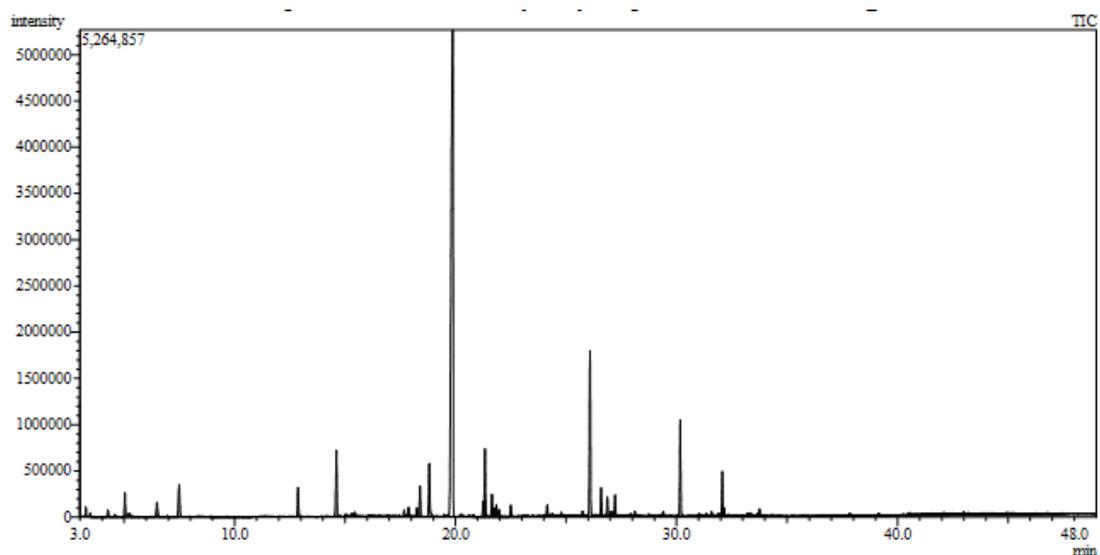


Figure 49: Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle de *Satureja calamintha nepeta*.

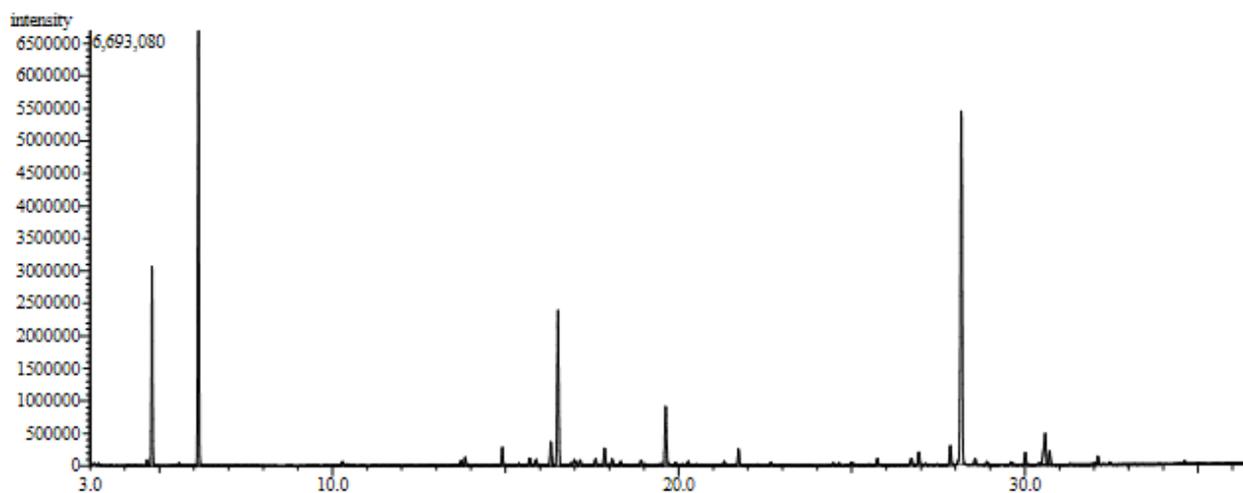


Figure 50: Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*.

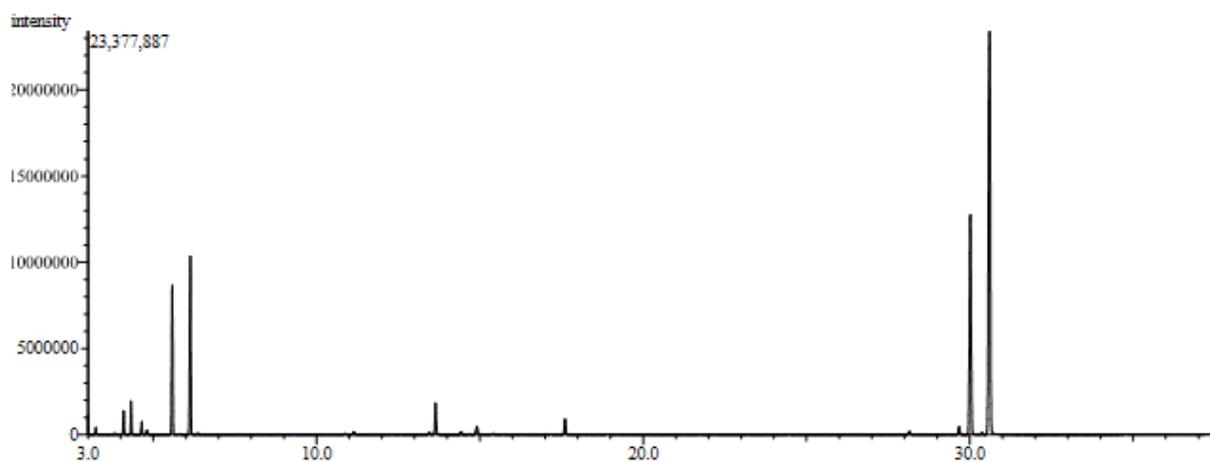


Figure 51 : Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle de *Thymus vulgaris*.

5. Discussion générale

Les feuilles de *S.calamintha nepeta* et *T.vulgaris* ont produit plus d'huile essentielle que celle d'*E.globulus*. En effet, *S.calamintha nepeta* a présenté un rendement d'extraction de 1,63% ; *T.vulgaris* a montré un rendement remarquable de 0.94% ; par contre, l'huile d'*E.globulus* se présente par le rendement le plus faible de 0.2%. Ce résultat est assez proche de celui obtenu par Hassani *et al.* (2017) qui ont obtenu, par la méthode d'hydrodistillation, un rendement assez élevé chez *Thymus vulgaris* avec 1,8%. Des rendements comparables sont aussi enregistrés dans des échantillons de *Satureja Calamintha nepeta* de différentes régions d'Algérie et du Maroc (Satrani, *et al.*, 2001; Kerbouche, *et al.*, 2013 ; Bouzidi *et al.*, 2018).

D'autre part, le rendement en huile essentielle d'*E.globulus*, qui est de 0,2 %, est très faible par rapport à celui obtenu par les rendements en huile essentielle dans les valeurs trouvées dans la littérature ; mais selon Russo *et al.* (2015), il n'y a pas de différence significative dans le rendement en huile essentielle des feuilles jeunes et matures d'*E. globulus*.

Ces différences sont, vraisemblablement, dues à plusieurs facteurs notamment : l'origine géographique, les facteurs écologiques notamment climatiques (la température et l'humidité), l'espèce végétal elle-même, l'organe végétal, le stade de la croissance, la période de cueillette, la conservation du matériel végétal et la méthode d'extraction (Bruneton, 2006 ; Bakkali *et al.*, 2008 ; Regnault-Roger *et al.*, 2008). Bien que l'origine des plantes (lieux et périodes de récolte), qui indique des conditions climatiques différentes, puisse justifier de tels écarts, l'existence de variétés à haute teneur en huile essentielle n'est pas à exclure.

En raison de leur grande volatilité, Les huiles essentielles et leurs constituants exercent des effets insecticides et peuvent réduire ou perturber la croissance de l'insecte. L'efficacité de ces huiles essentielles varie selon les variations de la composition chimique de huiles essentielles, qualitativement et quantitativement ; ces variations peuvent être en raison de certains facteurs écologiques, la partie de la plante utilisée, l'âge de la plante et la période du cycle végétatif, voire à facteurs génétiques (Butnariu, *et al.*, 2005, Ech-Chahad *et al.*, 2013 ; Caunii, *et al.*, 2015). Les compositions des huiles essentielles pourraient également être affectées par le stade de développement de la plante (Saharkhiz *et al.*, 2011).

Dans la présente étude, l'analyse de la chromatographie des trois plantes testées a montré la présence de quantités importantes de composés chimiques. Les effets toxiques de *T.vulgaris* pourraient être attribués à des constituants majeurs comme le carvacrol (43,30 %) et le thymol (20 %). Ce phénol monoterpénoïde a des effets biologiques très intéressants (Vardanian *et al.*, 2018 ; Gokturk *et al.*, 2020). D'autres auteurs concluent que la poudre de *Santoline chamayciparissus* et de *Thymus vulgaris* à des doses de 0,5 et 1 g joue un rôle très important en tant que bio-insecticide pour tester leur effet biocide sur différents paramètres biologiques étudiés sur *C. chinensis*; ils avaient une espérance de vie, faible fertilité et cycle de vie plus long que chez les témoins (Righi Assia *et al.*, 2010). Les DL 10, DL 30 et DL 50 estimées à 0,107 %, 0,188 % et 0,279 % respectivement pour *T. vulgaris*, sur l'efficacité de l'huile essentielle sur le 4^{ème} stade larvaire de *Glyphodes pyloalis* Walker (*Lepidoptera* : *Pyralidae*), était plus toxique (Yazdani *et al.*, 2014).

Par ailleurs, l'étude de Park *et al.* (2017) a révélé que la DL50 de *T.vulgaris* était de 57,48 mg/L contre les nymphes de *Pochasia. shantungensis* au moyen de l'essai biologique de trempage des feuilles, et de 75,80 mg/L contre ses adultes au moyen de la méthode d'essai biologique par pulvérisation. En ce qui concerne les composants volatils identifiés dans l'huile de *T. vulgaris*, les valeurs de la DL50 du carvacrol et du thymol obtenues par le bio essai de trempage des feuilles contre les nymphes de *P. shantungensis* étaient de 56,74 et 28,52 mg/L, respectivement. Cette huile essentielle a été aussi testée par Nabti et Bounechada (2019), pour évaluer l'effet larvicide de 5 plantes aromatiques : *Thymus vulgaris*, *Artemisia herba-alba*, *Juniperus phoenicea*, *Rosmarinus officinalis* et *Eucalyptus globulus* contre les larves de *Culiseta longiareolata* Macquart (Diptères : *Culicidae*) ; les résultats montrent clairement que l'huile de *T.vulgaris* était le plus toxique avec des doses de (DL50 = 25,64ppm, DL90 = 50,53ppm). Cela peut s'expliquer par sa richesse en monoterpènes très volatils comme la pulégone, la cryptone, la menthone et le 1,8-cinéole, comme l'indiquent de nombreuses plantes aromatiques (Hosseinzadeh *et al.*, 2015).

Les résultats de nos bios essais d'efficacité, sur le 4^{ème} et le 5^{ème} stade larvaire d'*E.olivina*, montrent une toxicité inférieure de l'huile essentielle de *T. vulgaris* par rapport aux deux autres plantes testées. Les principaux composés de l'huile de thym sont les monoterpènes oxygénés ; Thymol, Carvacrol et Linalol, et le P-cymene comme monoterpène non oxygéné (Jevremović *et al.*, 2019).

Par contre, l'huile essentielle de *S. calamintha nepeta* était le plus efficace contre le 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina*. Les études concernant l'effet insecticide de l'huile de *S. calamintha nepeta* sont presque rares. En effet, le potentiel insecticide plus élevé de *S. calamintha nepeta* pourrait être attribué aux taux élevés de pulégone, menthone et menthol, trois monoterpènes oxygénés bien connus pour leur forte activité insecticide. En ce qui concerne l'huile essentielle de *Satureja calamintha nepeta*, l'effet létal sur le psylle de l'olivier est, fort probablement, dû à l'effet toxique important du composant majeur le pulégone (38,75 % - Analyses GC-MS : Tableau 29-Figure 49). Nos résultats sont assez proches à ceux de Butu *et al.* (2015) et Butnariu *et al.* (2016) qui ont noté que la composition chimique de l'huile essentielle de l'espèce d'origine Serbian contient principalement du pulégone (75,5 %) par rapport à Ech-chahad *et al.* (2013) qui ont enregistré une dominance du Bornéol (34,52 %) au Maroc. D'autre part, Righi *et al.* (2018) ont prouvé l'effet toxique et répulsif de trois plantes médicinales algériennes contre les parasites des denrées stockées : *Ryzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera : Bostrichidae) ; ils ont montré que l'huile essentielle de *S. calamintha nepeta* a un effet biocide très important avec une mortalité de 100 % à une concentration de 5 µL (F Cal = 3,49 et F Théo = 0,61) même à la première heure de traitement.

Concernant l'huile essentielle d'*E. globulus* vis-à-vis du psylle de l'olivier, les résultats obtenus ont montré sa grande efficacité. En effet, la littérature scientifique indique que l'huile essentielle d'*E. globulus* est connue pour ses effets insecticides, répulsifs et anti appétissants (Russo *et al.*, 2015; Russo *et al.*, 2018 ; Harizia *et al.*, 2020). Une forte action répulsive est aussi signalée, par Mishra *et al.* (2012), contre deux insectes ravageurs des grains stockées : *Tribolium castaneum* et *Sitophilus oryzae* ; par contre, Trongtokit *et al.* (2005) n'observent qu'une faible activité répulsive contre *Aedes aegypti* et les larves de *Cydia pomonella*.

La toxicité par contact observée dans nos essais de l'huile essentielle d'*E. globulus* peut être attribuée à la richesse du para-cymène, du spathulénol, du cryptone et de l'eucalyptol (22,76 % pour le premier et 11,13 % pour le troisième : Tableau 29 – Figure 50). Nos résultats sont comparables à ceux de Joshi *et al.* (2016) qui ont démontré que les composés dominants de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* cultivée à Dehradun, en Inde, sont l'Eucalyptol (1,8- cinéole) 54,79 %, la Pinene 18,54 % à- la Pinene 11,46 %, l'Eudesmol 4,68 %, le Para-cymene 1,60 % et le Gamma- Eudesmol 1,20 %

Les propriétés insecticides de l'huile essentielle d'*E. globulus* sur le psylle sont peu documentées. En laboratoire, l'*E. globulus* aurait une activité insecticide sur les pucerons : *Aphis nerii*, *Aphis gossypii* et *Aphis fabae* (Mareggiani *et al.*, 2008; Russo *et al.*, 2018; Harizia *et al.*, 2020), sur les insectes ravageurs : *T. castaneum* et *Tribolium confusum* (Ebadollahi, 2011; Russo *et al.*, 2015) et même une action acaricide contre *Tetranychus urticae* (Afify *et al.*, 2012).

Récemment, Russo *et al.* (2018) ont également montré les propriétés insecticides de l'huile essentielle contre *Aphis nerii*, après 30 min d'exposition, le traitement à 0,20 $\mu\text{L. cm}^{-2}$ avait 35 % d'adultes morts, tandis que tous les insectes mouraient aux concentrations les plus élevées (0,15 $\mu\text{L cm}^{-2}$ et 0,20 $\mu\text{L cm}^{-2}$) après 24 heures et 48 heures, respectivement. Les mêmes auteurs ont trouvé une valeur de DL50 de 0,099 $\mu\text{L. cm}^{-2}$ sur les disques filtrants après 12 heures d'exposition en laboratoire.

Dans les essais en plein champ, Mousa *et al.* (2013) ont également montré qu'*E.globulus*, l'huile diluée à 3 %, est efficace pour réduire de 80,66 % les populations de deux espèces de pucerons *Macrosiphum sp.* et *Aphis craccivora* dans les champs des fèves.

En conclusion, les résultats justifient le potentiel répulsif et biocide des trois plantes étudiées contre le 4^{ème} et 5^{ème} stades larvaires du psylle de l'olivier. Ces huiles peuvent donc constituer un moyen efficace de lutte contre certains insectes ravageurs des plantes. Cependant pour que ces produits puissent être encore utilisés, ils ne doivent pas présenter d'effets néfastes pour le manipulateur, le consommateur, et l'environnement.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude sur le psylle de l'olivier *Euphyllura olivina*, dans la région de Mascara a permis d'obtenir plusieurs résultats. De par la multitude des situations observées et les nombreuses données engrangées, il n'a pas été possible de tout analyser. De même, le caractère d'observation et non d'expérimentation de cette étude a nécessité une constante adaptation, voire modification du protocole lors de notre suivi.

Néanmoins, ce suivi a permis de mettre en lumière plusieurs résultats.

Au début, l'étude de la nervation alaire et des génitalia a permis de confirmer l'identification de l'insecte ravageur de l'olivier *Euphyllura olivina*.

Il nous a été permis de constater une absence des individus du psylle sur les premiers échantillonnages. L'infestation par le psylle de l'olivier et l'évolution de sa population a été enregistrée à partir du 29/03/2019 avec de faibles abondances. Les adultes observés lors de ces premiers comptages proviennent vraisemblablement de l'émission des larves de la saison hivernale.

L'étude de la dynamique des populations d'*Euphyllura olivina* a mis en exergue l'existence de deux générations pendant notre période. Les conditions climatiques saisonnières et la plante hôte constituent vraisemblablement un facteur régulateur de l'évolution de psylle : le printemps est la saison la plus favorable à la pullulation de psylle de l'olivier. La densité du ravageur semble atteindre des niveaux de population justifiant des mesures de protection sanitaire de l'olivier.

Selon l'orientation de l'arbre et dans les deux sites d'étude, une différence significative dans l'évolution des populations du psylle de l'olivier *E. olivina* est enregistrée. On peut donc déduire que le nombre cumulé des différents stades du psylle de l'olivier *E. olivina* varie selon l'orientation. En effet, les individus des stades L2 et L3 étaient plus dominants selon l'orientation Est, alors que le nombre de femelles adultes était plus élevé dans les côtés Sud, Nord et Est. Par contre, les effectifs d'œufs pondus étaient très importants dans toutes les orientations.

Le taux d'infestation était plus élevée dans la ferme irriguée que dans la ferme avec peu de pluie, et l'activité de l'insecte était fort probablement influencée et liée aux facteurs météorologiques.

Nous avons également constaté une relation significative entre la saison et la fluctuation de la population d'*E. olivina*. Ce phénomène, associé à des conditions climatiques différentes comme le montrent les précipitations de février à mi-avril, pourrait expliquer pourquoi il n'y a pas eu d'augmentation de la population en mars.

La mise en place d'une lutte intégrée s'avère donc nécessaire et même indispensable pour maintenir le psylle de l'olivier au-dessous de son seuil de nuisibilité sans pour autant affecter l'équilibre écologique de la biocénose de l'olivier. Cette lutte intégrée doit inclure des pratiques culturales adéquates, l'introduction de cultivars résistants, une lutte chimique rationalisée et une lutte biologique appropriée.

Dans ce contexte, les deux derniers chapitres de la partie expérimentale ont été réservés à des essais et des tests d'efficacité des champignons entomopathogènes et des huiles essentielles à l'égard du psylle d'*Euphyllura olivina*.

Les essais des champignons entomopathogènes est réalisé pour la première fois en Algérie et dans le bassin méditerranéen pour lutter contre le psylle de l'olivier. Pour cela nous avons étudié la virulence de trois isolats de champignons entomopathogènes, *Fusarium sp*, *V. lecanii* et *I. fumosorosea* dans les conditions de laboratoire.

Nos résultats montrent clairement que les facteurs physiques et chimiques ont un effet prononcé sur les caractères physiologiques du champignon. Pour les champignons testés, il a été constaté que l'isolat de *Fusarium sp* a une croissance diamétrale plus élevée sur le milieu Sabouraud-dextrose-agar. De même, l'isolat de *Verticillium lecanii* a présenté une croissance rapide sur SDA. Enfin, la croissance mycélienne de l'isolat d'*Isaria fumosorosea* est plus élevée sur le milieu SDA. Il a été aussi remarqué que la survie et la pathogénicité des champignons entomopathogènes varient donc en fonction du facteur de l'environnement. Le pH, la température, le rayonnement UV étant des facteurs abiotiques importants affectant les champignons entomopathogènes. Notre étude sur l'effet du pH sur la croissance mycélienne des trois isolats de champignons entomopathogènes a indiqué que ces isolats peuvent se développer sur des pH variant entre 4,5 et 8,5.

L'effet de la température optimum pour la croissance mycélienne des isolats testés est comprise entre 20°C et 30°. Les optimums thermiques de la croissance, déterminés par l'analyse macroscopique du développement de colonies fongiques in vitro, sont étroitement corrélés avec les optimums de germination et de sporulation. Les concentrations sublétales (CL10), CL30 et létales (CL50 et CL90) des trois champignons entomopathogènes expérimentés, ont montré que *I. fumosorosea* a causé une mortalité plus importante et plus élevée sur les larves des quatrièmes et cinquièmes stades.

Le taux de mortalité des insectes dû aux infections de champignons entomopathogènes est influencé à la fois par des facteurs internes et externes. Les propriétés virulentes des champignons entomopathogènes sont principalement influencées par la production de mycotoxines et la viabilité des conidies. *I. fumosorosea* est resté le plus efficace contre le psylle, causant 100% de mortalité des psylles dans les 5 jours suivant le traitement.

Le résultat de rendement en huile essentielle obtenu à partir de trois plantes aromatiques. *S. calamintha nepeta* et *T. vulgaris* ont produit plus d'huile essentielle que celle d'*E. globulus*. En effet, *S. calamintha nepeta* a présenté un rendement d'extraction de 1,63% ; *T. vulgaris* a montré un rendement remarquable de 0.94% ; par contre, l'huile d'*E. globulus* se présente par le rendement le plus faible de 0.2%.

Les résultats obtenus dans notre travail ont montré une forte efficacité des huiles essentielles d'*E. globulus* et *S. calamintha nepeta* contre le 4^{ème} et 5^{ème} stade larvaire d'*E. olivina*. Cela peut se traduire par les activités répulsives importantes de ces deux (2) sur *E. olivina* qui agissent comme bio insecticides, répulsifs et antiappétissants.

L'effet léthal de l'huile essentielle de *Satureja calamintha nepeta*, sur le psylle de l'olivier est, fort probablement, dû à l'effet toxique important du composant majeur le pulegone

D'autre part, la toxicité par contact observée de l'huile essentielle d'*E. globulus* peut être attribuée surtout à la richesse de l'eucalyptol.

À l'inverse, l'huile essentielle de *T. vulgaris* a montré une puissance moins élevée dans le test de toxicité des larves par rapport aux deux autres plantes testées. Cela peut s'expliquer par sa faiblesse en monoterpènes très volatils tels que le cryptone, Menthone et le 1,8-cinéole comme rapporté dans de nombreuses plantes aromatiques

A l'issu de ce travail, nous émettons quelques réflexions et recommandations sous forme de perspectives :

- ✓ S'intéresser surtout au nombre de générations ;
- ✓ Etudier le taux de survie ainsi qu'au développement de parasitoïdes ;
- ✓ Etablir la composition chimique complète de ces huiles essentielles étudiées ;
- ✓ Déterminer le mécanisme d'action exact de ces huiles essentielles ;
- ✓ Tester différentes doses sur les autres stades (adulte) du psylle ;
- ✓ Vérifier leurs effets sur les auxiliaires naturels et leur persistance d'action dans les conditions de production.

Ce travail aussi modeste qu'il soit pourra ouvrir de nouvelles perspectives d'étude de la biologie d'*Euphyllura olivina* à une échelle plus fine, s'intéressant notamment à une lutte biologique propre et efficace pour lutter contre ce ravageur. Les travaux ultérieurs tenteront, sans aucun doute, de répondre à ces préoccupations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Abo-Shanab, A. S. H., 2000.** Efficiency of biocides and insecticides on control of an Economic pest "population dynamics" and integrated pest management of psyllid, *Euphyllura straminea* on olive trees in burg el-Arab. PhD thesis, Faculty of Agriculture, Alexandria University, Egypt.
- Abutbul, A., Golan-Goldhirsh, A., Barazani, O., Zilberg, D., 2004.** Use of *Rosmarinus officinalis* as a treatment against *Streptococcus iniae* in tilapia (*Oreochromis* sp.). *Aquaculture*. 238, 97-105.
- Aby, N., 2013.** Lutte biologique contre le charançon noir du bananier *Cosmopolites Sordidus Germar* (Coléoptère, Curculinodae) en Côte d'Ivoire : Caractéristiques entomopathologiques d'isolats locaux de *Metarhizium* sp. Sur les populations au laboratoire et en bananeraie, mémoire de thèse de Doctorat présentée à l'UFR biosciences de l'université de Cocody, p169.
- Adamou, S., Bourennan, N., Haddabi, F., Hamidouch, S., 2005.** Quel rôle pour les fermes pilotes dans la préservation des ressources génétiques en Algérie ? Série de document travail n°126, Algérie, 79p.
- Afidol, 2011.** Les guides de l'afidol : protection raisonnée et biologique .centre technique de l'olivier. Ed. Association Française interprofessionnelle de l'Olive, Aix-en Provence, 40p.
- Afidol, 2012.** Protection raisonnée et biologique en oléiculture. Ed : Association française interprofessionnelle de l'olive, Aix-en- Provence .04p.
- Afidol, 2015.** Protection raisonnée et biologique des oliveries. Ed: Les guides de l'afidol. Association Française interprofessionnelle de l'Olive, Aix-en- Provence,76p.
- Afidol, 2017.** Maison des agriculteurs- 22 avenue Henri Pontier 13626AIX-EN PROVENCE., Cahier de l'oléiculteur.
- Afiy, A.M., Ali Fatma, S., Turkey, A.F., 2012.** Control of *Tetranychus urticae* Koch by extracts of three essential oils of chamomile, marjoram and Eucalyptus. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 2: 24-30.
- AFNOR-** Association Française de normalisation [Internet]. [cité 19 nov 2017]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/resources/extraits/3177581CD.pdf>
- Alexendrien, D., 1992.** Essences forestières, Guide technique du forestier méditerranéen français. Edition techniques et documentation lavoisier, paris. 80p.
- Alrouechdi, K., 1980.** Les chrysopes en vergers d'olivier. Bio-écologie de *chrysoperlacarnea* Steph.(Neuroptera, Chysopidae) ; relations comportementales et trophiques avec certaines espèces phytophages. Paris VI, France : Thèse Docteur Ingénieur, Université pierre-et-Marie Cuire,; 198p.
- Alves, S.B., Almeida, J.E.M., Moino Junior, A. and Alves, L.F.A. 1998.** Técnicas de laboratório. In: ALVES, S.B. (Ed.). Controle microbiano de insetos. 2. Ed. Piracicaba: FEALQ, cap. 20, p. 637-712.
- Amiot, J., 2005.** *Thymus vulgaris*, un cas de polymorphisme chimique pour comprendre l'écologie évolutive des composés secondaire. Thèse de doctorat-Ecole nationale supérieure d'Agronomie de Montpellier.
- Amouretti, M. C., Comet, G., 2000.** Le livre de l'olivier. Ed. EDISUD. Aix-en-Provence, France, 107p.
- Aouadhi, S., 2010.** Atlas des risques de la phytothérapie traditionnelle. Étude de 57 plantes recommandées par les herboristes. Mémoire de master en toxicologie. Faculté de Médecine de Tunis.
- Arakelian, G., 2007.** Olive psyllid (*Euphyllura olivina*). Internet publication.
- Arambourg, Y., 1984.** La faune entomologique de l'olivier. *J 0/ivae*; 4: 14-21.
- Arambourg, Y., 1986.** Traité d'entomologie oléicole. Espagne: Conseil oléicole international,; 360 p.
- Arambourg, Y, Chermiti, B., 1986.** *Euphylluraolivina* Costa-Psyll/idae. Traité d'entomologie oléicole. Espagne : Conseil oléicole international,; 163-71.
- Argenson, C., Regis, S., Jourdain, J.M., et Vayesse, P., 1999.** L'olivier. Ed.C.T.I.F.L, 203p.
- Assawah, M.W., Avat, M., 1985.** On certain diseases of olive trees at Oran area. Premières journées scientifiques de la société Algérienne de microbiologie. Avril, Institut Pasteur, Algérie, 1-9.
- Atwal, A. S., Chaudhary, J. P., Ramzan, M., 1970.** Studies on the development and field population of citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuwayana (Homoptera: Psyllidae). *Journal of Research Punjab Agricultural University*, 7(3): 333–338.

- Avenard V., 2008.** L'olivier et les vertus thérapeutiques de ses feuilles. Thèse. Doct. D'état. Univ. De Nantes. France. 104p
- Arredondo-Bernal, HC, Montesinos-Matías, R., 2015.** Characterization of entomopathogenic fungi used in the biological control programme of *Diaphorina citri* in Mexico. *Biocontrol Sci Tech*, 25:1192–1207
- Ayla, K., Fatih, S., et Fatih, G., 2009.** Nutlet surface micromorphology of Turkish *Satureja* (Lamiaceae). *Biologia* 64(5), 902—907.
- Baba Aissa, F., 1999.** Encyclopédie des plantes utiles (Flore d'Algérie et du Maghreb). Substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident, Ed. Edas, 178 p.
- Bachelot, C., Blaise, A., Corbel, T., et Guernic, A., 2005.** Les huiles essentielles. Licence en BIOLOGIE, U.C.O Bretagne Nord, 27 p.
- Bakkali, F., Averbek, S., Averbek, D., Idaomar, M., 2008.** Biological effects of essential oils—a review. *Food Chem Toxicol.* 46(2): 446-75.
- Barjol, J.L., 2014.** L'économie mondiale de l'huile d'olive. OCL 21, D502.
- Batish, R., Singh, P., Ravinder, K. et Kaur, S., 2008.** Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. Vol. 256, n° 12, pp. 2166-2174.
- Baverstock, J., Roy, H.E., Pell, J.K., 2010.** Entomopathogenic fungi and insect behaviour: from unsuspecting hosts to targeted vectors. *BioControl* 55: 89-102.
- Bechiche, 2017.** Contribution à l'étude bioécologique du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* (Hemiptera: Psyllidae) sur deux variétés d'olivier à Magra – Wilaya de M'Sila. Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation en agronome 9p ; 10p ; 25p.
- Belaj, A., Satovic, Z., Rallo, L., Trujillo, L., 2002.** Genetic diversity and relationships in olive (*Olea europea* L.) germplasm collections as determined by randomly amplified polymorphic DNA. *Theor. Appl. Genet*, 105 : 638-644.
- Belgout, A., Slimani, I., 2020.** Écobiologie du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* (Costa, 1839) (Hemiptera : Liviidae) dans la région de Hassi Mamèche, wilaya de Mostaganem, Master Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vi 87 PP.
- Belguendouz-Benkhef R. et Benrima A. 2015.** Etude de la dynamique des populations de *Parlatoria ziziphi* lucas sur clémentinier dans la région de mitidja. *Revue Agrobiologia* 2015; N°7, 21-26.
- Belhamdounia, S., 1993.** Contribution à l'étude bioécologique des principaux ravageurs de l'olivier dans la plaine de Tadla. Thesis 3rd cycle, Faculty of Sciences, Marrakech, Maroc.
- Bellahcene M., Fortaz Z., Belabid L., Nicole M., 2007.** Importance et distribution de *Verticillium dahliae*, agent de la verticilliose de l'olivier en Algérie.
- Benassy C., 1986.** Entomologie oléicole. Diaspididae. Ed. Conseil oléicole international, Juan Bravo, Madrid, Espagne, 282p.
- Benhayoun G., Lazzeri Y., 2007.** L'olivier en Méditerranée : du symbole à l'économie. Paris : l'Harmattan. 140 p.
- Benouzza S., 2012.** Inventaire de la mycoflore de la rhizosphère de l'olivier et étude de ses potentialités antagonistes vis-à-vis de *Verticillium dahliae* Kleb : agent de la verticilliose de l'olivier. Mémoire de Magister en Biotechnologie. Université d'Oran.
- Benserradj O., 2014.** Evaluation de *Metarhizium anisopliae* à titre d'agent de lutte biologique contre les larves de moustiques. Thèse de Doctorat 3ème cycle en Bioprocédés et Biotechnologies, Applications Mycologiques ; Département de Microbiologie, Université Frères Mentouri Constantine 1 ; 170 p.
- Bensouici C., Benmerache A., Chibani S., Kabouche A., Abuhamdah S., Semra Z., Kabouche Z., 2013.** Antibacterial activity and chemical composition of the essential oil of *Satureja calamintha ssp. Sylvatica* from Jijel, Algeria. *Der Pharmacia Lette*, 5 (2), 224-227.
- Benthorpe D. V., Charood B.V., 1972.** Chemistry of terpenes and terpenoids. Ed. A.A. New Man Academie press, London and New York, pp :337-374.
- Benz G., 1987. Environment. Epizootiology of insect diseases, Fuxa JR & Tanada Y (Édit.) Wiley-Interscience, New York, USA. p 177-214.
- Bianchi G., 2003.** Lipids and phenols in table olives. *European Journal of Lipids and Science Technology*, 105: 229-242.
- Biche, M. 1987.** Bioécologie de *Parlatoria oleae* Colvée (Hom. Diaspididae) ravageur de l'olivier, *Olea europaea* L. dans la région du Cap-Djenet (Algérie) et étude biologique de son parasite externe *Aphytis maculicornis* Masi (Hym. Aphelinidae). *Mém. Dip. Univ. Rech., Univ. Nice*, 119.

- Biche M. et Sellami M., 2011.** Biology of *Parlatoria oleae* (Homoptera, Diaspididae) in the area of Cap-Djinet (Algeria). Agriculture and Biology Journal of North America, 2: 52-55.
- Blomquist, C. L., Kirkpatrick, B. C., 2002.** Frequency and seasonal distribution of pear Psylla infected with the pear decline phytoplasma in California pear orchards bacteriology. Phytopathology, 92(11): 1218–1226, Doi: 10.1094/PHYTO.2002.92.11.1218
- Boucias D.G., Pendland J.C., 1991.** Attachment of mycopathogens to cuticle. In: The Fungal Spore and Disease Initiation in Plants and Animals. (Cole GT, Hoch HC (Editors). Plenum Press, New York.
- Boudjema, K., Bouanane, A., Gamgani, S., Djeziri, M., Mustapha, M.A., Fazouane, F., 2018.** Phytochemical profile and antimicrobial properties of volatile compound of *Satureja calamintha* (L) Scheel from northern Algeria. Tropical Journal of Pharmaceutical Research. 17 (5): 857-864. Doi : <http://www.tjpr.org> <http://dx.doi.org/10.4314/tjpr.v17i5.16>
- Bougandoura N., 2013.** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. Nature & Technologie. Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques, n° 09. 14-19.
- Boukhari R., 2014.** Contribution à l'analyse génétique et caractérisation de quelques variétés d'olivier et l'influence de l'environnement sur leurs rendements au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou ; université Tlemcen. Ingénieur en Agronomie. p9.
- Boulouha M., 2006.** « Contribution à l'amélioration de la production et la régularité de la production chez l'olivier » (*Olea europaea* L.) "Picholine Marocaine". Revue olivaie, N°58 : 54-57.
- Bouzidi, N., Mederbal, K., Bouhadi, D., 2018.** Chemical composition of the essential oil of *Satureja calamintha* subsp. *Nepeta* of west Algerian. Mor. J. Chem. 6 (2): 213-217. Doi : <http://revues.imist.ma/?journal=morjchem&page=login>
- Bouzouita N., Kachouri F., Ben halima M., et Chabouni M.M., 2008.** Composition chimique et activités antioxydante, antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea*, J. Soc Chim. Tunis., 10, 119-125.
- Bradfish G. A., Harmer S. L., 1990.** Omega-Conotoxin GVIA and nifedipine inhibit the depolarizing action of the fungal metabolite, destruxin B on muscle from the tobacco budworm (*Heliothis virescens*). Toxicon. 28 (11): 1249-1254.
- Breton C., Medjal F., Pinatel C., Breville A., 2006.** De l'olivier à l'oléastre. La cochenille noire de l'olivier *Saissetia oleae* (Bern). 14p.
- Brhadda N., Abousalim A., Walali-Loudiyi D.E., Benali D., 2003.** Effet du milieu de culture sur le microbouturage de l'olivier (*Olea europaea* L.) cv. Picholine Marocaine. Ed. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Maroc. pp : 177-182.
- Bruneton J., 2016.** Pharmacognosie - Phytochimie, plantes médicinales - (5° Edition). Lavoisier; 2016.
- Bruneton, J., 1999.** Pharmacognosie, phytochimie: Plantes médicinales, Eds. Technique et documentation Lavoisier, Paris.
- Burgess LW, Summerell BA., Bullock S., Gott K.P., Backhouse D., 1994.** Laboratory manual for Fusarium research, 3rd ed. University of Sydney, Sydney, Australia.
- Butnariu, M., Goian, M., Ianculov, I., Gergen, I., Negrea, P., 2005.** Studies about CO²⁺ ion influence on soy plants development and acumulation of other chemical elements (Iron, magnesium, calcium, potassium and phosphorus), Revista de chimie, 56(8), 837–841.
- Butnariu, M., Sarac, I., Pentea, M., Samfira, I., Negrea, A., Motoc, M., Buzatu, A.R., Ciopec, M., 2016.** Approach for Analyse Stability of Lutein from *Tropaeolum majus*, Revista de chimie, 67(3), 503–506.
- Butt, T.M., Ibrahim L., Ball B.V., Clark S.J., 1994.** Pathogenicity of the entomogenous fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against crucifer pests and the honey bee. Biocontr.; Sci. Technol. 4 :207-214.
- Butt, T.M., Goettel MS, 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>
- Butt, T. M., L. Ibrahim, B. V., S. J. Clark et A. Beckett., 1995.** The germination behavior of *Metarhizium anisopliae* on the surface of aphid and flea beetle cuticles. Mycol. Res. 99: 945- 950. Canning, E. U. (1982). An evaluation of protozoal characteristics in relation to biological control pests. Parasitology 84, 119-49.
- Butu, A., Rodino, S., Golea, D., Butu, M., Butnariu, M., Negoescu, C., Dinu– Pirvu, C.E., 2015.** Liposomal nanodelivery system for proteasome inhibitor anticancer drug bortezomib, Farmacia. 63(2), 224–229.

- Campos R.A., Arruda W., Boldo J.T., da Silva M.V., de Barros N.M., de Azevedo J.L., Schrank A., Vainstein M.H., 2005.** *Boophilus microplus* infection by *Beauveria amorpha* and *Beauveria bassiana*: SEM analysis and regulation of subtilisin-like protease and chitinases. *Cur. Genet.* 50:257-261.8aaq.
- Carson C.F., Riley T.V., Bosque F. 2002.** Antimicrobial activity of the major components of essential oil of *Malaleuca alternifolia*. *Journal of Applied Bacteriology*. Vol 78, pp. 264-269.
- Caunii, A., Butu, M., Rodino, S., Motoc, M., Negrea, A., Samfira, I., Butnariu, M., 2015.** Isolation and Separation of Inulin from *Phalaris arundinacea* Roots, *Revista de chimie*, 66(4), 472–476.
- Chabasse D., Bouchara.J-P., Gentile L., Brun S., Cimon B. et Penn P., 2002.** Cahier de
- Chafaa, S., Dambri, B., Chabri, H., 2017.** Premières données sur le cycle biologique et la dynamique des populations du psylle de l'olivier (*Euphyllura olivina* Costa (1839) Hemiptera: Psyllidae) dans la région de Ain Touta – Wilaya de Batna– Nord–Est de l'Algérie. In: 11e Conférence Internationale Sur Les Ravageurs Et Auxiliaires En Agriculture Montpellier, France, 25–26 Octobre 2017, 18: 186–195.
- Chamley A.K., St Leger., 1991.** The role of cuticle degrading enzymes in fungal pathogenesis of insects. In : *The fungal spore and disease initiation in plants an animals*. Plenum Publishing Co.,New York, p 267-286.
- Chaumont M., Paquin C., 1971.** *Carte pluviométrique de l'Algérie*.Édit. Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, Alger, carte au 1/500000 en quatre feuilles + notice, 24 p.
- Chaumont, M., Paquin, C, 1971.** Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500 000e , 4 feuilles + notice. Soc. Hist Nat. Afrique du Nord, Alger, 25 p.
- Chemseddine M., 1988.** Les arthropodes liondicoles de l'olivieraie du Haouz (Maroc):Evolution spatio-temporelle des peuplements et bio-écologie des espèces dominantes. Thèse de Doctorat d'Etat esSci. Nat. 169 pp.
- Chenaoua A., 2010.** Inventaire de l'entomofaune de l'olivier. Etude préliminaire de *Bactrocera oleae* Gmel (Diptera : Tephritidae) et de *Saissetia oleae* Bern (Homoptera : Lecanidae) dans la région de Blida. Thèse. Ing. Agro. ENSA. El-Harrach, 62p.
- Chermi B., 1983.** Contribution à l'étude bioécologique du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (*Hom* ; *Psyllidae*) et de son endoparasite *Psyllaephagus euphyllurae* Silv. (*Hym. Encyrtidae*). Thèse Doctorat. Ingénieur, Université d'Aix-Marseille, France,; 134 p.
- Chermi B., 1986. Etude morphologique et biométrique des différents stades du psylle de l'olivier. Réunion sur la protection phytosanitaire. Projet régional d'amélioration de la production oléicole. Sfax (Tunisie). April 1986 : 247-266.
- Chermi B., 1989.** Dynamique des populations du psylle de l'olivier *E. olivina*, en conditions méditerranéennes. Thèse Doctorat Es-Sciences, Université d'Aix-Marseille, France, 224 p.
- Chermi B., 1992.** Approche d'évaluation de la nocivité du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* (Costa) (Homoptera, Aphalaridae). *Lab. Zool. ESH Chott Mariem 4042 Sousse Tunis*. 34–42.
- Chermi B. Arambourg Y., 1986 :** *Psyllidae. Euphyllura olivina* COSTA.F.A.O.PNUD, p.163-171.
- Chermi B., Onillon J. C., 1986.** Influence de la température sur le potentiel biotique du psylle. Ed. Conseil. Oléic. Intern. (C.O.I.), Madrid, p 229-246.
- Chermi B., Onillon J., 1993.** Evaluation of damage caused by the autumn generation of Olive psyllid: *Euphyllura olivina* (Costa) (Hom.: *Aphalaridae*) at Hedra (Monstir, Tunisia).- *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen universiteit Gent*, 58: 667-676.
- Chikhoun A., 2007.** Huiles essentielles de thym et d'origan étude de la composition chimique, de l'activité antioxydant et antimicrobienne, thèse de magister en agronomie, institut national agronomique El Harrach-Alger, p 12-25.
- Cho G., Lee J.H., Choi D.S., 2021.** First interception of olive psyllid *Euphyllura olivina* (Costa, 1839) (Hemiptera: Psylloidea) in the East Palaearctic region. *Phytoparasitica*, 49 : 865–868. DOI : <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00924-w>
- Chow A., Dunlap C.A., Jackson A., Flores D., Patt J.M., Sétamou M. 2016.** Oviposition behavior and survival of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), an ectoparasitoid of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), on hosts exposed to an entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae), under laboratory conditions. *Journal of Economic Entomology*, 109: 1995-2000.
- Civantos L., 1999.** Contrôle des parasites et des maladies de l'olivier. (eds.). Conseil Oléicole International, Madrid, (Espagne). 207p.
- Clarkson J.M., Charnley A.K., 1996.** New insights into the mechanisms of fungal pathogenesis in insects. *Trends in Microbiology* 4: 197-203.

- Claros M.G., Crespillo R., Aguilar M.I., Canovas F.M., 2000.** DNA finger printing and classification of geographically related genotypes of olive tree (*Olea europea* L.). *Ephytica*, 116 : 131-142.
- COI., 2007.** Technique de production en oléiculture, Alger, 35p.
- COI., 2013.** Estimations pour 2013/2014, Market news letter n° 76-October 2013, 16p.
- COI., 2019.** Le marché de l'huile d'olive au niveau national et mondial et mécanismes de régulation Observatoire National de l'Agriculture (ONAGRI), le 3 février 2020.
- Colbrant P. et Fabre P., 1979.** Stades de développement de l'olivier. Échelles des stades de Ed. p 171-220. *la Protection des Plantes Bulletin* 20(19), Edition 1990, p. 641-644.
- Connor D.J., 2005.** Adaptation of olive (*Olea europea* L.) to water environments. *Aust. J. Agris. Res.* 56 :1181-1189.
- Couic-Marinier F. Lobstein A., 2013.** Les huiles essentielles gagnent du terrain à l'officine. *Actualités pharmaceutiques*
- Coutin R., 2003.** Les insectes de l'olivier. Fiche pédagogique. N°130. P20.
- Dajoz R., 1971.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.
- Dajoz R., 1996.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 551p.
- Davidson FA, Sleeman BD, Rayner ADM, Crawford JW, Ritz K. 1996.** Context dependent macroscopic patterns in growing and interacting mycelial networks. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 263:873–80.
- Davidson P.M., 1997.** Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. In: M. P. Doyle, L. R. Beuchat and T. J. Montville (eds.) *ASM, Washington. Food Microbiology.* 520-556 p.
- De Andrés C., 1977.** Estados tipo fenológicos del olivo. *Olivar, Separata*, (1), 18 p.
- De Melo M.M.R., Şen, A., Silvestre A.J.D., Pereira H., Silva C.M., 2017.** Experimental and modeling study of supercritical CO₂ extraction of *Quercus cerris* cork: Influence of ethanol and particle size on extraction kinetics and selectivity to friedelin. *Sep. Purif. Technol.* 187, 34–45.
- Deacon, J.W., 1980.** Ectotrophic growth by *Phialophora radicularis* and other parasites of cereal and grass roots. *Trans. Br. mycol. Soc.* 75 :158–160.
- Debaisieux F., Polese J., 2009.** Plantes médicinales. Edit Debaisieux. France. P : 4-5., pp:8-9.
- Debo, A., Yangui T., Dhouib A., Ksantini M., & Sayadi S., 2011.** Efficacy of a hydroxytyrosol-rich preparation from olive mill waste water for control of olive psyllid, *Euphyllura olivina*, infestations. *CropProt.* 30, 1529–1534.
- Desjardins, A.E., Proctor, R.H., 2007.** Molecular biology of *Fusarium* mycotoxins. *International Journal of Food Microbiology* 119, 47–50.
- Desmares, C., Laurent A., Delerme A., 2008.** Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles, AFSSAPS : pp.17.
- Diaz, L.F., De Bertoldi M., Bidlingmaier W., Stentiford E., 2007.** Compost science and technology. Elsevier, Oxford, Royaume-Uni. 364 p.
- Dibo, A., Ksantini, M., 2011.** Study on Reproduction and Development of Olive Tree Psylla *Euphyllura olivina* Costa (Hemiptera: Psyllidae) Under Different Plantation Types. *Arab Journal of Plant Protection*, 29: 141–148.
- Dillon, R. J et Charnley A. K., 1991.** The fate fungal spores in the insect gut. Dans: Cole, G.T. et Hoch, H. C. (Éds.) : *The Fungal Spore and Disease Initiation in Plants and Animals.* New York. Plenum Press, pp. 129- 156.
- Djellout, K., Debras, J.F., Djellout, F., Kellouche, A., 2019.** Polymorphism in *Euphyllura olivina* (Costa, 1839) (*Hemiptera: Aphalaridae*) in Olive Groves in Algeria. *African Entomology*, 27(1):18.
- Dob, T., Darhmane D., Benabdelkader T., Chelghoum T.C., 2006.** *Int. J. Aromatherapy*, 16: 95-100. DOI: 10.1111/j.1365-2338.1990.tb00187.x.
- Dorman, H. J. D., Deans, S. G., 2000.** Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 308- 316.
- Douat, R., 1998.** Guide complet de la culture de l'olivier Paris: De Vecchi, BOp
- Dreux P., 1980.** Précis d'écologie. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231 p.

- Ebadollahi, A., 2011.** Antifeedant activity of essential oils from *Eucalyptus globulus* Labill. and *Lavandula stoechas* L. on *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biharean Biologist.*, 5: 8-10.
- Ebadollahi, A., 2013.** Essential oils isolated from Myrtaceae family as natural insecticides. *Ann. Res. Rev. Biol.*, 3: 148-75.
- Ech-chahad, A., Farah, H., Bouyazza, L., 2013.** Composition chimique de l'huile essentielle de *Satureja calamintha* (L.). *Afrique Science.* 3, 77–81.
- El Ajjouri M., Satrani M., Ghanmi M., Aafi A., Farah A., Rahouti M., Amarti F., Aberchane M., 2008.** Activité antifongique des huiles essentielles de *Thymus bleicherianus* Pomel et *Thymus capitatus* (L.) Hoffm. & Link contre les champignons de pourriture du bois d'œuvre *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12(4), 345-351
- El Antari A., El Moudni H., Ajana H., Cert A., 2003.** Etude de la composition lipidique de deux compartiments du fruit d'olive (pulpe et amande) de six variétés d'oliviers cultivées au Maroc. *Olivae*, 98 : 20-28.
- El Messoussi S., Chemseddine M., Afif M., Lahrouni A., 2010.** Vers une modélisation de la dynamique de la population de la mouche *Bactrocera oleae* O. Himmi (Ed.). Actes de la CIFE VI, Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie, Rabat, 2010, N° 47, 77-80.
- Eskes A., Mendes M.D.L., Robbs C.F., 1991.** Etudes, en laboratoire et en champ, du parasitisme de *Verticillium lecanii* et de *V. leptobactrum* sur *Hemileia vastatrix*. *Café Cacao Thé*, 35(4) : 275-282.
- Fabres G., 1979.** Analyse structurelle et fonctionnelle de la biocénose d'un homoptère (*Lepidosaphes beckii*, How. *Diaspididae*) dans deux habitats agricoles de la nouvelle Calidonie. Ed. ORSTOM. Paris, 272p.
- Fakhari A.R., Peyman S., Rouhollah H., Samad N. E., Paul R., Haddad, 2005.** Hydrodistillation-headspace solvent microextraction, a new method for analysis of the essential oil components of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of Chromatography A* 1098(1): Pp. 14-18
- Fargues J., Goettel M.S., Smits N., Ouedraogo A., Rougier M., 1997.** Effect of temperature on vegetative growth of *Beauveria bassiana* isolates from different origins. *Mycologia* 89: 383-392.
- Fargues J., Goettel M.S., Smits N., Ouedraogo A., Vidal C., Lacey L.A., Lomer C.J., Rougier M., 1996.** Variability in susceptibility to simulated sunlight of conidia among isolates of entomopathogenic hyphomycetes. *Mycopathologia* 135: 171-181.
- Faurie C., Ferra C. et Medori P., 1980.** *Ecologie*. Ed. Baillière J-B, Paris, 168 p.
- Feng Z., Carruthers R.I., Roberts D.W., Robson D.S., 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.
- Ferron P., 1977.** Influence of relative humidity on the development of fungal infection caused by *Beauveria bassiana* (Fungi Imperfecti Moniliales) in imagines of *Acanthoscelides obtectus* (Col.: Bruchidae). *Entomophaga* . 22 :393-396.
- Ferron P., Fargues J., Riba G., 1991.** Fungi as microbial insecticides against pests. In: *Handbook of applied mycology. Humans, animals and insects* (Arora DK, Mukerji KG, Eds). Marcel Dekker, New York, vol 2, 665-706.
- Ferron P., Fargues J., Riba G., 1993.** Les champignons agents de lutte microbiologique contre les ravageurs D5, 65-92. (*Handbook of applied mycology*, vol. 2, *Humans, Animals and Insects*, 1991).
- Foster, S. P., Denholm, I., & Devonshire, A. L., 2000.** The ups and downs of insecticide resistance in peach-potato aphids (*Myzus persicae*) in the UK. *Crop Protection*, 19(8– 10), 873–879. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00115-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00115-0)
- Foudi-Cherif Y., 1991.** Etude comparative des huiles essentielles algériennes d'*Eucalyptus globulus* Labill. et *Camaldulensis*. These magister. U.S.T.H.B., Alger, 159p.
- Gabarty A, Salem HM, Fouda MA, Abas AA, Ibrahim AA., 2014.** Pathogenicity induced by entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in *Agrotis ipsilon* (Hufn.). *J Radiat Res Appl Sci*, 7: 95–100
- Gaouar-Benyelles N., 1996.** Apport de la biologie des populations de la mouche de l'olivier *Bactrocera (Dacus) oleae* Gmel (Diptera:Tephritidae) à l'optimisation de son contrôle dans la région de Tlemcen. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, Algérie, 116p.

- Gargouri K., Sarbeji M., Barone E., 2006.** Assessment of soil fertility variation in an olive orchard and its influence on olive tree nutrition. Second International Seminar Biotechnology and Quality of Olive Tree Products Around the Mediterranean Basin, 5-10 November. Marsala-Mazara del Vallo, Italy, 8 p.
- Ghedira K., Goetz P., Lejeune R., 2008.** *Valeriana Officinalis* L. Phytothérapie, volume 6, pages 253-257.
- Gindin G., Barash L., Harari N., Raccach B., 1994.** Effect of endotoxin compounds isolated from *Verticillium lecanii* on the Sweetpotato Whitefly *Bemisia tabaci*. 22(3). P : 189-196.
- Goetz P., et Ghédira K., 2012.** Phytothérapie anti-infectieuse. Springer Sciences & Business Media, 394 p.
- Gokturk, T., Saban Kordali, S., Ak, K., Kesdek, M., Bozhuyuk, A.U., 2020.** Insecticidal effects of some essential oils against *Tribolium confusum* (du Val.) and *Acanthoscelides obtectus* (Say), (Coleoptera: Tenebrionidae and Bruchidae) adults. International Journal of Tropical Insect Science ; 7. Doi : <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00113-y>
- Gray, T.R.G., Williams, S.T., 1971.** Soil micro-organisms. Edinburgh, Oliver & Boyd, 240 :579.
- Green P.S., 2002.** A revision of *Olea* L. Kew. Bull, 57 : 91-140.
- Grimm, C., 2001.** Economic feasibility of a small-scale production plant for entomopathogenic fungi in Nicaragua. Crop Prot, 20: 623–630.
- Guechi A., Mebarkia A., Rouag N., 2007.** Utilisation du cryptonol et d'un fertilisant contre la verticilliose de l'olivier. Laboratoire de microbiologie et de phytopathologie, Université de Sétif.
- Haddouchi F., Benmansour A., 2008.** Huiles essentielles, utilisations et activités biologiques. Applications à deux plantes aromatiques. Les technologies de laboratoire, N°8. Pp : 20-27.
- Hall, R.A., Papierok, B., 1982. Fungi as biological control agents of arthropods of agricultural and medical importance. Parasitology, 84(4) : 205-240. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0031182000053658>
- Hallsworth J.E., 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.
- Hamdan, A-J., Alkam, A., 2016.** Flight activity and population dynamics of the Olive psylla, *Euphyllura olivina* Costa [Homoptera: Psyllidae] infesting the olive cultivars in the Southern Highlands of West-Bank, Palestine. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences, 21: 61-68.
- Harizia, A., Benguerai, A., Boukhari, Y., 2020.** Toxicity and repellency of *Eucalyptus globulus* L. essential oil against *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Homoptera : Aphididae). J. ent. Res., 44 (1) : 147-152. DOI : 10.5958/0974-4576.2020.00027.4
- Hashim Y. et Ibrahim B., 2003.** « Efficacy of Entomopathogenic Fungi, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* var. *majus* Against *Crocidolomia binotalis* (Lepidoptera: Pyralidae) », *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, vol. 26, n° 2, 2003, p. 103-108.
- Hassani A., Sehari N., Sehari M., Bouchenafa N.1., Labdelli F., Kouadrie M., 2017.** Etude des propriétés insecticides et bactéricides de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. dans la lutte contre les ravageurs des semences et denrées stockées. Revue Écologie-Environnement (13), ISSN: 1112-5888.
- Hassani, A., Sehari, N., Sehari, M., Bouchenafa, N., Labdelli, F., Kouadria, M., 2017.** Etude des propriétés insecticides et bactéricides de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. dans la lutte contre les ravageurs des semences et denrées stockées. Revue Écologie-Environnement (13) : 5-11. Doi : <http://fsnv.univ-tiaret.dz/index.php/13-la-revue/10-la-revue>
- Henry S., 2003.** L'huile d'olive, son intérêt nutritionnel, ses utilisations en pharmacie et en cosmétique. Thèse de Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie : Université Henri Poincaré, Nancy.
- Hernandez N.E., Tereschuk M.L., Abdala L.R., 2000.** Antimicrobial activity of flavonoids in medicinal plants from Tafí del Valle (Tucumán, Argentina). Journal of Ethnopharmacology, 73, 317-322.
- Hilal A., Tajnari H., Sekkat A. et Chemseddine M., 1997.** Mise en évidence d'une diapause de reproduction du Psylle de l'olivier, *Euphyllura olivina* COSTA (Homoptera, Psyllidae). Al Awamia 98: 23-33
- Hmimina M., 2009.** Les principaux ravageurs de l'olivier, la mouche, la teigne, le psylle et la cochenille noire. Bull. Men. Inf. et Liaison du PNTTA, 4 p.
- Hosseinzadeh, S., Kukhdan, A.J., Hosseini, A., Armand, R., 2015.** The application of *Thymus vulgaris* in traditional and modern medicine: a review. Global J Pharmacol. 9: 260-6.

- Hougardy E., Wang X., Hogg B.N., Johnson M.W., Daane K.M., Pickett C.H., 2020.** Current distribution of the olive psyllid, *Euphyllura olivina*, in California and initial evaluation of the Mediterranean parasitoid, *Psyllaephagus euphyllurae* as a biological control candidate. *Insects*, 11; 146. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123694935500031>
- I.N. P. V., 2017.** Fiche sur le psylle de l'olivier. Bulletin d'information phytosanitaire. N° 63.
- I.N. P. V., 2018.** Avertissement agricole sur le psylle de l'olivier.
- Imdorf A., Bogdanov S., Ochoa R.I. et Calderone N.M., 1999.** Utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre *Varroa jacobsoni*, parasite des colonies d'abeilles. Centre Suisse de recherche apicole, Dept. Entom., Cornell University Ithaca, USA, 4p.
- Inderbitzin P., Subbarao KV., 2014.** *Verticillium* Systematics and Evolution: How Confusion Impedes
- Inglis G.D., Goettel M.S., Butt T.M., Strasser H., 2001.** Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential, Butt TM, Jackson CW & Magan N (Édit.) CABI Publishing, Wallingford, USA. p 23-69.
- Iserin P. Vican P, 2001.** Encyclopédie des plantes médicinales/ Identification, préparations, soins. Larousse édition, Paris, 335p
- Iskandarov U.S., Guzalova A.G., Davranov K.D. 2006.** Effects of nutrient medium composition and temperature on the germination of conidia and the entomopathogenic activity of the fungi Prikl Biokhim Mikrobiol, 42(1): 81-5.
- ITAF., 2004.** La culture de l'olivier. Institut technique de l'arboriculture fruitière et la vigne.
- JALAS J., 1971.** Note of *Thymus* L. (Labiatae) in Europe. I. Supraspecific classification and nomenclature. *Bot. J. Linn.Soc.*, 64, P199-215.
- Japoshvili G.O., Noyes J.S., 2005.** New record of Encyrtidae (*Hymenoptera: Chalcidoidea*). - *Caucasian Entomol. Bull.* 1: 159-160
- Jardak T., Moalla M., Khalfallah H., Smiri H., 1985.** Essais d'évaluation des dégâts causés par le psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* (*Homoptera : Psyllidae*). Données préliminaires sur le seuil de nuisibilité. *Proc. CEC/FAO/IOBC.Int.Joint Meeting, Pisa (Italy) :270_284p.*
- Jaronski S.T., 2010.** Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl* 55: 159–185.
- Jarraya A., 1986.** Bioécologie du psylle de l'olivier, *Euphyllura olivina* Costa (Hom, *Psyllidae*) dans la région de Sfax. Sfax, Tunisie : Cinquième session, 20 p.
- Jestoi, M., 2008.** Emerging Fusarium -Mycotoxins Fusaproliferin, Beauvericin, Enniatins, And Moniliformin—A Review. *Crit. Rev. Food Sci.* 2008, 48, 21–49.
- Jevremović, S., Lazarević, J., Kostić, M., Krnjajić, S., Ugrenović, V., Radonjić, A., Kostić, I., 2019.** Contact application of Lamiaceae botanicals reduces bean weevil infestation in stored beans. *Arch. Biol. Sci.* 71, 665–676. Doi : <https://doi.org/10.2298/ABS190617049J>
- Joshi, A., Sharma, A., Bachheti, R.K., Pandley, D.P., 2016.** A Comparative Study of the Chemical Composition of the Essential oil from *Eucalyptus globulus* Growing in Dehradun (india) and Around the World. *Orient. J. Chem.* Vol. 32(1), 331-340. Doi : <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/320137>
- Kabouche A., Kabouche Z., Bruneau C., 2005.** Flavour. *Frag. J.*, 20: 235-236.
- Kaloustian J., Chevalier J., Mikail C., Martino M., L. Abou L., Vergnes M.F., 2008. Étude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne *Phytothérapie.* vol 6, pages 160–164.
- Kamp, A. M., & Bidochka, M. J., 2002.** Conidium production by insect pathogenic fungi on commercially available agars. *Letters in Applied Microbiology*, vol. 35, pp. 74-77.
- Kaplan, M., Alaserhat, I., 2019.** Ecology, Population Development and Damage of *Euphyllura Straminea* Log. (Hemiptera: Psyllidae) Causing Damage in Olive Orchards. *Erwerbs- Obstbau; Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019*, Doi: 10.1007/s10341-019-00448-y
- Kasraoui F., 2010.** L'olivier. Propulsé par Joomla!, 1-5p.
- Kechroud M., 2012.** Effet insecticide des huiles essentielles de *pinus nigra* Arl Ssp. *mauritanica* Maire et Peyer sur les ravageurs des denrées stockées. Mémoire Master en Biologie, Université Abdrrahmane Mira de Bijaia, Algérie.
- Keller, S., 1987.** Arthropod-pathogenic Entomophthorales of Switzerland 1. *Gonidiobolus · Entomophaga and entomophthorin.* Sydowia 40: 122-167.
- Kerbouche, L., Hazzit, M., Baaliouamer, A., 2013.** *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 3 (4) : 266 – 272.

- Kesharwani V., Gupta SH., Kushwaha N., Kesharwani R Dilip K.M., 2018.** A review on therapeutics application of eucalyptus oil. *International Journal of Herbal Medicine*. 6(6): 110-115.
- Kharbanda P. D. and Bernier C., 1980.** Cultural and pathogenic variability among isolates of *Ascochyta fabae*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2, 39- 142.
- Khobzi, M., 2019.** Etude de la dynamique des populations du psylle d'olivier *Euphyllura olivina* dans la région de Hassi Mamèche «wilaya de Mostaganem». Mémoire Master in Agronomy, University Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algeria.
- Kitajima J., Ishikawa T., Urabe A., Satoh M., 2004.** Monoterpenoids and their glycosides from the leaf of thyme. *Phytochemistry*. 65 : 3279-3287.
- Klowden M.J., 2007.** *Physiological systems in insects*. Academic Press, San Diego, CA, USA, Second Ed. 688 p.
- Ksantini M., 2003.** Contribution à l'étude de la dynamique des populations du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (*Homoptera : Aphalaridae*) et de sa nuisibilité dans la région de Sfax. Thèse de doctorat en sciences biologique, Fac.Sc.Sfax, 249p.
- Ksentini I., 2009.** Lutte biologique contre la pyrale des caroubes *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera : Pyralidae), à l'aide de parasitoïdes oophages du genre *Trichogramma* (Hymenoptera : Trichogrammatidae). Mise en valeur et régulation d'un écosystème à l'échelle locale : Les salins de Sfax. Colloque organisé par la Maison de France, Sfax (Tunisie), les 8 et 9 mai 2009. 02p.
- Kuno G., 1973.** Biological notes of Amoebidiurn parasitism found in Puerto Rico. *Journal of Invertebrate Pathology* 21: 1-8.
- Labiod, R., 2016.** Valorisation des huiles essentielles et des extraits de *Satureja calamintha nepeta* : activité antibactérienne, activité antioxydante et activité fongicide. Thèse de Doctorat. Université de Badji Mokhtar, Annaba. 115p.
- Lacey L. A., Fransen, J. J., and Carruthers, R. I., 1996.** Global distribution of naturally occurring fungi of *Bemisia*, their biologies 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.
- Lacey L. A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D. I., Frutos R., Brownbridge M., & Goettel M. S., 2015. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1–41. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>.
- Lahlou M., 2004.** Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research* 18 : pp. 435-448.
- Laoudi T., 2014.** Bioécologie du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* (*Hemiptera : Aphalaridae*) Costa 1839 et l'entomofaune de l'olivier dans quatre oliveraies de la région de Tizi-Ouzou. *Magister Sciences Biologiques*. 89p.
- Laumonier R., 1960.** Culture fruitières méditerranéennes, Paris, j, b. Baill.
- Lavee S., 1997.** Biologie et physiologie de l'olivier. In: *Encyclopédie Mondiale de L'Olivier*. COI (Ed.), Madrid, Espagne, pp. 60-110. Lavoisier, 385-623.
- Lazreg F., Ali S., Ren S.X., Afzal M. 2007.** Biological characteristics and pathogenicity of *verticillium lecanii* against *bemisia tabaci* (homoptera: aleyrodidae) on eggplant. *Pak entomol*. 29 (2).
- Lazzarini G.M.J., Rocha L.F.N., Luz C. 2006.** Impact of moisture on in vitro germination of *Metharizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* and their activity on *Triatoma infestans*. *Mycol Res*. 110 (4): 485-492.
- Leslie J.F., Summerell B.A., 2006.** *Fusarium verticillioides* (Saccardo) Nirenberg. In: Leslie JF, Summerell BA, editors. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing; pp. 388p.
- Lezama-Gutiérrez R., Molina-Ochoa J., Chávez-Flores O., Ángel-Sahagún C.A., Skoda S.R., Reyes-Martínez G., Barba-Reynoso M., Rebollo-Domínguez O., Ruíz-Aguilar G.M.L., Foster J.E., 2012. Use of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae*, *Cordyceps bassiana* and *Isaria fumosorosea* to control *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Persian lime under field conditions. *Int J Trop Insect Sci*, 32(1):39–44. doi : <https://doi.org/10.1017/S1742758412000069>.
- Liu B.L., Chen J.W., Tzeng Y.M., 2000.** Production of cyclodepsipeptides destruxin A and B from *Metarhizium anisopliae*. *Biotechnol Prog* .16 :993–999.
- Logrieco A., Moretti A., Castella G., KostECKI M., Golinski P., Ritieni A., Chelkowski J., 1998.** Beauvericin production by *Fusarium* species. *Appl. Environ. Microbiol*; 64:3084– 3088.
- Loumou A. et Giourga C., 2002.** Olive groves : «the life and the identity of the mediterranean». *Agriculture and Human values*, (20) : pp87 – 95.
- Loussert R., Brousse G., 1978.** L'olivier. *Techniques agricoles et productions méditerranéennes*.(Eds.) Maisonneuve et Larousse, Paris,France, 480p.

- Lucchesi M. E., 2005.** Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles. Doctorat en Sciences - Discipline : Chimie. Université de la Réunion - Faculté des Sciences et Technologies. 143p.
- Luis A., Duarte A., Gominho J., Domingues F., Duarte A.P., 2016.** Chemical composition, antioxidant, antibacterial and anti-quorum sensing activities of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus radiata* essential oils. *Industrial Crops and Products*, 79, 274-282.
- Lydie S., 2010.** La lutte biologique vers les nouveaux équilibres écosystèmes p :76, Edition : Quae).
- Magelhas B.P., Lord J.C., Wraight S.P., Daoust R.A., Roberts D.W., 1981.** Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Zoophthora radicans* to the coccinellid predators *Coleomegilla maculata* and *Eriopis connexa*. *J.Invertebr.Pathol.* 52:471-473.
- Maillard, R., 1975.** L'olivier. Comité technique de l'olivier, Institut national de vulgarisation pour les fruits, légumes et champignons, Paris, 75 p.
- Mareggiani, G., Russo, S., Rocca, M., 2008.** *Eucalyptus globulus* (Mirtaceae) essential oil: efficacy against *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae), an agricultural pest. *Revista Latinoamericana de Química*, 36, 16 - 21.
- Martin G.C., Ferguson L., Polito V.S., 1994.** Flowering, pollination, fruiting, alternate bearing and abscission. In: Olive production manual. Ferguson L., Steven Sibbett G. and Martin G.C. (Eds.), Univ. California Div. Agr. Natural Resources; Oakland, CA. Publ., pp.51-56.
- Martini, M.C., Seiller M., 1999.** Edition Tec et Doc. Editions médicales internationales, Paris, Lavoisier. 563
- Martin-Lapierre A., 2011.** Application de composts et de fumigants pour lutter contre la verticilliose *Verticillium dahliae* du fraisier
- Mathias de Kouassi., 2001.** « Les possibilités de la lutte microbiologique », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 2 Numéro 2 | octobre 2001, mis en ligne le 01 octobre 2001.
- Mazurier M., 2018.** Biodiversité et adaptation au pathogène racinaire *verticillium alfalfae* chez *Medicago truncatula*. Importance de la micro-évolutio. Doctorat de l'Université de Toulouse. 483 pp.
- Muzzalupo I., Vendramin G.G., et Chiappetta A., 2014.** Genetic Biodiversity of Italian Olives (*Olea europaea*) Germplasm Analyzed by SSR Markers. *The Scientific World Journal*, 12 pages.
- McCoy C. W., Samson R. A., Boucias D. G., 1988.** Entomogenous fungi. Dans : Ignoffo, C. M. et Mandam N. B. (Éds.): *Handbook of Natural Pesticides Volume V; Microbial Insecticides Part A: Entomogenous Protozoa and Fungi*. Florida, USA, CRC Press, pp. 15 1- 236.
- Mebarkia L., Mousaoui Z., 2019.** Etude de l'effet toxique des huiles essentielles d'*Artemisia herba alba* et d'*Eucalyptus globulus* sur deux ravageurs des jardins. Mémoire Master en Agronomie, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy - B.B.A, Algérie.
- Meftah H., Boughdad A., Bouchelta A., 2014.** Infestation et cycle biologique d'*Euphyllura olivina* Costa (*Homoptera, Psyllidae*) au centre du Maroc. *Science Lib Éditions Mersenne*, 6:1-25.
- Mejholm O., Dalgaard P., 2002.** Antimicrobial effects of essential oils on the seafood spoilage microorganism *Photobacterium phosphoreum* in liquid media and fish products, *Letters in Applied Microbiology*, 34, pp : 27-31.
- Mendil M., 2003.** Catalogue des variétés algériennes de l'olivier. ITAF, Alger, 104p.
- Mendil M., Sebai A., 2006.** Catalogue national des variétés de l'olivier.100p.
- Mengel, K., Kirkby, E.A., 2001.** *Principles of plant nutrition*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 849 pp.
- Mesbah, H. A., Moursi, K. S., El-Kady, M. B., Masry, S. H. D., Hassona, N. M., Abd El-Motelb, Y. A. T., 2019.** Comparative susceptibility of four olive cultivars for infestation by the olive psyllid, *Euphyllura straminea* Longnova in Burg El-Arab area, Alexandria, Egypt. *Journal of Alexandria Science Exchange*, 40(3): 501–506, Doi: 10.21608/asejaiqsae.2019.52576

- Mestar, N.G., Malika N. Boudiaf, M.N., Lahcene, S., Abbaci, H., Aiche, G.I., Metna, B., Saadoun, N.S., Taibi, F., Houali, K., 2018.** Bio-insecticidal effects of Oleaster leaves aqueous extracts against *Psylla* larvae (*Euphyllura olivina* (Costa)), a primary pest of *Olea europaea* L. *Cell Mol Biol Vol* : 64 ; Issue 15 : 35-40. Doi: <http://dx.doi.org/10.14715/cmb/2017.64.15.6>
- Meyer S., Reeb C., Bosdevieux R., 2004.** Botanique : Biologie et physiologie Végétales, Maloine, 443p.
- Michaelakis A., Spiridon A.T., Georgios Koliopoulos G., Nikos G.C., 2007.** Essential Oils of Satureja Species : Insecticidal Effect on *Culex pipiens* Larvae (Diptera: Culicidae). *Molecules*, 12, 2567-2578.
- Mishra, B.B., Tripathi, S.P., Tripathi, C.P.M., 2012.** Repellent effect of leaves essential oils from *Eucalyptus globulus* (Mirtaceae) and *Ocimum basilicum* (Lamiaceae) against two major stored grain insect pests of Coleopterans. *Nature and Science*, 10: 50-54.
- Monteiro, A.C., Barbosa, C.C., Correia, A. do. C.B., Pereira, G.T., 2004.** Crescimento e esporulação de isolados de *Verticillium lecanii* sob diferentes fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V.39, p.561-565.
- Moore, D., Douro-Kpindou, O.K., Jenkins, N.E., Lomer, C.J., 1996.** Effects of moisture content and temperature on storage of *Metarhizium flavoviride* conidia. *Biocontrol Science and Technology*, 6 : 51–61.
- Morales R., 2002.** The history, botany and taxonomy of the genus *Thymus*. In: *Thyme: the genus Thymus*. Ed. Taylor & Francis, London. pp. 1-43.
- Moreaux S., 1997.** L'olivier Arles: Acte Sud, ,96p
- Morsli B., Benalouati B., Bouache M. et Roose E., 1988.** Erosion et aménagement conservatoire de trois micro-bassins versants dans les monts Béni Chougrane (Ain Farès-Algérie). Bilan des études et propositions d'actions en milieu paysan. 77p + annexes.
- Mousa, K.M., Khodeir, I.A., El-Dakhkhni, T.N., Youssef, A.E., 2013.** Effect of Garlic and Eucalyptus oils in comparison to Organophosphat insecticides against some Piercing-Sucking Faba bean insect Pests and natural enemies populations. *Egypt. Acad. J. Biolog. Sci.*, 5: 21-27.
- Mustafa T. M. Najjar Y. H., 1985.** Contributions to the reproductive biology of University of Jordan, Amman, Jordan. Volume 100, Issue 1-5. Pages 79–83. DOI: 10.1111/j.1439- 0418.1985.tb02760.x.
- Mustafa, T. M., 1989.** Bionomics of the olive psylla, *Euphyllura olivina* Costa (Hom, Psyllidae) in Jordan. *Journal Biological Science Research*, 20(1): 159–166.
- Mutin G., 1977.** La Mitidja. Ed ; O.N.R.S., Paris, 607 pages.
- Muzzalupo, I., Vendramin, G.G., Chiappetta, A., 2014.** Genetic Biodiversity of Italian Olives (*Olea europaea*) Germplasm Analyzed by SSR Markers. *The Scientific World Journal*, 12 pages.
- Nabti, I., Bounechada, M., 2019.** Larvicidal Activities of Essential Oils Extracted from Five Algerian Medicinal Plants against *Culiseta longiareolata* Macquart. Larvae (Diptera: Culicidae). *Eur J Biol.* 78(2) : 1-6.
- Nasles O., 2012.** Protection raisonnée et biologique. Ed les guides de l'Afidol (Association Française Interprofessionnelle de l'olivier de France), 2012, 36p.
- Ortiz-Urquiza A. & Keyhani N.O., 2013.** Action on the surface: entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects* 4: 357-374.
- Ouguas Y., Hilal A., Elhadrami I., 2010.** Effet biocide des extraits phénoliques oléicoles sur les adultes du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* costa (*Homoptera : Psyllidae*) sur deux variétés d'oliviers menara et arbequine au maroc. *Revue ezzaitouna* 11 (1).
- Ouvrard D., 2021.** Psyllist – The World Psylloidea Database. <http://www.hemipteradatabases.com/psyllist> - searched on 17 Janvier 2021 doi:10.5519/0029634.
- Padrini F., Lucheron M. T., 1996.** Le grand livre des huiles essentielles. Guide pratique pour retrouver vitalité bien être et beauté avec les essences et l'aromassage énergétique avec plus de 100 photographies. Ed. DeVecchi. 15p.
- Paine L., 1983.** Acquisition and maintenance of mycangial fungi by *dendroctonus brevicomis*, le conte (coleoptera). *Entomol. Landan.* 150 p. Pelizza S.A., Lopez Lastra C.C., Becnel J.J., Bisaro V. Paris. 157pp.
- Pariante L., 2001.** Dictionnaire des sciences pharmaceutique et biologique. 2 ème Ed. Académie nationale de pharmacie. Paris 1643 p.
- Park, J.H., Jeon, Y.J., Lee, C.H., Chung, N., Lee, H.S., 2017.** Insecticidal toxicities of carvacrol and thymol derived from *Thymus vulgaris* Lin. against *Pochazia shantungensis* Chou & Lu., newly recorded pest. *Scientific Reports*. Vol : 7 ; 40902.
- Pastre P., 1991.** La lutte contre les ravageurs de l'olivier : dossier deltaméthrine. Ed Roussel UCLAF, Paris 119 p.

- Pavela, R., 2015.** Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. *Ind. Crop. Prod.* Vol : 76 ; 174-187. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.050>
- Pellecuer J., Roussel J.L., Andary C., 1980.** Recherche du pouvoir antifongique de quelques huiles essentielles. *Rivista Italiana Essenzo (EPPOS)*. 23,45-50.
- Poletti A., 1988.** Fleurs et plantes médicinales. 2^{ème} Ed. Delachaux & Nistlé S. A. Suisse. Pp : 103 et 131. Quezel P. et Santa S. (1962) Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales Ed C.N.R.S. Tome I. 565 p.
- Prasanth R, Ravi V.K, Varsha P.V, Satyam S., 2014.** Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. *Med Aromat Plants*. 3 (4):1- 3.
- Prat J.Y., 2015.** Taillez tous les arbres fruitiers, espèce par espèce. Ed. Rustica, Paris, 335p.
- Prayogo, Y, Tengkan, W, Marwoto., 2005.** Prospek cendawan entomopatogen *Metarhizium anisopliae* untuk mengendalikan ulat grayak Spodoptera litura pada kedelai. *Jurnal Litbang Pertanian* 24 (1): 19-26.
- Procopio A.S., Remer L.M., Artaxo P., Kaufman Y.J., Holben B.N., 2003.** Modeled spectral optical properties for smoke aerosols in Amaeonia Feophysical Research Letters. 30 :10.
- Prophetou-Athanasidou DA., 1993.** Diapause termination and phenology of the olive psyllid, *Euphyllura phillyreae* on two host plants in coastal northern Greece. *Entomol Exp Appl*; 67 : 193-7.
- Quezel P. et Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales Ed C.N.R.S. Tome I. 565 p.
- Quezel P., Santa S., 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales Ed C.N.R.S. Tome I. 565 p.
- Rakhshani, E., Saeedifar, A., 2013.** Seasonal fluctuations, spatial distribution and natural enemies of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in Iran. *Entomological Science*, 16: 17–25, Doi: 10.1111/j.1479-8298.2012.00531.x
- Ramade F., 1984.** *Eléments d'écologie – écologie fondamentale.* Ed. Mc Graw- Hill, Paris, 397 p.
- Reddy, S. G. Eswara, and Sahotra S., 2020. “Multiplication of Entomopathogenic Fungus *Lecanicillium Lecanii*) on Apple Pomace and Its Toxicity against Aphid (*Aphis Craccivora*.” *Toxin Reviews* 39, no. 3: 252–57. <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1504222>.
- Regis S., et Pinatel C., 1990.** Année mondiale de l'olivier. *Phytoma, la revue de la protection des plantes*, 423, p.52-56.
- Regnault–Roger, C., Philogene, B.J.R., Vincent, C., 2008.** *Biopesticides of plant origin.* Intercept, Andover, U.K. 313p.
- Ricario J., Guerri-Agulla B., Serra-Sarrias M.J., Rubio-Liorca G., Asensio L., Barranco P., Lopez-Liorca L.V. 2013.** Evaluation of the pathogenicity of multiple isolates of *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) on *Rynchorpus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae) for the assessment of solid formulation under simulated field conditions. *Florida Entomol*, 96 (4): 1311-1329.
- Righi Assia, F., Kkelil, M.A., Medjdoub– Bensaad, F., Righi, K., 2010.** Efficacy of oil and powder of some medical plants in biological control of the pea weevil (*Callosobruchus chinensis* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 12, 1474–1481.
- Righi Assia, F., Righi, K., Khelil, A.M., Pujade–Villar, J., 2014.** Biological Control against the Cowpea Weevil (*Callosobruchus Chinensis* L., Coleoptera: Bruchidae) Using Essential Oils of Some Medicinal Plants. *Journal of Plant Protection Research*. 3, 211–217.
- Righi, K., Righi, F.A., Boubkeur, A., Boungab, K., Elouissi, A., Djendara, A.C., 2018.** Toxicity and repellency of three Algerian medicinal plants against pests of stored product: *Ryzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae). *Banat’s Journal of Biotechnology*, 17 : 50-59. DOI: 10.7904/2068–4738–IX(17)–50.
- Rios-Velasco C., Pérez-Corral D.A., Salas-Marina M.A., Berlanga-Reyes D.I., Ornelas-Paz J.J., Muñoz C.H.C., Cambero-Campos J., Jacobo-Cuellar J.L. 2014.** Pathogenicity of the Hypocreales fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against insect pests of tomato. *Southwestern Entomologist*, 39: 739-750.
- Roberts D.W., Campbell A.S., 1977.** Stability of entomopathogenic fungi. *Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America* 10: 19-76.
- Rousseaux M. S., Benedetti J. P., Searles P.S., 2008.** Leaf-Level responses of olive trees (*Olea europea*) to the suspension of irrigation during the winter in arid region of Argentina *Sci. Hortic.* 115 : 135-141.
- Russo, S., Cabrera, N., Chludil, H. D., Yaber Grass, M. A., Leicach, S. R., 2015.** Insecticidal activity of young and mature leaves essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill. against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chilean Journal Agricultural Research*, 75 (3), 375-379.

- Russo, S., Yaber Grass, M.A., Fontana, H.C. and Leonelli, E., 2018.** Insecticidal activity of essential oil from *Eucalyptus globulus* against *Aphis nerii* (Boyer) and *Gynaikothrips ficorum* (Marchal). *Agriscientia*, 35: 63-67.
- Sabraoui A., El bouhssini M., LHALOUI S., Boulamtat R. & Bouchelta A., 2016.** Effet insecticide des huiles essentielles sur la mineuse de pois chiche, *Liriomyza cicerina*. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, N° 9: 39-46.
- Saharkhiz, M.J., Zomorodian, K., Rezaei, M.R., Saadat, F., Rahimi, M.J., 2011.** Influence of growth phase on the essential oil composition and antimicrobial activities of *Satureja hortensis*. *Nat Prod Commun* 6:1173–1178
- Salehi B., Sharifi-Rad J., Llaïque H., 2019.** “Insights into Eucalyptus genus chemical constituents, biological activities and healthpromoting effects,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 91, pp. 609–624.
- Samson, R.A., Houbraken, J., Thrane, U., Frisvad, J.C., Andersen, B., 2010.** Food and indoor Fungi. CBS Laboratory Manual Series, CBS Knaw, Fungal biodiversity center, Utrecht, Netherland, 390 p.
- Satrani B., Arah A., Fechtal M., Chaouch A., Talbi B., 2001.** Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Satureja calamintha* et *Satureja alpina* du Maroc. *Ann. Falsif. Expert. Chim. Toxicol.*, 94(956), 241-250.
- Satrani, B., Farah, A., Fechtal, M., Talbi M., Blaghen, M., Chaouch, A., 2001.** Chemical composition, antibacterial and antifongic activities of essential oils from *Satureja calamintha* and *Satureja alpina* of Morocco. *Ann. Falsif. Expert. Chim. Tox.*, 94: 241-250.
- Selmi S. et Sadok S., 2008.** The effect of natural antioxidant (Thymus vulgaris L) on flesh quality of tuna (Thymus Linnaeus) during chilled storage. *Pan-American Journal of aquatic sciences*, 3 (1):36-45.
- Seri-kouassi B. P., Kanko C., et Aboua L. R. N., Bekon K. A., Glitho A. I., Koukoua G., Guessan Y. T., 2004.** Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte-d’Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé. *C. R. Chimie* 7, pp : 1043–1046.
- Silvy C., Riba G., 1989. Biopesticides contre maladies, insectes, mauvaise herbe. Dossier de l’environnement N° 9, 157-200.
- Smith, R.J., Grula, E.A., 1981.** Nutritional requirements for conidial germination and hyphal growth of *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology* 37: 222-230.
- Soliman NA, Al-amin SM, Mesbah AE, Ahmed MA, Ibrahim AMA, Mahmoud AMA., 2020. Pathogenicity of three entomopathogenic fungi against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* (2020) 30, 49 (8) <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00235-y>.
- Soltys D, Krasuska U, Bogatek R, et Gniazdowska A. 2013.** Allelochemicals as Bioherbicides – Present and Perspectives; <http://dx.doi.org/10.5772/56185>. Sustainability. Edition: Springer, Germany, pp. 87-115.
- Srei N., 2017.** Impact de la transmission horizontale d’un champignon entomopathogène chez le dendroctone du mélèze, *dendroctonus simplex* leconte (Coleoptera : Scolytinae). Thèse de *Philosophia doctor* (Ph.D.) en biologie. Université du Québec. INRS-Institut Armand-Frappier. 107 pp.
- St-Germain G., Summerbell, R., 1996.** Identifying Filamentous Fungi – A Clinical Laboratory Handbook, 1 st Ed. Star Publishing Co., Belmont, California.
- Strikic F., Mavsar D. B., Pericasatovic Z.S., Cmelik Z., Javornik B., 2010.** Genetic variation within the olive (*Olea europea* L.) cultivar Oblica detected using amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Afr. J. Biotech.* 9 : 2880-2883.
- Tajnari H., 1992.** Étude bio-écologique d’*Euphyllura olivina* Costa (Hom .Psyllidae dans les régions du Haouz et d’Essaouira : mise en évidence d’un état de diapause ovarienne. Meknès, Maroc : Thèse de troisième cycle, École nationale d’agriculture; 153 p.
- Tajnari H., 2001.** Étude de la nuisibilité du psylle de l’olivier, *Euphyllura olivina* Costa. Symposium sur la Protection Intégrée des Cultures dans la région Méditerranéenne, DPVCTRF, Rabat, Maroc, p. 17-21.
- Tapondjou L.A., Adler C., Bouda H., et Fontem D.A., 2003.** Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l’égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab (Coleoptera, Bruchidae). Cahiers d’études et de recherches francophones, *Agricultures*, 12(6), pp. 401-407. Thèse de doctorat, Institut nationale agronomique-el Harrach. Alger. Pp119.
- Teuscher E., Anton R., Lobstein A., 2005.** Plantes aromatiques: épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Lavoisier, Paris, 522 p.
- Todorova S., Côté L.C., Coderre D., 1996.** Evaluation of the effects two *Beauveria bassiana* (Balsamo) vuillemin strains on the development of *Coleomegilla maculatae* Timberlall (col, Coccinellidae). *Appl. Ent.* 120: 159-163.

- Torreblanca R., Cerezo S., Palomo-Rios E., Mercado J.A., Pliego-Alfaro F., 2010.** Development of lighththroughput system for genetic transformation of olive (*Olea europea L.*) plants. *Plant. Cell. Tiss. Organ. Cnit*, 103 : 61-69.
- Touré S., 2018.** Interactions insectes – micro-organismes entomopathogènes comme source d’inspiration pour la découverte concomitante de bio-insecticides et d’antimicrobiens. Thèse de Doctorat d'Etat en chimie des substances naturelles. Université Pierre et Marie Curie. ED 227. *Institut de Chimie des Substances Naturelles*. 419 pp.
- Triki MA, Fatma F., Hamdi W., 2003.** Maladie de l’œil de paon de l’olivier en Tunisie, bioécologie et mesures de lutte. <http://www.birsa.agrinet.tn/>.
- Trjapitzin V.A., Doğanlar M., 1997.** A review of encyrtids (Hymenoptera, Encyrtidae) of Turkey. - *Entomol. Obozr.* 76: 213- 222.
- Triapitsyn S.V., Jones J.M.L., Pickett C.H., Buffington M.L., Rugman-Jones P.F., Daane K.M., 2014.** Description of the male of *Psyllaephagus euphyllurae* (Masi) (Hymenoptera, Encyrtidae), a parasitoid of the olive psylla, *Euphyllura olivina* (Costa) (Hemiptera, Liviidae), with notes on its reproductive traits and hyperparasitoids. *Journal of Entomological and Acarological Research* 2014; volume 46:4092. 112-118.
- Trongtokit, Y., Rongsriyam, Y., Komalamisra, N., Apiwathnasorn, C., 2005.** Comparative repellency of 38 essential oils against mosquito bites. *Phytother Res.*, 19: 303-309.
- Tzanakakis, M. E., 2008.** Olive Psyllids. *Euphyllura* spp. (Hemiptera: Psyllidae). In: *Encyclopedia of Entomology*: 2669–2671. Springer Netherlands, Dordrecht, Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6_1842
- Utree A., Slump R.A, Steging G. & Smid E.J. 2002.** Antimicrobial activity of carvacrol on rice. *Journal of food protection*, Vol.63, pp. 620-624.
- Valnet M., 2005.** Antibacterial activity of 11 essential oils against *Bacillus cereus* in tyndallized carrot broth *International Journal of Food Microbiology*, Vol.85, pp.73-81.
- Vârban D.I., Duda M., Vârban R., et Muntean S., 2009.** Research Concerning the Organic Technology for *Satureja Hortensis L.* Culture. *Bulletin UASVM Agriculture*. 66(2), 225- 229.
- Vardanian, A., Kurzbaum, E., Farber, Y., Butnariu, M., Armon, R., 2018.** Facilitated enumeration of the silicate bacterium *Paenibacillus mucilaginosus* comb. nov. (formerly *Bacillus mucilaginosus*) via tetrazolium chloride incorporation into a double agar-based solid growth medium. *Folia microbiologica*, 63(3), 401–404.
- Vega F.E., 2008.** Insect pathology and fungal endophytes. *J. Invertebr. Pathol.* 98(3), 277–279.
- Vega FE, Meyling NV, Luangsa-ard JJ & Blackwell M., 2012.** Fungal entomopathogens. *Insect pathology*, Vega FE & Kaya HK (Édit.) Academic Press, San Diego, CA, USA, Second *Verticillium Wilt Management and How to Resolve It*. *Phytopathology* 104, 564–574.
- Vey A., Ouiot J.M., 1989.** Effet cytotoxique .in vitro et chez l’insecte hôte des destruxines, toxines cyclodepsipeptidiques produites par le champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae*. *Can. J. Microbiol.* 35 :1000-1008.
- Vidal C., 1997.** Variabilité et potentialités de l’hyphomycète . Thèse Univ. Montpellier II, 148p.).
- Villa M., Santos S.A.P., Mexia A., Bento A., Pereira J.A. 2016.** Groundcover management affects parasitism of *Prays oleae* (Bernard). *Biol. Control* 96, 72–77.
- Villa P., 2003.** La culture de l’olivier. DE. Vtthi. 95p.
- Viollon C., Chaumont J.P., 1994.** Antifungal properties of essential oils and their main components upon *Cryptococcus neoformans*. *Mycopathologia*. 128: 151-153.
- Walali L.D., 2001.** Gestion technique des plantations de l’olivier en conditions d’agriculture pluviale « nouvelle perspective ». Cours approfondi. 22Janvier-2 Février. ICAM et CIHEAM-IAMZ. Institut de l’olivier Sfax. Tunisie, pp : 1-15.
- Walali L.D., 2003.** L’amandier, l’olivier, le figuier, le grenadier. Bulletin mensuel d’information et de liaison du (PNTTA : Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture). Bulletin réalisé à l’institut Agronomique et Vétérinaire.
- Walali, L.D., Skiredj, A., Elattir, H., 2003.** Bulletin mensuel d’information et de liaison du PNTTA n°105 (MADER/ DERD), Rabat, Maroc: 4 p.
- Wang C., St Leger R.J., 2007.** The MAD1 adhesin of *Metarhizium anisopliae* links adhesion with blastospore production and virulence to insects, and the MAD2 adhesin enables attachment to plants. *Eukaryotic Cell* 6: 808-816.

- Wang, C., & St. Leger, R. J., 2007.** The MAD1 adhesin of *Metarhizium anisopliae* links adhesion with blastospore production and virulence to insects, and the MAD2 adhesin enables attachment to plants. *Eukaryot. Cell*, 6, 808-816.
- Wilson CL., Solar JM., El Ghaouth A., Wisniewski ME., 1997.** Rapid evaluation of plant extracts and essential oils for antifungal activity against *Botrytis cinerea*. *Plant Disease*. 81 (2), 204-10.
- Wirth F., Joseph E., 1994.** La défense des cultures en Afrique du Nord, en considérant le cas de la Tunisie. Ed. GTZ. Allemagne, 372p.
- Wright R.J., Roberts D.W., 1987.** Insect control effort with fungi. *Devel. Industr. Microbiol.* 28 :77-87.
- XiaoYan D., YiHan L., WeiMing X., ZuLe S., Zhen H., JianHui W., ShunXiang R., BaoLi Q. 2016.** Screening two entomopathogenic fungal strains with high virulence against Asia citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *J. S. China Agric. Univ.*, 37(5): 62-65.
- Yadav, M.K., Chandra, R., 2014. Effect of culture media, pH and temperature on mycelial growth of *agaricus bisporus* Strains. *Journal of Pure and Applied Microbiology* 8(3): 2497-2500.
- Yakhlef G., 2010.** Etude de l'activité biologique des extraits de feuilles de *Thymus vulgaris* L. ET *Laurus nobilis* L. Thèse de Magister en Biochimie appliquée. Université El hadj Lakhdar –Batna–
- Yakoub-Bougdal S., 2005.** Morphogénèse in vitro du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et de l'olivier (*Olea europea* L.) Var Chemlal. Thèse de doctorat d'état en science en biologie végétale, 190p.
- Yazdani, E., Sendi, J.J., Hajizadeh, J., 2014.** Effect of *Thymus vulgaris* L. and *Origanum vulgare* L. essential oils on toxicity, food consumption, and biochemical properties of lesser mulberry pyralid *Glyphodes pyloalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Protection Research*. 54(1):53–61. DOI: <https://doi.org/10.2478/jppr-2014-0008>
- Yvon A., 2006.** Etude sur la filière oléicole en amont en Algérie expertisent effectué par le groupe d'étude Geomar International, pour le compte de MADR, Algérie. Juin.2006, 46p.
- Zain, Z.M., Razanita, I., Erlane, K.G., 2009. The Influence of Corporate Culture on Organisational Commitment: A Study on a Malaysian Listed Company. *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, 17-26
- Zouiten N., Ougass Y., Hilal A., Ferriere N., Macheix JJ, El Hadrami I., 2000.** Interaction olivier psylle: caractérisation des composés phénoliques des jeunes pousses et des grappes florales et relation avec le degré d'attraction ou de répulsion des cultivars. *Agrochimica*; 44 : 1-12.
- Zouiten N., El Hadrami I., 2001.** Le psylle de l'olivier : Etat des connaissances et perspectives de lutte. *Cahiers d'Etudes et Recherches Francophones/Agricultures*, Vol. 10 (4) : 225-232.

ANNEXE 1

COMPOSITION DES MILIEUX

DE CULTURE ET DES SOLUTIONS

1. Milieu de culture : Potato Dextrose Agar (PDA)

Pomme de terre	200 g
Glucose	20 g
Agar	20 g
Eau distillée.....	compléter jusqu'à 1000 ml

- Laver la pomme de terre non pelée ;
- Couper en cubes dans 500 ml d'eau distillée ;
- Porter à ébullition pendant 30 – 45 min ;
- D'autre part faire fondre l'agar dans 500 ml d'eau distillée ;
- Écraser la pomme de terre, filtrer puis ajouter le filtrat à la solution d'agar ;
- Ajouter le glucose. ; ;
- Compléter le volume à 1000 ml ;
- Ajuster le pH= 6,4 ± 0,2 à 25°C ;
- Stériliser par autoclavage à 121° C / 15 min.

2. Milieu de culture Sabouraud's Dextrose Agar (SDA)

Dextrose.....	40g
Peptone.....	10g
Agar.....	15g
Eau distillée.....	1L

Ph 7±0.2 à 25°C.

Stériliser 20 minutes à 120°C

3. Milieu de culture Czapek DOX agar

Composition par un litre

Glucose	30g.
Agar	15g.
NaNO ₃	3g.
Kcl	0.5g.
MgSO ₄ 7H ₂ O.....	0.5g.
Fe SO ₄ 7H ₂ O	0.01g.
Eau distillée	1000ml.
Ph	7.3 ± 0.2 à 25°C.

ANNEXE 2

IDENTIFICATION DES DEUX PUBLICATIONS

Publication 1

- **Intitulé de la Revue :** Arxius de Miscel·lània Zoològica
- ISSN : 1698-0476
- Url de la revue/article : <https://doi.org/10.32800/amz.2021.19.0183>
- **Catégorisation de la revue :** B
- **Intitulé de la Publication :** «Population dynamics, seasonal fluctuations and spatial distribution of the olive psyllid *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Psyllidae) in Algeria».

Population dynamics, seasonal fluctuations and spatial distribution of the olive psyllid *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Psyllidae) in Algeria

A. Guessab, M. Elouissi, F. Lazreg, A. Elouissi

Guessab, A., Elouissi, M., Lazreg, F., Elouissi, A., 2021. Population dynamics, seasonal fluctuations and spatial distribution of the olive psyllid *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Psyllidae) in Algeria. *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 19: 183–196, Doi: <https://doi.org/10.32800/amz.2021.19.0183>

Abstract

Population dynamics, seasonal fluctuations and spatial distribution of the olive psyllid Euphyllura olivina Costa (Homoptera, Psyllidae) in Algeria. The olive psyllid *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Psyllidae) causes considerable damage in olive groves in the Mediterranean basin, there by affecting production. To assess the rate of infestation and provide elements of integrated pest management, we monitored the life cycle and bio–ecology of this pest through population counts on the leaves and twigs of the tree from 29 March 2019 to 27 March 2020 at two relatively distant olive farms (Ain fares and Oued taria) in the wilaya of Mascara, Algeria. Our results showed that infestation was high on trees in the Oued taria farm. We found that *E. olivina* developed two generations per year, in spring, influenced by the climatic factors. The difference between the relative abundance of the different life stages (eggs, larval instar 1, 2, 3, 4 and 5, female and male) in the cardinal orientations was significant. Infestation was highest on the southern and central orientations of the tree. Populations fluctuations were significantly affected by season at both farms.

Key words: Bio–ecology, *Euphyllura olivina*, Phenology, Population dynamics, Olive tree groves, Olive tree pests

Resumen

Dinámica de la población, fluctuaciones estacionales y distribución espacial del psílido del olivo Euphyllura olivina Costa (Homoptera, Psyllidae) en Argelia. El psílido del olivo, *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Psyllidae), causa daños considerables en los olivares de la cuenca mediterránea, por lo que afecta a la producción. Para evaluar la tasa de infestación y proporcionar elementos de manejo integrado de plagas, el monitoreo del ciclo de vida y la bioecología de estas plagas se llevaron a cabo a través de conteos poblacionales periódicos en las hojas y ramitas del árbol del 29 de marzo de 2019 al 27 de marzo de 2020 en dos fincas de olivos relativamente distantes (Ain fares y Oued taria) en la wilaya de Mascara, Argelia. Nuestros resultados mostraron que la infestación es alta en los árboles de la finca de Oued taria. El estudio de la bioecología de *E. olivina* demostró que esta plaga desarrollaba dos generaciones al año, en primavera, en función de los factores climáticos. Se encontró una diferencia significativa entre la abundancia relativa de las diferentes etapas

vitales (huevos, fase larvaria 1, 2, 3, 4 y 5, hembras y machos) y las orientaciones de los puntos cardenales. Las orientaciones sur y centro del árbol fueron las más infectadas por psyla. Las fluctuaciones de las poblaciones se vieron significativamente afectadas por las estaciones en las dos fincas.

Palabras clave: Bioecología, *Euphyllura olivina*, Fenología, Dinámica poblacional, Olivares, Plagas en olivares

Resum

Dinàmica de la població, fluctuacions estacionals i distribució espacial del psíl·lid olivar Euphyllura olivina Costa (Homoptera, Psyllidae) a Argèlia. El psíl·lid de l'olivera, *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera; Psyllidae), provoca danys considerables als camps d'oliveres de la conca mediterrània, per tant n'afecta la producció. Per avaluar la taxa d'infestació i proporcionar elements de gestió integrada de plagues, el seguiment del cicle de vida i la bioecologia d'aquesta plaga es van dur a terme mitjançant un recompte periòdic de poblacions a les fulles i branquetes de l'arbre del 29 de març de 2019 al 27 de març de 2020 a dues finques d'oliveres relativament llunyanes (Ain fares i Oued taria) a la wilaya de Mascara, Argèlia. Els nostres resultats van mostrar que la infestació és elevada als arbres de la granja de Oued taria. L'estudi de la bioecologia d'*E. olivina* va demostrar que aquesta plaga va desenvolupar dues generacions a l'any, a la primavera, en funció dels factors climàtics. Es va trobar una diferència significativa entre l'abundància relativa de les diferents etapes (ous, fase larvària 1, 2, 3, 4, i 5, femella i mascle) i les orientacions cardinals. Les orientacions del sud i del centre es van infectar més per la psyla. Les fluctuacions de les poblacions es van veure significativament afectades per les estacions a les dues finques.

Paraules clau: Bioecologia, *Euphyllura olivina*, Fenologia, Dinàmica poblacional, Oliverars, Plagues en oliverars.

Received: 05/03/2021; Conditional acceptance: 17/05/2021; Final acceptance: 09/08/21

Guessab Asmaa, Elouissi Mouffok, Lazreg Fatiha, Elouissi Abdelkader, Laboratory of Research on Biological Systems and Geomatics, Faculty of Natural Sciences and Life, University of Mascara, 29000 Mascara, Algeria.

Corresponding author: Asmaa Guessab. E-mail: guessab71@gmail.com

Introduction

Olive farming is a major agricultural activity in Algeria. The tree's hardiness and plasticity allowing it to produce olives in harsh conditions (FAOSTAT, 2017). However, olive production is limited by several problems. Several insect pests, such as the olive fruit fly (*Bactrocera oleae*, its main pest), the olive moth (*Prays oleae*), the olive psyllid (*Euphyllura olivina*), and the black scale (*Saissetia oleae*) are the main causes of low productivity. These pests attack all the parts of the tree, the leaves, flowers, twigs, and fruit (El Hadrami and Nezha, 2001).

Euphyllura olivina (Costa) (Homoptera, Sternorrhyncha, Psylloidea), native to southern Europe, is mainly found on the olive tree, *Olea europaea* L. (Debo et al., 2011; Triapitsyn et al., 2014), although it can also live on other Oleaceae such as *Phillyrea angustifolia* and *P. latifolia*. This species has a wide distribution, having been reported from Algeria, Austria, Corsica, France, Germany, Great Britain, Iran, Italy, Madeira, Malta, Montenegro, Morocco, Palestine, Portugal, Slovenia, Spain, Switzerland, Tunisia, and Yugoslavia. It has also been introduced into United States of America (California) (Ouvrard, 2021). It was first recorded from Algeria by Arambourg, in 1986.

Euphyllura olivina is an economic olive pest in its native regions. Its life comprises two generations (spring and autumn) or three generations (two in spring and one in autumn) (Chemseddine, 1988; Tajnari, 1992). According to Hmimina (2009), it causes most damage in spring when the developed larvae attack the flower clusters, causing their sterility (Jardak et al., 1985) and the fall of the inflorescences and fruit (Chermiti, 1983) causing losses of up to 60% loss in some parts of the Mediterranean Basin (Zouiten and El Hadrami, 2001; Percy et al., 2012). The larvae secrete cottony flakes and honeydew which attracts ants, favouring the establishment of an ectoparasitic fungus, the sooty mold *Capnodium oleaginum*, which alters the photosynthesis of the tree, decreasing productivity (Arambourg and Chermiti, 1986) and thus decreasing commercial production (Chermiti, 1989; Jarraya, 2003).

Our aim was to study the population dynamics of the olive psyllid in two locations in the region of Mascara, Algeria, by means of random sampling and beating the olive tree branches ('frappage' method), over a 12-month period, from March 2019 to March 2020. We also aimed to: (a) determine the biological cycle of the species; (b) describe its population dynamics at various stages of development, in time (according to the seasons) and in space (two different geographic zones); and (c) determine the number of generations so as to find out the optimal period for intervention using the various control methods used against these pests in olive groves in the region.

Material and methods

Survey of the olive psyllid

The study was carried out to determine the dynamics and bioecology of the olive psyllid in olive tree groves during the growing seasons of March 2019 and March 2020. Surveys were conducted at two farms in the region of Mascara, Algeria, one in the town and the other in the other town. Ain fares is situated at 35° 28' 47" N, 0° 14' 39" E at an altitude of 804 m and has a surface area of 2.6 ha. The trees are over 50 years old. Oued taria is located at 35°6' 16"N, 0°0'33"E]. The altitude is 471 m, and surface area is 3 ha. The trees are about 16 years old. Both farms have a semi-arid climate. Cultivation activity is limited to tree size and the land is ploughed in autumn. The olive trees are of the Sigoise and Chemlal variety and are planted at a distance of 8 m x 8 m on light, deep soil.

The sampling method used was that described by Vasseur and Schvester (1957), Benassy (1961) and Fabres (1979). The surveyed sites were divided into 9 sampling plots including 25 olive trees. Samples were taken every 10 days. The method consists of selecting 10 trees and taking two twigs of 20 cm long and 20 leaves in each cardinal direction from the center of the tree. The samples collected were placed separately in Kraft paper bags with all information noted (date, cardinal direction, etc.).

Samples were then transferred directly to the laboratory for classifying and counting. The selected twigs and leaves were carefully examined under a binocular microscope. The different biological stages of the olive psyllids (eggs, larvae, adults) were quantified on both sides of the leaf and on the two twigs of each cardinal direction and recorded. For each stage, we quantified the total number of living individuals in order to assess the phenology of the insect over time.

Statistical analysis

The χ^2 -test was made using the `chisq.test` function from R environment (R Core Team, 2020). Post hoc tests with Bonferroni correction were made using the `fifer` package (Fife, 2017). The significance level (α) was fixed at 0.05 in this study.

Sample = (2 twigs + 20 leaves) * (4 cardinal orientation + center of the tree) / tree

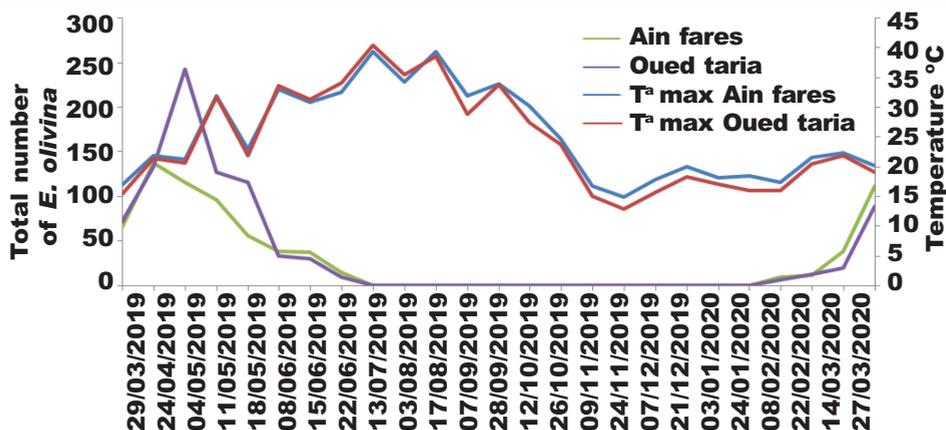


Fig. 1. Fluctuation of the numbers of the total population of *E. olivina* on the olive tree in Ain fares and Oued taria from March 2019 to March 2020.

Fig. 1. Fluctuación de los valores de la población total de *E. olivina* en el olivo en Ain fares y Oued taria de marzo de 2019 a marzo de 2020.

Results

Population dynamics

The results of the annual fluctuation of *Euphyllura olivina* are shown in figure 1. The most important peaks were recorded during spring in both study areas. Olive psylla infestation started on 29/03/2019 and continued up to harvesting at 22/06/2019 with peaks of infestation on 04/05/2019 in Oued taria and on 26/04/2019 in Ain fares. The results show that the Oued taria olive grove had a higher infestation than in the Ain fares farm. Results show that the psylla infestation was affected by the region and the climate.

The first generation in Oued taria appeared a little later than that at Ain fares. This is related to ecological conditions such as nutritional and local climatic conditions. The first generation in Ain fares began in March, coinciding with the first sap flow, and ended at the beginning of June, while the second generation started at the beginning of June and ended at the beginning of July. In Oued taria, the first generation began in late March and ended in early June, while the second generation began in early June and ended in early July. According to Kaplan and Alaserhat (2019), there is a close relationship between the ecology of *E. stramineae* and plant phenology and climate condition.

Spatial distribution of the different life stages of *E. olivina* according to the orientations of the tree

According to the orientations at both study sites, we found a significant difference in the evolution of populations of the psylla *E. olivina* depending on the orientation of the olive branches on the trees studied (fig. 2, 3).

The abundance of the different developmental stages (eggs, L1, L2, L3, L4, L5, female and male) according to the orientation was significantly different ($\chi^2 = 49.53$, $df = 28$,

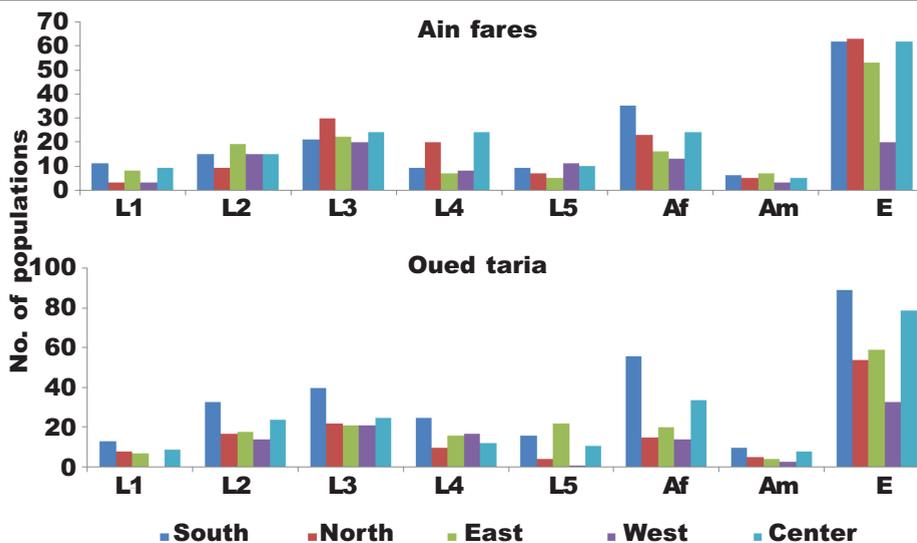


Fig. 2. Distribution of psyllid populations *E. olivina* on the olive tree according to cardinal orientations in Ain fares and in Oued taria (Mascara).

Fig. 2. Distribución de las poblaciones del psílido *E. olivina* en el olivo según la orientación respecto a los puntos cardinales en Ain Fares y en Oued taria (Mascara).

$P = 0.0073$) at the Ain fares farm (fig. 2). The eggs were present in high numbers on the cardinal points north, south and center, with 63 eggs/sample for each orientation. Moreover, the east and the west orientations had a lower numbers of eggs with 53 and 20 eggs, respectively. The first larval stage (L1) was about 11 larvae/sample and 9 larvae/sample in the south and center, respectively. The second larval instar (L2) showed the highest numbers for the eastern orientation with an average of 19 larvae/sample and 16 larvae/sample in the south. In the third larval instar (L3) we noted a high average numbers on the north side with an average of 30 individuals per sample. For the fourth larval stage (L4), we observed that center and north directions showed the highest number of larvae with an average of 24 larvae/sample and 20 larvae/sample, respectively. The last larval instars (L5) showed respective means of 11 and 10 larvae per sample in the west and center directions. For the adult female and male, the averages were highest mainly in the south, with 35 adult females per sample and 7 male adult per sample, respectively (fig. 2). Pearson's χ^2 test showed a link between abundance of different stages of development and the cardinal orientation in the farm of Oued taria ($\chi^2 = 50.2105$, $df = 28$, $P = 0.00613$). We found the number of eggs was highest on the south side and center of the tree, with a rate of 89 eggs/sample. In the north we found about 54 eggs/sample in the north and 33 eggs/sample in the west. The first larval stage (L1) presented 13 larvae/sample in the south and 9 in the center of the tree. The second larval instar (L2) showed the highest numbers in the south with an average of 33 larvae, followed by 24 larvae/sample in the center. The third larval instar (L3) had a high number on the south side with an average of 40 larvae per sample. The fourth larval stage (L4) showed that the south of the tree had an incidence of 25 larvae/sample. The last larval instar (L5) showed that the eastern and southern directions were more infected

Table 1. Number of olive psylla/tree recorded on infested olive in Ain fares and in Oued taria according to cardinal orientations during 2019/2020. The cumulative number in the same row with different letters significantly differs at P -value ≤ 0.05 (tests for significant differences among all pairs using χ^2 -test; NS, not significant at P -value ≥ 0.05).

Tabla 1. Número de psílidos del olivo/árbol en los olivos infestados en Ain fares y en Oued taria según la orientación cardinal durante la temporada 2019/2020. El número acumulado en la misma fila con distintas letras difiere significativamente en valores de $P \leq 0.05$ (tests para diferencias significativas entre todos los pares usando el test χ^2 ; NS, no significativo para valores de $P \geq 0.05$).

	L1	L2	L3	L4	L5	Adult female	Adult male	Eggs	P-value	χ^2 -test
Ain fares										
South	11a	15ab	21ab	9a	9a	35bc	6a	62c	< 0.0001	$\chi^2 = 120.28$ df = 7
North	3a	9abc	30d	20bcd	7abc	23bd	5ac	63e	< 0.0001	$\chi^2 = 138.1$ df = 7
East	8ab	19ab	22a	7ab	5b	16ab	7ab	53c	< 0.0001	$\chi^2 = 102.24$ df = 7
West	3a	15ab	20b	8ab	11ab	13ab	3a	20b	< 0.0001	$\chi^2 = 27.17$ df = 7
Center	9ab	15ab	24a	24a	10ab	24a	5b	62c	< 0.0001	$\chi^2 = 104.59$ df = 7
Oued taria										
South	13ab	33acd	40cd	25abc	16ab	56de	10b	89e	< 0.0001	$\chi^2 = 140.58$; df = 7
North	8ab	17ab	22a	10ab	4b	15ab	5b	54c	< 0.0001	$\chi^2 = 109.08$; df = 7
East	7ab	18ab	21a	16ab	22a	20a	4b	59c	< 0.0001	$\chi^2 = 94.12$; df = 7
West	0a	14bc	21b	17b	1a	14bc	3ac	33b	< 0.0001	$\chi^2 = 47.94$; df = 6
Center	9a	24ab	25ab	12a	11a	34b	8a	79c	< 0.0001	$\chi^2 = 154.75$; df = 7

by the larvae, with 22 and 16 larvae/sample respectively. The adult female and adult male were recorded in the south and center with numbers of 56, 34, 10, and 8, respectively. Our results showed the cumulative number of life stages of psylla according to the orientation during the season 2019 (table 1), emphasizing the positive relationships between the psylla stages, infestation and orientations. The number of L2 and L3 were higher depending on the orientation, whereas the female adult number was higher in the south, north and east. Egg numbers were very high in all the orientations. Table 1 also shows the distribution of

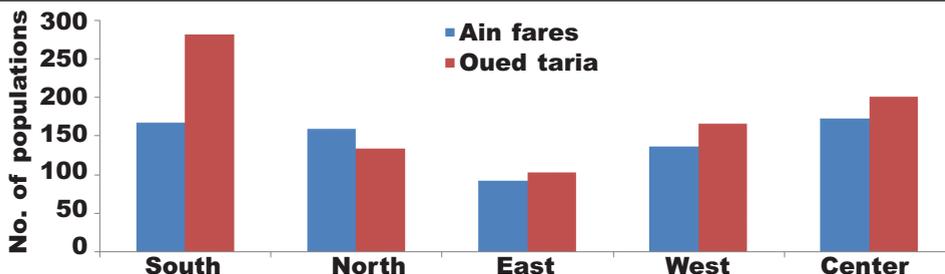


Fig. 3. Cardinal distribution of *E. olivina* on the olive tree in Ain fares and Oued taria (Mascara).

Fig. 3. Distribución de E. olivina respecto a los puntos cardinales en el olivo en Ain Fares y Oued Taria (Mascara).

the larval stages according to the orientation during the season 2019/2020. The number of eggs was highest in the south, center, east and north with 89, 79, 59 and 54 eggs/sample, respectively. Numbers were lowest in the west. There is a significant difference between the number of eggs and the orientation. For the second and first larval stages the numbers were highest in the south and north with 13, 33, 8 and 17 larvae/ sample respectively. The highest distribution of third, fourth and fifth instars were in the south, north and center. The difference between the larval stages and orientations was different.

Monthly and seasonal distribution

The number of psylla collected varied between the two farms and season and month (fig. 4, 5). Few or no psylla was collected in winter and summer (fig. 4). In spring of 2019 to 2020 large numbers of psylla were collected in both study sites (fig. 5). Populations peaked in May. The Pearson's chi-squared test (χ^2) showed that there is a link between the presence of life stages of psylla (L1, L2, L3, L4, L5, female, male and eggs) and sampling season ($\chi^2 = 81.0207$, $df = 14$, $P = 0$). The monthly abundance and evolution of the life stage of psylla was significantly different in both study areas. The χ^2 -test proved the existence of relationship between the population level and months (Ain fares: $\chi^2 = 229.37$, $df = 28$, $P < 0.001$). Oued taria, a significant difference was noticed between the life stage of psylla and season ($\chi^2 = 80.0128$, $df = 14$, $P = 0$). In the same case a significant difference was observed between the life stages and the months ($\chi^2 = 196.69$, $df = 28$, $P = 0$).

In Ain fares, the results presented in table 2 and 3 showed that throughout 2019 season, the seasonal flight activity of *E. olivina* started at the end of February, and continued its activity throughout the season till the end of June 2019. Present study also demonstrated one peak of flight activity of *E. olivina* occurred at the mid of April. The cumulative number of psylla according to the season which the spring was highest season for the apparition 2019 season. Results show that the rate of psylla infestation was significantly affected by season. It was noted a higher number of eggs with 235 egg/tree in the spring followed by the L2 and L3 with 71 and 115 respectively.

A higher number of individuals were recorded during the study year from March 2019 to March 2020 in Oued taria compared (36, 105, 128, 79, 59, 117, 23, and 302) respectively for (L1, L2, L3, L4, L5, adult female and adult male). A significant difference was noted between the season and cumulative number of all the stages. The population increased gradually from the beginning of the season and decline was noted at the end of season (table 2).

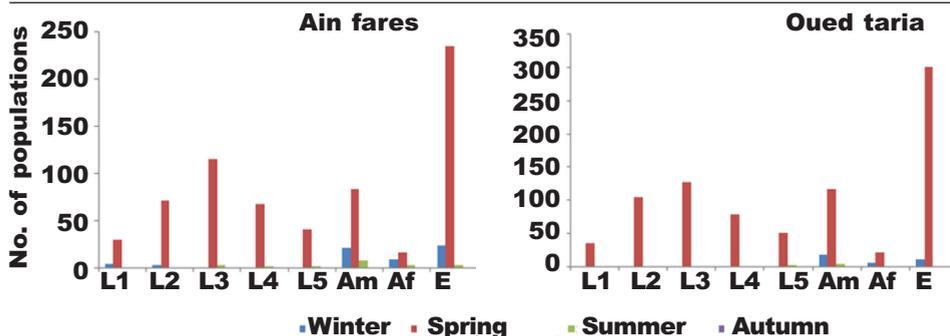


Fig. 4. Seasonal abundance of *E. olivina* in relation to life stages on olive trees in Ain fares and Oued taria (Mascara): Am, adult male; Af, adult female; E, eggs.

Fig. 4. Abundancia estacional de las diferentes fases vitales de *E. olivina* en el olivo en Ain fares y Oued taria (Mascara): Am, machos adultos; Af, hembras adultas; E, huevos.

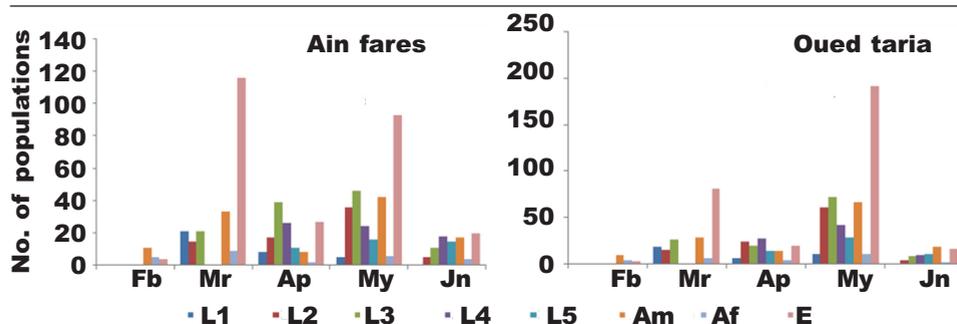


Fig. 5. Monthly evolution of the different life stages of *E. olivina* on olive trees in Ain fares and Oued taria (Mascara). Am, adult male; Af, adult female; E, eggs; months (Fb, February; Mr, March; Ap, April; My, May; Jn, June).

Fig. 5. Evolución mensual de la abundancia de fases de desarrollo de *E. olivina* en el olivo en Ain fares y en Oued taria (Mascara). Am, machos adultos; Af, hembras adultas; E, huevos; meses (Fb, febrero; Mr, marzo; Ap, abril; My, mayo; Jn, junio).

During this study, we have noticed the presence of eggs laid on the end of February where the numbers accelerate in March (table 3). A heavy larval infestation was noticed in the spring from March to May whereas the numbers of eggs and all larval stages were highest. Almost the population was null at the mid of June. A significant difference was registered between the larval stages number and months.

Table 2. Seasonal number of olive psylla/tree recorded on infested olive in Ain fares and in Oued taria during 2019/2020. The cumulative number in the same row with different letters significantly differs at P -value ≤ 0.05 (tests for significant differences among all pairs using χ^2 -test; NS, not significant at P -value ≥ 0.05).

Tabla 2. Número estacional de psílidos del olivo/árbol registrado en los olivos infestados en Ain fares y en Oued taria en la temporada 2019/2020. El número acumulado en la misma fila con distintas letras difiere significativamente en valores de $P \leq 0.05$ (tests para diferencias significativas entre todos los pares usando el test χ^2 ; NS, no significativo en valores de $P \geq 0.05$).

	L1	L2	L3	L4	L5	Adult female	Adult male	Eggs	P-value	χ^2 -test
Ain fares										
Winter	4a	2a	0a	0a	0a	21b	8ab	23b	< 0.0001	$\chi^2 = 32.86$ df = 4
Spring	30ab	71cd	115e	67cd	41ac	83de	16b	235f	< 0.0001	$\chi^2 = 408.33$ df = 7
Summer	0a	0a	2a	1a	1a	7a	2a	2a	0.07NS	$\chi^2 = 10.2$ df = 5
Autumn	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
Oued taria										
Winter	1ab	1ab	0a	0a	0a	18c	7abc	11bc	< 0.0001	$\chi^2 = 27.26$ df = 4
Spring	36ab	105cd	128c	79de	59ae	117cd	23b	302f	< 0.0001	$\chi^2 = 517.3$ df = 7
Summer	0a	0a	1a	1a	2a	4a	0a	1a	0.437NS	$\chi^2 = 3.778$ df = 4
Autumn	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA

Discussion

In the present study, there were no increases in populations of *E. olivina* in March, and the study sites had a very low population density from March to June 2019. Similarly the study of the global fluctuation of *E. olivina* within the study plot in Mostaganem (Algeria) by Khobzi (2019) confirmed the absence of psylla individuals on the first two samplings, and affirmed an evolution in the populations of the insect was recorded on March 23 with low abundance.

Our results show the population dynamics of *E. olivina* from 29 March 2019 to 27 March 2020 and confirm the existence of two spring generations under the influence of climatic conditions. Most authors agree to count two generations of the insect; Mustafa (1989) in

Table 3. Monthly number of olive psylla/tree recorded on infested olive in Ain fares and in Oued taria during 2019/2020. The cumulative number in the same row with different letters significantly differs at P -value ≤ 0.05 (tests for significant differences among all pairs using χ^2 -test; NS, not significant at P -value ≥ 0.05).

Tabla 3. Número mensual de psíidos del olivo/árbol registrado en los olivos infestados en Ain fares y en Oued taria en 2019/2010. El número acumulado en la misma fila con distintas letras difiere significativamente en valores de $P \leq 0.05$ (tests para diferencias significativas entre todos los pares usando el test χ^2 ; NS, no significativo en valores de $P \geq 0.05$).

	L1	L2	L3	L4	L5	Adult female	Adult male	Eggs	P-value	χ^2 -test
Ain fares										
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
F	0a	0a	0a	0a	0a	11a	5a	4a	0.12NS	$\chi^2 = 4.3$ df = 2
M	21ab	15ab	21ab	0c	0c	33a	9bc	116d	< 0.0001	$\chi^2 = 224.06$ df = 5
A	8ab	17acd	39c	26acd	11abd	8ab	2b	27 cd	< 0.0001	$\chi^2 = 63.043$ df = 7
M	5a	36bc	46b	24bc	16ac	42b	6a	93d	< 0.0001	$\chi^2 = 171.34$ df = 7
J	0a	5abc	11bc	18bc	15bc	17bc	4ab	20c	0,004	$\chi^2 = 18.89$ df = 6
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
A	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
S	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
O	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
N	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
D	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
Oued taria										
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
F	0a	0a	0a	0a	0a	10a	5a	3a	0.115NS	$\chi^2 = 4.33$ df = 2
M	19ab	16ab	27a	0c	0c	29a	7bc	82d	<0.0001	$\chi^2 = 118.66$ df = 5
A	7a	25b	20ab	28b	14ab	14ab	5a	3ab	<0.0001	$\chi^2 = 27.90$ df = 7
M	11a	67b	73b	42bc	23ac	67b	11a	192d	<0.0001	$\chi^2 = 390.54$ df = 7
J	0a	4abc	9abcd	10bcd	11bcd	19d	2ab	17cd	0,001	$\chi^2 = 22.5$ df = 6
J	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
A	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
S	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
O	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
N	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA
D	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA

Jordan, Chemseddine (1988), Hilal et al. (1997) and Tajnari (2001) at Haouz (Morocco), Meftah et al. (2014) in Morocco, Tzanakakis (2008) in Italy and Dibo and Ksantini (2011) in Tunisia, Chafaa et al. (2017) in north-east Algeria (Batna). The population of psylla at the two farms varied, and was highest at Oued taria which was irrigated. Our results are in accordance with those of Abo-Shanab (2000) and Mesbah et al. (2019) in Egypt concerning another species of olive psyllid, *E. straminea*. The infestation rate was higher in the irrigated farm than in the farm with little rain, and it was seen that the activity of the insect was influenced by and linked to weather factors. The first generation had a higher population level than the second generation. These observations agree largely with those reported by Arambourg (1964), Chermiti (1989) and Ksantini (2003). Activity of the first generation of the insect appears to be influenced by the temperature and the nutritional quality of the plant, which support female fertility and larval development. Orientation with more favorable conditions seems to play a role in the development of the insect. Belhamdounia (1993) noted the preference of south orientation for larvae in the spring, and south and west orientation for adults.

The distribution of populations of *E. olivina* according to the season and month showed identical behavior at both study sites. Spring was the most favorable season for the development of the olive psylla, unlike *E. straminea* which is present in nature all year round, hibernating in the winter as adult (Kaplan and Alaserhat, 2019).

Ksantini (1986) and Chermiti (1989) observed that high temperatures in association with low relative humidity caused high mortality of eggs and larvae, and spawning even stopped in females of *E. olivina*. Because of the high temperatures and the slower vegetative growth of the tree, second generation adults entered summer rest from June. The insect exhibited polycyclic dynamics, showing its stability to survive from one generation to the next.

We observed an apparent difference in the life stage of psylla and season. Some other psyllid species such as *Bactericera cockerelli*, *Cacopsylla pyricola* (Förster) and *Cardiaspina albitextura* were reported to be intolerant to extreme weather (Blomquist and Kirkpatrick, 2002; Rakhshani and Saeedifar, 2013). Atwal et al. (1970) suggested that both high and low temperatures were detrimental to the psyllid population. However, we found a significant relationship between season and the population fluctuation of *E. olivina*. This phenomenon, together with different climatic conditions as shown by the rainfall from February to mid-April could explain why there was no population increase in March. Mustafa and Najjar (1985) recorded five distinct stages of ovariole formation and development. Ovarian development of the summer generation was in reproductive diapause from mid-June to mid-November. The environmental factors including temperature and photoperiod induced diapauses in adults. Adults of the spring generation showed mature eggs within a week of emergence (Mustafa and Najjar, 1985).

Conclusion and perspective

The dynamics of the psyllid *E. olivina* populations at the two farms in Algeria developed up to two generations per year, both in the spring and related to climatic factors. Southern and western orientations appeared to be more infested. To sum up, evolution of this psyllid is probably influenced by seasonal climatic conditions and the host plant, with spring being the most favorable season for their proliferation. Knowing the spatial distribution of an insect population helps to achieve more accurate and effective sampling and to develop a pest control management program.

Acknowledgements

We would like to thank all of those with whom we had the pleasure to work during this project.

References

- Abo–Shanab, A. S. H., 2000. Efficiency of biocides and insecticides on control of an Economic pest "population dynamics" and integrated pest management of psyllid, *Euphyllura straminea* on olive trees in burg el–Arab. PhD thesis, Faculty of Agriculture, Alexandria University, Egypt.
- Arambourg, Y., 1964. Caractéristiques du peuplement entomologique de l'olivier dans le Sahel de Sfax. Faculty of Sciences, University of Paris, France.
- 1986. Traite d'Entomologie de l'olivier agricole. *Conseil Oléicole International*, Juan Bravo, Madrid.
- Arambourg, Y., Chermiti, B., 1986. *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera: Psyllidae). In: *Traité d'Entomologie Oléicole, Espagne: Conseil Oléicole International*: 163–171 (Y. Arambourg, Ed.). Conseil Oleicole International, Madrid, Spain, Doi: [hal-02858106](https://doi.org/10.1007/978-3-70-012858-106)
- Atwal, A. S., Chaudhary, J. P., Ramzan, M., 1970. Studies on the development and field population of citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuwayana (Homoptera: Psyllidae). *Journal of Research Punjab Agricultural University*, 7(3): 333–338.
- Belhamdounia, S., 1993. Contribution à l'étude bioécologique des principaux ravageurs de l'olivier dans la plaine de Tadla. Thesis 3rd cycle, Faculty of Sciences, Marrakech, Maroc.
- Benassy, C., 1961. Les secrétions tégumentaires chez les Coccidés. *Annales de Biologie*, 37: 165–171.
- Blomquist, C. L., Kirkpatrick, B. C., 2002. Frequency and seasonal distribution of pear Psylla infected with the pear decline phytoplasma in California pear orchards bacteriology. *Phytopathology*, 92(11): 1218–1226, Doi: [10.1094/PHYTO.2002.92.11.1218](https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.11.1218)
- Chafaa, S., Dambri, B., Chabri, H., 2017. Premières données sur le cycle biologique et la dynamique des populations du psylle de l'olivier (*Euphyllura olivina* Costa (1839) Hemiptera: Psyllidae) dans la region de Ain Touta – Wilaya de Batna– Nord–Est de l'Algerie. In: *11e Conférence Internationale Sur Les Ravageurs Et Auxiliaires En Agriculture Montpellier, France*, 25–26 Octobre 2017, 18: 186–195.
- Chemseddine, M., 1988. Les arthropodes frondicoles de l'olivieraie du Haouz (Maroc) : évolution spatio–temporelle des peuplements et bioécologie des espèces dominantes. PhD thesis, University of Marrakech, Morocco.
- Chermiti, B., 1983. Contribution à l'étude bioécologique du Psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera: Psyllidae) et de son endoparasite *Psyllaephagus euphyllurae* Silvestri. (Hymenoptera: Encyrtidae). PhD thesis, Université d'Aix–Marseille, France.
- 1989. Dynamique des populations du psylle de l'olivier *E. olivina*, en conditions méditerranéennes. PhD thesis, University of Aix–Marseille, France.
- Debo, A., Yangui, T., Dhouib, A., Ksantini, M., Sayadi, S., 2011. Efficacy of a hydroxytyrosol–rich preparation from olive mill wastewater for control of olive psyllid, *Euphyllura olivina*, infestations. *Crop Protection*, 30(12): 1529–1534, Doi: [10.1016/j.cropro.2011.08.006](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.006)
- Dibo, A., Ksantini, M., 2011. Study on Reproduction and Development of Olive Tree Psylla *Euphyllura olivina* Costa (Hemiptera: Psyllidae) Under Different Plantation Types. *Arab Journal of Plant Protection*, 29: 141–148.
- El Hadrami, I., Nezha, Z., 2001. La mouche de l'olive état des connaissances et perspectives de lutte. *Défense des Végétaux*, 493: 45–48.
- Fabres, G., 1979. Analyse structurelle et fonctionnelle de la biocénose d'un homoptère *Lepidosaphes beckii* (Homoptera: Diaspididae) dans deux habitats agrumicoles de la Nouvelle–Calédonie. Ed. ORSTOM, Paris.
- FAOSTAT, 2017. *Commodities production by country*. FAO. Available online at: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country [Accessed on October, 11th, 2021]
- Fife, D. A., 2017. *Fifer: a biostatisticians toolbox for various activities, including plotting, data cleanup, and data analysis*. R package, <https://mran.microsoft.com/snapshot/2017-04-11/web/packages/fifer/fifer.pdf> [Accessed on October, 11th, 2021].

- Jardak, T., Moalla, M., Khalfallah, H., Smiri, H., 1985. Essais d'évaluation des dégâts causés par le psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* (Homoptera: Psyllidae) données préliminaires sur le seuil de nuisibilité. In: *Integrated Pest Control in Olive Groves, Proceedings of the International Joint Meeting CEC/FAO/IOBC*, Pisa 3–6 April 1984: 270–284 (R. Cavalloro, A. Crovetto, Eds.). A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Jarraya, A., 2003. *Principaux nuisibles des plantes Cultivées et des denrées stockées en Afrique du nord: leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts et leur contrôle*. Editions Climat Publications, Tunis, Tunisia.
- Hilal, A., Tajnari, H., Sekkat, A., Chemseddine, M., 1997. Mise en évidence d'une diapause de reproduction de psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* costa (Homoptera, Psyllidae). *Al Awamia*, 98: 23–33.
- Hmimina, M., 2009. Les principaux ravageurs de l'olivier, la mouche, la teigne, le psylle et la cochenille noire. *Bulletin Mensuel D'Infomation et Liaison du PNTTA (Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture)*, 183. Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Rabat Morocco.
- Kaplan, M., Alaserhat, I., 2019. Ecology, Population Development and Damage of *Euphyllura Straminea* Log. (Hemiptera: Psyllidae) Causing Damage in Olive Orchards. *Erwerbs-Obstbau; Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature* 2019, Doi: [10.1007/s10341-019-00448-y](https://doi.org/10.1007/s10341-019-00448-y)
- Khobzi, M., 2019. Etude de la dynamique des populations du psylle d'olivier *Euphyllura olivina* dans la région de Hassi Mamèche «wilaya de Mostaganem». Mémoire Master in Agronomy, University Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algeria.
- Ksantini, M., 1986. Contribution à l'étude de l'influence des températures constantes sur le développement de l'œuf du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera: Psyllidae). *Vème session du réseau de la protection phytosanitaire de l'olivier. Document FAO*: 267–276.
- 2003. Contribution à l'étude de la dynamique des populations du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera: Aphalaridae) et de sa nuisibilité dans la région de Sfax. PhD thesis, Faculty of Sciences, Sfax, Tunisia.
- Meftah, A., Boughdad, A., Bouchelta, A., 2014. Infestation and biological cycle of *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera: Psyllidae) in central Morocco. *Science Library Editions Mersenne*, 6: 140402.
- Mesbah, H. A., Moursi, K. S., El-Kady, M. B., Masry, S. H. D., Hassona, N. M., Abd El-Motelb, Y. A. T., 2019. Comparative susceptibility of four olive cultivars for infestation by the olive psyllid, *Euphyllura straminea* Longnova in Burg El-Arab area, Alexandria, Egypt. *Journal of Alexandria Science Exchange*, 40(3): 501–506, Doi: [10.21608/asejaiqjsae.2019.52576](https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2019.52576)
- Mustafa, T. M., 1989. Bionomics of the olive psylla, *Euphyllura olivina* Costa (Hom, Psyllidae) in Jordan. *Journal Biological Science Research*, 20(1): 159–166.
- Mustafa, T. M., Najjar, Y. H., 1985. Contributions to the reproductive biology of olive psylla *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera: Psyllidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, Doi: [10.1111/j.1439-0418.1985.tb02760.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1985.tb02760.x)
- Ouvrard, D., 2021. *Psyllid list. The World Psylloidea Database*, <http://www.hemipteradatabases.com/psyllid> [Accessed on January, 17th, 2021].
- Percy, D. M., Rung, A., Hoddle, M. S., 2012. An annotated checklist of the psyllids of California (Hemiptera: Psylloidea). *Zootaxa*, 3193: 1–27, Doi: [10.11646/zootaxa.3193.1.1](https://doi.org/10.11646/zootaxa.3193.1.1)
- Rakhshani, E., Saeedifar, A., 2013. Seasonal fluctuations, spatial distribution and natural enemies of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in Iran. *Entomological Science*, 16: 17–25, Doi: [10.1111/j.1479-8298.2012.00531.x](https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2012.00531.x)
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/> [Accessed on

January 17th, 2021].

- Tajnari, H., 1992. Etude bio-écologique d'*Euphyllura olivina* Costa (Hom. Psyllidae) dans les régions du Haouz et d'Essaouira: mise en évidence d'un état de diapause ovari. Meknès, Maroc. Thèse de troisième cycle, École nationale d'agriculture.
- 2001. Étude de la nuisibilité du psylle de l'olivier, *Euphyllura olivina* Costa. In: *Symposium sur la Protection Intégrée des Cultures dans la région Méditerranéenne*: 17–21. Direction de la Protection des Végétaux, du Control Technique et de la Répression des Fraudes, Rabat, Morocco,
- Triapitsyn, S. V., Jones, J. M. L., Pickett, C. H., Buffington, M. L., Rugman-Jones, P. F., Daane, K. M., 2014. Description of the male of *Psyllaephagus euphyllurae* (Masi) (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the olive psylla, *Euphyllura olivina* (Costa) (Hemiptera: Liviidae), with notes on its reproductive traits and hyperparasitoids. *Journal of Entomological and Acarological Research*, 46(3): 112–118, Doi: [10.4081/jeur.2014.4092](https://doi.org/10.4081/jeur.2014.4092)
- Tzanakakis, M. E., 2008. Olive Psyllids. *Euphyllura* spp. (Hemiptera: Psyllidae). In: *Encyclopedia of Entomology*: 2669–2671. Springer Netherlands, Dordrecht, Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6_1842
- Vasseur, A., Schvester, D., 1957. Biologie et écologie du Pou de San José (*Quadraspidiotus perniciosus*) en France. *Annale des Epiphyties et de Phytogénétique*. INRA, Paris. 8: 5–161.
- Zouiten, N., El Hadrami, I., 2001. Le psylle de l'olivier: état des connaissances et perspectives. *Cahiers d'études et de recherches francophones. Agriculture*, 10(4): 225.

Publication 2

- **Intitulé de la Revue :** Journal of Entomological Research
- **ISSN :** 0378951
- **Url de la revue/article :** DOI : 10.5958/0974-4576.2022.00008.1
- **Catégorisation de la revue :** B
- **Intitulé de la Publication :** «The study of the biological characters of three entomopathogenic fungi and their pathogenicity against the olive psyllid (*Euphyllura olivina*) under laboratory conditions».

The study of the biological characters of three entomopathogenic fungi and their pathogenicity against the olive psyllid (*Euphyllura olivina*) under laboratory conditions

Guessab Asmaa*, Lazreg Fatiha, Elouissi Mouffok and Elouissi Abdelkader

Laboratory of Research on Biological Systems and Geomatics, and Laboratory of Research on Géo-Environment and Space Development; Department of Agronomy, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Mascara, 29000, Algeria

ABSTRACT

The effect of three different growth media, temperature, and pH on the mycelium growth of three isolates of entomopathogenic fungi, *Fusarium* sp., *Verticillium lecanii* and *Isaria fumosorosea* was investigated. PDA and SDA are the most suitable growth media. The three isolates of entomopathogenic fungi that can grow on pH varied between 4.5 and 8.5. Both temperatures, 20 and 25°C, were more suitable for the mycelia growth of these isolates. The tested isolates were sporulated on standard culture media. In this study, we evaluated the comparative entomopathogenicity of three important fungi: *Fusarium* sp., *Verticillium lecanii* and *Isaria fumosorosea* in infecting the fourth and fifth larval instars of *E. olivina* with different concentrations under laboratory conditions. The obtained results showed that these isolates caused the highest mortality in days and had the potential to limit the life stage of olive psylla.

Key words : Biocontrol, Entomopathogenic fungi, *Euphyllura olivina*, *Fusarium* sp., *Isaria fumosorosea*, *Verticillium lecanii*.

INTRODUCTION

Olive psylla, *Euphyllura olivina*, is one of the most dangerous pests that affect olive trees in the Mediterranean region (Khader and Kware, 2010). This species more generally shows a large distribution, with published data from Algeria, Austria, Corsica, France, Germany, Great Britain, Iran, Israel, Italy, Madeira, Malta, Montenegro, Morocco, Portugal, Slovenia, Spain and Tunisia (Ouvrard, 2021). *Euphyllura olivina* is an economic olive pest in its native region, feeding almost exclusively on the flower blossoms and soft growing tissue of olives. It is mostly abundant in spring when olive trees are flowering and causes up to 60% yield loss in some parts of the Mediterranean Basin (Percy *et al.*, 2012; Hougardy *et al.*, 2020). To date, the application of synthetic insecticides is one of the tactics being engaged in psyllid management programs (Naeem *et al.*, 2016). Insecticides should become necessary, the preferable use before olive psyllids begin producing their waxy secretions, which can provide protection from chemicals (Zalom *et al.*, 2014). This pest is the most often controlled by excessive use of synthetic

pesticides, which may increase the probability of developing resistance to pesticides (Tian *et al.*, 2018; Naeem *et al.*, 2019). Entomopathogenic fungi are another group of fungi that infect insects, being the fungal group exploited commercially for biological control. It typically causes diseases in insects (Pedrini *et al.*, 2007; Humber, 2008). Most notably, *Beauveria bassiana*, *B. brongniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii* and *Isaria fumosorosea* are in active production, sale, and general use as microbial control agents mainly in crop production systems (Humber, 2016).

The survival of fungal species depends in part on their ability to produce large quantities of viable conidia under different environmental conditions, and even physical and nutritional requirements are more stringent than those required for mycelial growth (Moore *et al.*, 1996). Butt and Goettel (2000) suggest that the continual production of inoculums on artificial culture media may lead to instability and attenuation of the virulence of the organism. Fargues and Robert (1983): Culture media has been shown to influence the germination, mycelia growth, and virulence of fungi employed

*Corresponding author's E-mail : guessab71@gmail.com

as myco-insecticides (Fargues and Robert, 1983). The optimum pH for insectopathogenic fungi is 5 (Kotwal *et al.*, 2012). The optimal temperature for entomopathogenic fungi growth, sporulation, and infection is frequently 20 to 30°C, but temperature tolerance within a strain can vary significantly. There are several factors negatively affecting entomopathogenic fungi (Uzman *et al.*, 2019).

The objectives of this study were to study the biological characteristics of the three entomopathogenic fungi (*Verticillium lecanii*, *Fusarium* sp. and *Isaria fumosorosea*) on three different culture media at different temperatures and pH. To evaluate the efficacy of these three species against the fourth and fifth stages of olive psyllid, *E. olivina* under laboratory conditions.

MATERIALS AND METHODS

The entomopathogenic fungi are isolated and identified : The entomopathogenic fungi were isolated using a modified procedure of Thakur and Sandhu (2010). A morphological identification of collected entomopathogenic fungi was conducted by using a slide culture technique. Microscopic examination of fungi is mainly based on cultural characteristics and morphology. The morpho-taxonomic characteristics of conidia forming mycelia and conidia structure were identified based on the key of Lacey *et al.* (2011); Poinar and Thomas (2012); Lakhdari *et al.* (2015).

Effect of different media on mycelia growth : Three different growth media (SDA, PDA, and Czapek-Dox) were used to study the biological characteristics of the three species of entomopathogenic fungi. All three species (*Verticillium lecanii*, *Fusarium* sp. and *Isaria fumosorosea*) were obtained from the College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou. A mycelial implant, 8 mm in diameter, was taken on the edge of a young colony from these three isolates and deposited in the center of each Petri dish containing one of these culture media with three replications for each isolate. The plates were incubated at 25°C, 805% RH, and 16 : 8 h (L : D). The mycelial growth was evaluated every two days.

Effect of pH on mycelial growth : In order to find the optimum pH for the mycelial growth of these isolates, we inoculated them at a variable pH of 4.5, 6.5 and 8.5. The pH of the media containing PDA was adjusted with hydrochloric acid titrated to 1N. Each pH is checked using a pH meter for possible

correction. Following autoclaving, the culture media is poured into Petri dishes and inoculated with 8 mm explants of each isolate before being placed in the center of a Petri dish and incubated at 25°C. For each case, three replicates were prepared.

Effect of temperature on mycelia growth : The effect of temperature on mycelial growth on different isolates was studied on PDA in different ranges of temperatures: 5, 15, 20, 25, 30, and 35°C, where the medium was used at neutral pH with three replicates for each isolate.

Spore germination assay : A spore germination assay was performed by using microculture on a coverslip. A spore suspension of 0.1 mL (106 spores/mL) prepared in sterile distilled water (counting by a Malassez cell) was spread on a slide containing media prepared. The slides were incubated at 25°C for 24 h. The number of spores germinated was determined under a microscope (n = 300 spores). A spore was considered germinated if the germ tube length was greater than its diameter (Gottles and Inglis, 1997; Ayala-Zermeo *et al.*, 2015).

Sporulation assay : Spore production was investigated after 20 days of culturing. Conidia from the three plates in each treatment were dislodged by gently scarping with a sterile blade into 500 mL of 0.01% Tween 80 and agitating for 10 min. Then, the number of conidiospores was determined using a hemocytometer under a microscope. Thereupon, the spore production in 1 mL of medium was evaluated (Aby, 2013).

Fungal isolates and conidiospore production : Conidia obtained from the three fungal cultures were grown on PDA. After 15 days of incubation at 25°C and 60% RH, the conidia were harvested from the plates by grazing with a sterile spatula into 1% Tween-80. The suspension was vortexed for 30 min using an agitator at room temperature. The conidial concentration of the resulting stock suspension was estimated using a hemocytometer under a light microscope for each fungus. A series of dilutions were made to give concentration ranges of 10⁴, 10⁵, 10⁶, 10⁷ and 10⁸ conidia/ml (Gabarty *et al.*, 2014; Soliman *et al.*, 2020).

The bioassay tests : The infested olive trees of the same age and similar in size, shape, height, vigour and infestation were chosen. From each tree, five small branches (15 cm in length) were randomly picked from each direction, from the two farms (Ain fares and Oued taria) for each sampling interval. The picked samples were put in craft bags and

transferred to the laboratory for counting stages of that insect using the binocular microscope. All the branches were examined for the fourth and fifth larval instars, which were counted and recorded. The infested branches with about 30 larvae of each stage were sprayed with different concentrations. The branches were placed in cups containing a mixture of water and honey at 3%, then covered with sterile plastic bags to avoid the moisture. For the control treatments, the branches were sprayed with distilled water. The branches were incubated under laboratory conditions at 25°C, 70% RH, and a 12 : 12 h (L : D) photoperiod. The mortality of insects was recorded after 3 days, 5 days, and 7 days. Dead larvae were removed daily and placed in new Petri dishes covered with wet Whatman paper for fungal emergence. Conidia from dead insects from each isolate were transferred to PDA medium in a sterile condition separately. Light microscopic studies and colony formation demonstrated that the recovered fungus is identical to the inoculated fungus (Butt and Goettel, 2000).

Data processing : Insect mortality was control-corrected (Abbott, 1925) and Arcsine transformed when required to meet assumptions of normality and homogeneity of variances.

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

MC : Corrected mortality (%)

Mt : Treatment mortality rate (%)

Mc : Control mortality rate (%)

The difference among treatments in the rate of mortality was determined by analysis of variance (ANOVA) and Tukey's method was used to compare mean significant differences among treatments ($p < 0.05$) using SPSS 26 statistical software. A log probit analysis was used to determine the LCs and LTs through the R package 'ecotox' (Hlina *et al.*, 2019).

RESULTS AND DISCUSSION

The tested species demonstrated various growth rates that depended on the type of medium used. In this study, the effect of different growth media was studied and compared to results from a previous study to screen nutritional conditions for mycelium growth of the three species of entomopathogenic fungi. The results indicated that PDA and SDA are the most suitable growth media.

The isolate of *Fusarium* sp. obtained maximum mean growth on Sabouraud-dextrose-agar (7.83

cm), followed by potato dextrose agar (7.43 cm) and CAZAPEK with (6.93 cm) (Table 1). No significant difference was observed between these media ($df = 2$; $F = 2.43$; $P = 0.1685$). The isolate of *V. lecanii* obtained maximum mean growth on SDA with (8.50 cm) on the potato dextrose agar. The mycelia growth rate was (8.41 cm) and was (5.11 cm) on CZAPEK (Table 2). No significant difference was observed ($df = 2$; $F = 55.2$; $P = 0.0001$). Isolate of *I. fumosorosea* grew the most mycelia on SDA (8.46 cm), followed by potato dextrose agar (8.43 cm) and CAZAPEK (5.98 cm) (Table 3) with ($df = 2$; $F = 107$; $P = 0.0000$). These isolates were shown to be versatile fungal strains able to utilize various nutritional conditions.

To determine the optimal temperature for mycelium growth of the three genera of the entomopathogenic fungi, *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea*, it was necessary to furnish compounds required for their growth and life processes. In this study, fungal strains were cultivated on PDA growth media at temperatures of 5, 10, 20, 25, 30 and 35°C. Results in Tables 1, 2 and 3 showed that mean mycelium growth of *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea* was influenced by

Table 1. Effect of media culture, pH and temperature on mycelia growth of *Fusarium* sp.

Culture media	2 days	4 days	6 days
PDA	2.16A ± 1.18	4.91A ± 3.75	7.43A ± 4.91
SDA	2.30A ± 1.27	5.20A ± 2.57	7.83A ± 4.19
CZAPEK	1.88A ± 1.04	4.88A ± 3.49	6.93A ± 4.21
pH			
pH 4.5	1.90A ± 0.78	4.36AB ± 2.60	5.86AB ± 4.13
pH 6.5	1.90A ± 0.78	4.60 A ± 2.60	7.20A ± 4.13
pH 8.5	2.05A ± 1.04	3.95B ± 2.19	5.83B ± 2.94
Temperature			
5°C	0.80D ± 0.46	0.80B ± 0.46	0.80C ± 0.46
10°C	1.46CD ± 0.87	3.03AB ± 1.96	5.03B ± 3.06
20°C	2.61AB ± 1.65	4.58A ± 3.03	7.28A ± 4.47
25°C	2.16BC ± 1.18	5.36A ± 4.53	7.80A ± 4.91
30°C	3.43A ± 1.93	4.83A ± 3.38	6.81A ± 4.33
35°C	0.96D ± 0.61	1.28B ± 0.87	1.66C ± 1.15
Spore production			
PDA	4.91 × 10 ⁶ E ± 0.54	5.26 × 10 ⁶ BCD ± 0.51	4.42 × 10 ⁶ DE ± 0.23
Spore germination	127.33B ± 8.57		

Table 2. Effect of media culture, pH and temperature on mycelia growth of *Vertillium lecanii*.

Culture media	2 days	4 days	6 days
PDA	2.25B ± 1,47	5.35B ± 3,15	8.41A ± 4,91
SDA	3.35A ± 1,91	6.56A ± 3,75	8.50A ± 4,76
CZAPEK	1.65B ± 0,78	3.01C ± 1,67	5.11B ± 3,29
pH			
pH 4.5	2.28A ± 1,44	4.55A ± 2,89	7.63A ± 4,91
pH 6.5	2.28A ± 1,44	4.55A ± 2,89	8.35A ± 4,91
pH 8.5	1.26B ± 0,66	2.80B ± 1,47	5.66B ± 3,18
Temperature			
5°C	0.80C ± 0,46	0.80D ± 0,46	0.80E ± 0,46
10°C	1.05C ± 0,69	2.23C ± 1,44	4.63C ± 2,94
20°C	2.20B ± 1,24	4.93A ± 2,86	7.31B ± 4,24
25°C	3.46A ± 2,05	5.60A ± 3,06	8.50A ± 4,91
30°C	2.10B ± 1,27	3.93B ± 2,37	7.13B ± 4,27
35°C	1.03C ± 0,55	2.13C ± 1,15	3.41D ± 1,88
Spore production			
	PDA	SDA	CZAPEK
	6.34 × 10 ⁶ ABCD ± 0.32	6.93 × 10 ⁶ AB ± 0.15	2.77 × 10 ⁴ E ± 0.02
Spore germination	189.33A ± 9.68		

temperature ($P < 0.05$). Both temperatures, 20 and 25°C, were more suitable for the mycelia growth of these isolates. Mycelium growth of *Fusarium* sp. was better at 25 and 20°C, with (7.28 cm) and (7.80 cm) respectively. *Fusarium* sp. mycelium growth was somewhat restricted to temperatures between 10 and 30°C with (5.03 cm) and (6.81 cm). Temperatures, 5 and 35°C, blocked the mycelia growth after 6 days of inoculation (Table 1). A significant difference was ($df = 5$; $F = 147$; $P = 0.0000$). The results presented in Table 2 showed that the temperatures of 20, 25 and 30°C favoured the growth of mycelia of *V. lecanii* with (8.50 cm), (7.31 cm) and (7.13 cm) respectively. While the mycelia growth was 4.63 cm at a temperature of 10°C, a significant difference was found between the temperatures with ($df = 5$; $F = 301$; $P = 0.0000$). The data in table 3 showed that the isolate *I. fumosorosea* grew optimally at temperatures of 20, 25 and 30°C with (8.36 cm), (8.05 cm) and (7.10 cm) of growth optimally, respectively. Mycelium growth was very low or nihilistic at temperatures of 5 and 35°C, with a significant difference in temperature ($df = 5$; $F = 170$; $P = 0.0000$). Three genera of the entomopathogenic

Table 3. Effect of media culture, pH and temperature on mycelia growth of *Isaria fumosorosea*.

Culture media	2 days	4 days	6 days
PDA	2.98A ± 1,79	5.25A ± 3,20	8.43A ± 4,91
SDA	3.43A ± 2,08	5.68A ± 3,26	8.46A ± 4,85
CZAPEK	1.90B ± 1,10	3.25B ± 1,70	5.98B ± 4,39
pH			
pH 4.5	2.26A ± 1,33	4.50B ± 2,54	7.15A ± 3,90
pH 6.5	2.43A ± 1,33	5.51A ± 3,15	8.38A ± 4,71
pH 8.5	0.60B ± 0,35	1.50C ± 1,04	3.15B ± 2,37
Temperature			
5°C	0.80C ± 0,46	0.80C ± 0,46	0.80E ± 0,46
10°C	1.58B ± 0,92	3.00B ± 1,85	5.88C ± 3,64
20°C	2.31A ± 1,27	4.01AB ± 1,79	8.05AB ± 4,56
25°C	2.48A ± 1,21	4.58A ± 2,63	8.36A ± 4,91
30°C	2.11A ± 1,21	4.26AB ± 2,37	7.10B ± 3,90
35°C	1.01C ± 0,66	1.55C ± 1,15	2.91D ± 1,85
Spore production			
	PDA	SDA	CZAPEK
	7.53 × 10 ⁶ A ± 0.51	7.63 × 10 ⁶ A ± 0.38	5.83 × 10 ⁶ AB CD ± 0.57
Spore germination	211.66A ± 7.26		

fungi was grown at a wider range of temperatures, 20 - 30°C on PDA.

The results presented in Tables 1, 2 and 3 indicated that the three isolates of entomopathogenic fungi can grow on pHs varying between 4.5 and 8.5. The isolate of *Fusarium* sp. had maximum mean growth at pH 6.5 with (7.20 cm), followed by pH 6.5 and 8.5 with (5.83 cm) and (5.86 cm) respectively, with no significant difference ($df = 2$; $F = 9.68$; $P = 0.0133$). The results of mycelium growth for isolate *V. lecanii* on different pHs of 4.5, 6.5, and 8.5 were (8.35 cm), (7.63 cm) and (5.66 cm) respectively. These results indicate that this isolate can be developed on different pH ranges with no significant difference being noticed ($df = 2$; $F = 18.3$; $P = 0.0028$). Mycelium growth of *Isaria fumosorosea* was better on pH 8.5 and 6.5 (8.38 cm) and 4.5 (7.15 cm) respectively, whereas the mycelia growth on pH 8.5 was very low (3.15 cm). No significant difference was ($df = 2$; $F = 56.4$; $P = 0.0001$). There was a significant difference in the sporulation rates of three isolates of EPF ($F = 2$; $df = 25.58$; P -value = 5.47). Isolates of *I. fumosorosea*

had the highest sporulation rate on SDA with 7.63×10^6 conidia/ml compared to other isolates of *V. lecanii* and *Fusarium* sp. with 6.93×10^6 conidia/ml and 5.26×10^6 , respectively (Tables 1, 2 and 3). The three growth media had a significant effect on the sporulation rate of the three EPF isolates ($F = 4$; $df = 9, 23$; P -value = 0.0003). The sporulation was very low on CZAPECK with 5.83×10^6 ; 2.77×10^6 and 4.42×10^6 conidia/ml, respectively for *I. fumosorosea*, *V. lecanii* and *Fusarium* sp. Yeast extract has proven to be a more efficient source of nitrogen in promoting mycelial growth and sporulation. However, it has also been reported as a limiting factor for growth and sporulation depending on the concentration used.

Various culture media have been adopted to test conidial viability, such as potato-dextrose-yeast extract agar, agar-water, Sabouraud-dextrose agar, and Sabouraud-maltose-yeast agar. In our test, we used PDA. Conidial viability analysis of *I. fumosorosea*, *V. lecanii* and *Fusarium* sp. showed that *I. fumosorosea* and *V. lecanii* provided the highest germination on PDA (Tables 1, 2 and 3). However, analysis of each isolate showed that the spore germination was significantly different with ($F = 2$; $df = 21.40$; $P = 0.007$). The two-way Anova analysis showed that the media affected the spore germination ($F = 2$; $df = 0.46$; $P = 0.65$).

Susceptibility of *Euphyllura olivina* larvae : This study demonstrated the virulence of three isolates of entomopathogenic fungi, *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea* under controlled conditions. This work was for the first time realized in Algeria and in the Mediterranean basin to control the olive psyllid. It is very important to use these isolates

of entomopathogenic fungi as a biopesticide for biological control strategy. The results showed that the three isolates of *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea* were significantly ($P < 0.05$) effective against the fourth and fifth larvae instars of psyllids, resulting in higher mortality, reaching 100% and 100%, respectively, compared to the control of 0.00% under laboratory conditions. The mean percentage of larval mortality of olive psylla treated with different concentrations of fungi showed a significant increase in mortality ($P < 0.05$) with the increase of the concentration (Tables 4, 5). The fungus *I. fumosorosea* caused the highest percentages of larval mortality in the fourth larval instar that ranged from 79 - 100% at 1×10^4 and 1×10^8 conidia/ml after three to seven days after their application, respectively. The mortality rate appeared to increase with increasing concentration. Similarly, *V. lecanii* ranked second in recording 58 - 100% at the same concentrations. The mortality caused by *Fusarium* sp. varied from 46 - 100%. The mortality was highest on the fifth instar and increased with the concentrations at the concentration of 1×10^4 conidia/ml was 54, 46 and 62%, respectively, for *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea*. The three isolates of entomopathogenic fungi have shown encouraging results in controlling the fourth and fifth life stages of olive psyllids. The mortality level was very high. The mortality reached 100% after 7 days under laboratory conditions (Tables 4, 5).

The obtained results revealed no differences in larval sensitivity among the three EPF, at the lowest concentration, 1×10^4 conidia/ml. Sub-lethal concentrations (LC10), LC30 and lethal concentrations (LC50 and LC90) of the 3 EPF

Table 4. Cumulative mortality of fourth larval instar of *E. olivina* caused by *Fusarium* sp.; *V. lecanii* and *I. fumosorosea* at different concentrations.

Isolates	Time/ days	0	10^4 conidia/ml	10^5 conidia/ml	10^6 conidia/ml	10^7 conidia/ml	10^8 conidia/ml	F	p value
<i>Fusarium</i> sp.	3	0a ± 0.00	46a ± 0.33	54a ± 0.57	75a ± 0.33	82a ± 0.88	89a ± 0.33	1,421	0,299
	5	0a ± 0.00	75a ± 0.57	82a ± 0.88	96a ± 0.33	99a ± 0.66	100a ± 0.00	1,023	0,369
	7	0a ± 0.00	94a ± 0.57	100a ± 0.66	100a ± 0.00	100a ± 0.00	100a ± 0.00	1,189	0,337
<i>V. lecanii</i>	3	0a ± 0.00	58a ± 0.57	62a ± 0.33	65a ± 0.33	68a ± 0.57	89a ± 0.57	1,726	0,259
	5	0a ± 0.00	79a ± 0.57	96a ± 0.33	100a ± 1.00	100a ± 0.33	100a ± 1.00	0,909	0,394
	7	0a ± 0.00	100a ± 0.57	100a ± 0.33	100a ± 0.00	100a ± 0.00	100a ± 0.00	0,503	0,517
<i>I. fumosorosea</i>	3	0a ± 0.00	79a ± 0.57	89a ± 0.57	96a ± 0.66	100a ± 0.57	100a ± 0.33	1,732	0,259
	5	0a ± 0.00	96a ± 0.33	100a ± 0.33	100a ± 0.57	100a ± 0.00	100a ± 0.00	1,388	0,304
	7	0a ± 0.00	100a ± 0.57	100a ± 0.33	100a ± 0.00	100a ± 0.00	100a ± 0.00	0,436	0,545

Table 5. Cumulative mortality of fifth larval instar of *E. olivina* caused by *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea* at different concentrations.

Isolates	Time/ days	0	10 ⁴ conidia/ml	10 ⁵ conidia/ ml	10 ⁶ conidia/ ml	10 ⁷ conidia/ ml	10 ⁸ conidia/ ml	F	p value
<i>Fusarium</i> sp.	3	0a ± 0.00	54a ± 0.57	58a ± 0.33	82a ± 0.33	85a ± 0.33	96a ± 0.57	1,423	0,299
	5	0a ± 0.00	79a ± 0.88	85a ± 0.33	100a ± 0.33	100a ± 0.57	100a ± 0.57	3,09	0,154
	7	0a ± 0.00	100a ± 0.88	100a ± 0.33	100a ± 0.66	100a ± 0.33	100a ± 0.00	0,622	0,474
<i>V. lecanii</i>	3	0a ± 0.00	46a ± 0.57	58a ± 0.57	65a ± 0.33	68a ± 0.57	82a ± 0.33	1,536	0,283
	5	0a ± 0.00	75a ± 0.33	89a ± 0.33	100a ± 0.33	100a ± 1.00	100a ± 0.66	0,856	0,407
	7	0a ± 0.00	100a ± 0.33	100a ± 0.33	100a ± 0.00	100a ± 0.00	100a ± 0.0	0,59	0,485
<i>I. fumosorosea</i>	3	0a ± 0.00	62a ± 0.33	79a ± 0.57	89a ± 0.66	82a ± 0.57	100a ± 0.33	6,501	0,063
	5	0a ± 0.00	96a ± 0.33	100a ± 0.33	100a ± 0.66	100a ± 0.33	100a ± 0.00	1,009	0,372
	7	0a ± 0.00	100a ± 0.33	100a ± 0.33	100a ± 0.00	100a ± 0.00	100a ± 0.00	0,506	0,516

showed that *I. fumosorosea* ranked first, causing higher mortality to fourth and fifth instar larvae than *V. lecanii* and *Fusarium* sp. (Table 6). Generally, it has been recorded that EPFs vary in their pathogenicity towards insects and other arthropods.

The results of sub-lethal concentrations (LC10), LC30 and lethal concentrations (LC50 and LC90) of the 3 EPF also revealed that *I. fumosorosea* ranked first in its pathogenicity after 3, 5 and 7 days, followed by *V. lecanii* and *Fusarium* sp., which showed moderate pathogenic activity against the mentioned stages (Table 6). Similar limitations were achieved while calculating the lethal time, where the lethal time to kill 25% (LT25), 50% (LT50), 75% (LT75), and 90% (LT90) varied among the three fungal isolates (Table 7).

Effect of different culture media, temperature, and pH on mycelial growth on the three isolates of entomopathogenic fungi : In this study, the effect of different growth media was studied and compared to results from a previous study to screen nutritional conditions for mycelium growth on entomopathogenic fungi. The results indicated that

the three media favoured the mycelium growth of *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea*. These results were similar to those found by Lazreg *et al.* (2007); Hoa *et al.* (2015); Yadav and Chandra (2014). They reported that potato dextrose agar (PDA) and potato dextrose agar (SDA) were the most suitable media for optimal mycelium growth of the entomopathogenic fungi. The comparison of the three species revealed strong differences in the rate of growth. *I. fumosorosea* grew much faster than the other species. But all of the strains grew fast enough to enable a comparative study of how the various factors affected the growth process.

Culture media have been shown to influence the germination, mycelia growth, and virulence of fungi employed as myco-insecticides (Fargues and Robert, 1983). In addition, Moore *et al.* (1996) also mentioned that fungi may differ in their ability to use various sources of carbon and nitrogen for reproduction since mycelial growth and conidial production may be favoured by mono-saccharides such as glucose or fructose. The presence of carbohydrates alone was sufficient for the spores of *M. anisopliae* M-99

Table 6. Toxicity of *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea* to fourth and fifth stages of olive psylla.

Isolates	Larval stages	LC10	LC30	LC50	LC90	LC99	Slope. SE	Chi ²	p
<i>Fusarium</i> sp.	L4	0.104	2.1 × 10 ⁶	2.63 × 10 ⁷	6.69 × 10 ⁹	5.29 × 10 ¹⁵	0.4066 ± 0.0747	80,967	0
	L5	0.4785	2.20 × 10 ⁶	1.03 × 10 ⁸	2.23 × 10 ⁸	1.19 × 10 ¹³	0.5069 ± 0.0823	97,2378	0
<i>V. lecanii</i>	L4	0.0011	9.05 × 10 ⁴	2.57 × 10 ⁷	5.91 × 10 ⁹	5.18 × 10 ¹⁶	0.3454 ± 0.0767	125,049	0
	L5	0.0065	4.20 × 10 ⁵	1.03 × 10 ⁸	1.64 × 10 ¹⁰	9.67 × 10 ¹⁶	0.3543 ± 0.0743	121,0051	0
<i>I. fumosorosea</i>	L4	0.2434	3.73 × 10 ⁴	8.79 × 10 ⁶	3.17 × 10 ⁸	2.42 × 10 ¹⁰	0.6176 ± 0.1084	54,4357	0
	L5	0.5977	8.47 × 10 ⁵	1.90 × 10 ⁷	6.04 × 10 ⁸	4.01 × 10 ¹⁰	0.6274 ± 0.1026	119,7551	0

Table 7. Lethal time LT for *Euphyllura olivina* treated with different concentrations of *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea*.

Isolates	Dose conidia/ml	LT25	LT50	LT750	LT90	Slope. SE	Chi ²	p
<i>Fusarium</i> sp.	10 ⁴	26,072	45,640	79,894	132,242	2.773 ± 0.5174	2,396	0,663
	10 ⁵	23,754	38,018	60,847	92,911	3.302 ± 0.529	2,987	0,559
	10 ⁶	15,54	25,808	42,836	67,587	3.065 ± 0.5533	7,374	0,117
	10 ⁷	14,388	23,111	37,122	56,868	3.277 ± 0.5936	7,610	0,106
	10 ⁸	13,466	20,061	29,886	42,784	3.896 ± 0.7409	11,322	0,023
<i>V. lecanii</i>	10 ⁴	25,359	43,824	75,733	123,909	2.839 ± 0.5173	2,730	0,603
	10 ⁵	22,626	33,711	50,225	71,906	3.895 ± 0.5582	5,12	0,275
	10 ⁶	21,153	29,513	41,176	55,568	4.663 ± 0.6331	5,146	0,272
	10 ⁷	20,137	27,697	38,095	50,753	4.872 ± 0.679	3,139	0,534
	10 ⁸	15,210	22,399	32,987	46,735	4.012 ± 0.6911	3,657	0,454
<i>I. fumosorosea</i>	10 ⁴	16,974	29,793	52,292	86,763	2.760 ± 0.5214	3,079	0,544
	10 ⁵	13,079	22,499	38,705	63,069	2.862 ± 0.5657	3,274	0,5129
	10 ⁶	12,880	19,941	30,873	45,754	3.553 ± 0.6841	6,755	0,149
	10 ⁷	21,091	22,821	24,693	26,509	19.701 ± 4068.944	4,8	0,308
	10 ⁸	16,427	18,190	20,142	22,077	15.236 ± 4889.054	2,069	0,723

to germinate, whereas the germination of *B. bassiana* AIG spores was inhibited by carbohydrates. The addition of KJ, ZnSO₄, or KBr to the Czapek medium increased *B. bassiana* entomopathogenic activity (Iskandarov *et al.*, 2006).

The survival and pathogenicity of the entomopathogenic fungi thus vary depending on their environment. pH is an important abiotic factor, apart from temperature, UV radiation, etc., affecting entomopathogenic fungi. The pH of the soil where the fungi inhabit affects their survival, whereas the pH of the insect cuticle may influence their pathogenicity against the target pest (St. Leger *et al.*, 1998; 1999). Yet, little information is available on the role of pH in the growth and pathogenicity of EPFs. After twenty days of inoculation, Monteiro *et al.* (2004) evaluated the growth and sporulation of two *V. lecanii* isolates cultivated on solid medium with different initial pH values (4, 5, 6, 7, 8 and 9). They found there was no substantial effect of the initial pH values on growth and sporulation of both isolates after twenty days of inoculation, except at pH 4.0, where the growth was significantly reduced. Our finding on the effect of the pH on the entomopathogenic fungi indicated that the three isolate can grow on pH varied between 4.5 and 8.5 were in agreement with that of Hallsworth and Magan (1995). The entomopathogenic fungi *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea* was optimal at a

pH range of 5 to 8. (Hallsworth and Magan, 1996). Our findings to the extent that all the isolates studied exhibited growth adaptability in a wide pH range.

Secreted enzymes, which are important virulence factors in the pathogenicity of entomopathogenic fungi, are also influenced by pH. In a previous study, St. Leger *et al.* (1998) studied the effect of pH on the expression of different cuticle-degrading enzymes secreted by *M. anisopliae*. The number of conidia produced from each treatment was related to the growth rate of the fungus. And the number of conidia produced by each treatment during the 20 days of incubation showed significant results. The isolate *I. fumosorosea* showed the highest sporulation on different media. Prayogo *et al.* (2005) reported that the number of conidia will determine the effectiveness of entomopathogenic fungi in controlling insects.

The viability of the fungus should be evaluated since it is an important component of the quality of the product (Alves *et al.*, 1998). Therefore, the composition of the culture medium is an important factor to be considered. The nutritional requirements for germination of entomopathogenic fungi are generally not complex (Smith and Grula, 1981). Currently, small grains, such as rice and barley, have been widely applied to the mass production of fungal conidia for microbial control (Grimm, 2001). Various fungal species require different

chemical, physical, and nutritional conditions for optimal germination (Carlile *et al.*, 2001). Schisler *et al.* (1991) demonstrated improved germination and efficacy of *Colletotrichum truncatum* conidia against *Sesbania exaltata* by producing inoculums on a medium with a low carbon-to-nitrogen ratio by producing inoculums on a medium with a low carbon-to-nitrogen ratio. Shah *et al.* (2005) showed that conidia with a higher C/N ratio germinated more slowly and were less virulent. Thus, the PDA medium, which is rich in carbon and poor in nitrogen, may have favoured the marked reduction of virulence after successive subculturing.

Alavo *et al.* (2002) demonstrated that the attachment of conidia and its germination play a significant role in the ability of the fungi to successfully penetrate and infect the host insects. The germination of conidia depends on strains of isolates and fungi species because each isolate has different nutritional needs. Moreover, conidia size affects the germination rates; the larger the conidia, the faster they germinate (Lazzarini *et al.*, 2006). *Fusarium* sp., *V. lecanii* and *I. fumosorosea* were tested for pathogenicity against the fourth and fifth larval stages of olive psylla.

All the fungal isolates tested were pathogenic to the fourth and fifth larval stages of psylla. However, there was variation in the virulence between the fungal isolates. Such variations have already been reported with different host species, including psylla (Ferron *et al.*, 1991). This emphasizes the need for strain selection (Soper and Ward, 1981). Entomopathogenic fungi could have great potential for control of insects considering the aggregating behaviour of these insects and can be tested against insects that are not associated with them in nature and developed as biopesticides. To some degree, the speed at which a fungal pathogen is able to infect and penetrate its host will be influenced by the ability of the infecting propagule to securely adhere to the host. The mortality rate of insects due to infections of entomopathogenic fungi is influenced by both internal and external factors (Ricario *et al.*, 2013). The virulent properties of entomopathogenic fungi are mainly influenced by the production of mycotoxins and the viability of conidia. *I. fumosorosea* remained the most effective against psyllids, causing more than (75%) mortality of psyllids within 5 days of treatment. These results are in line with the findings of many previous studies that demonstrated the efficacy of *I. fumosorosea* (Chow *et al.*, 2016; Xiao-Yan *et al.*, 2016). Our findings are in agreement with those of Lacey *et al.* (2011),

who also recorded high mortality of potato psyllids (*Bactericera cockerelli*) by PFR97® (*I. fumosorosea*) than F52® (*M. anisopliae*). Rios-Velasco *et al.* (2014) also reported a similar susceptibility trend for sucking insect pests (psyllids, thrips and whiteflies). Entomopathogens cause direct effects on insect pests by infection. However, Avery *et al.* (2011) reported that *I. fumosorosea* decreased the feeding activity of ACP before their death and led to a reduction in the transmission of the bacterial pathogen responsible for citrus greening disease in citrus.

In general, nymphs were found more susceptible than adult psyllids (Lezama-Gutierrez *et al.*, 2012) because nymphs are prone to being more quickly targeted by fungal conidia as compared to adult psyllids due to their reduced agility. Secondly, their cuticle is more delicate and less sclerotized as compared to adult ones and, hence, they are more easily penetrated and invaded by fungal mycelia and their cuticle-degrading enzymes than adults. Moreover, there was no psyllid mortality in control treatments. Results suggest that *I. fumosorosea* have a great value in its virulence to *E. olivina* followed by *V. lecanii* and *Fusarium* sp. These findings showed promising results for their application as a bio-control agent against *E. olivina*.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the department of Agronomy (University of Mascara) for providing required infrastructure, support and for the materials used in this study. The authors thank Dr. Abdelkader Elouissi (LRSBG) for his valuable and kind help with statistical analysis. The authors would also like to thank the owners of the olive orchards.

REFERENCES

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, **18**: 265-67.
- Aby, N. 2013. Lutte biologique contre le charançon noir du bananier *Cosmopolites Sordidus Germar* (Coléoptère, Curculinodae) en Côte d'Ivoire : Caractéristiques entomopathologiques d'isolats locaux de *Metarhizium* sp. Sur les populations au laboratoire et en bananeraie, mémoire de thèse de Doctorat présentée à l'UFR biosciences de l'université de Cocody, p. 169.
- Alavo, T.B.C., Sermann, H. and Bochow, H. 2002. Biocontrol of aphid using *Verticillium lecanii* in greenhouse: Factor reducing the effectiveness of the entomopathogenic fungus. *Arch. Pythopathol. Pl. Prot.*, **34**: 407-24.
- Alves, S.B., Almeida, J.E.M., Moino Junior, A. and Alves, L.F.A. 1998. Técnicas de laboratório. *In*: ALVES, S.B.

- (Ed.). Controle microbiano de insetos. 2. Ed. Piracicaba: FEALQ, cap. 20, p. 637-712.
- Avery, P.B., Wekesa, V.W., Hunter, W.B., Hall, D.G., McKenzie, C.L., Osborne, L.S., Powell, C.A. and Rogers, M.E. 2011. Effects of the fungus *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) on reduced feeding and mortality of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera : Psyllidae). *Biocontrol Sci. Tech.*, **21**: 1065-78.
- Ayala-Zermeño, M.A., Gallou, A., Berlanga-Padilla, A.M., Serna-Domínguez, M.G., Arredondo-Bernal, H.C. and Montesinos-Matías, R. 2015. Characterization of entomopathogenic fungi used in the biological control programme of *Diaphorina citri* in Mexico. *Biocontrol Sci. Tech.*, **25**: 1192-207.
- Butt, T.M. and Goettel, M.S. 2000. Bioassays of entomogenous fungi. *In*: Bioassays of entomopathogenic microbes and nematodes, Navon, A. and Ascher, K.R.S. (Eds.). CAB International, Wallingford, UK, pp. 141-195.
- Carlile M.J., Watkinson, S. and Gooday, G.W. 2001. Fungal cells and vegetative growth. *In*: The fungi (2nd ed.). Academic Press, London. p. 578.
- Chow, A., Dunlap, C.A., Jackson, A., Flores, D., Patt, J.M. and Sétamou, M. 2016. Oviposition behavior and survival of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), an ectoparasitoid of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), on hosts exposed to an entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae), under laboratory conditions. *J. Econ. Ent.*, **109**: 1995-2005.
- Fargues J.F. and Robert, P.H. 1983. Effect of passaging through scarabeid hosts on the virulence and host specificity of two strains of the entomopathogenic hyphomycete *Metarhizium anisopliae*. *Canadian J. Microbiol.*, **29**: 576-83.
- Ferron P., Fargues, J. and Riba, G. 1991 Fungi as microbial insecticides against pests. *In*: Handbook of Applied Mycology (Vol. 2), Arora, D.K., Ajello, L. and Mukerji, K.G. (Eds). Marcel Dekker, New York, pp. 665-706.
- Gabarty, A., Salem, H.M., Fouda, M.A., Abas, A.A. and Ibrahim, A.A. 2014. Pathogenicity induced by entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in *Agrotis ipsilon* (Hufn.). *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, **7**: 95-100.
- Goettel, M.S. and Inglis, D.G. 1997. Fungi: Hyphomycetes. *In*: Manual of Techniques in Insect Pathology, Lacey, L.A. (ed.). Academic Press, London, pp. 213-249.
- Grimm, C. 2001. Economic feasibility of a small-scale production plant for entomopathogenic fungi in Nicaragua. *Crop Prot.*, **20**: 623-30.
- Hallsworth, J.E. and Magan, N. 1995. Manipulation of intracellular glycerol and erythritol to enhance germination of conidia of entomopathogens at low water availability. *Microbiol.*, **141**: 1109-15.
- Hallsworth, J.E. and Magan, N. 1996. Culture age, temperature, and pH affect the polyol and trehalose contents of fungal propagules. *Appl. Environ. Microbiol.*, **62**: 2435-42.
- Hlina, B.L., Birceanu, O., Robinson, C.S., Dhiyebi, H. and Wilkie, M.P. 2019. The relationship between thermal physiology and lampricide sensitivity in larval sea lamprey (*Petromyzon marinus*). *J. Great Lakes Res.*, **47**: S272-84.
- Hoa, H.T., Wang, C.L. and Wang, C.H. 2015. The effects of different substrates on the growth, yield, and nutritional composition of two oyster mushrooms (*Pleurotus Ostreatus* and *Pleurotus Cystidiosus*). *Mycobiol.*, **43**: 423-34.
- Humber, R.A. 2008. Evolution of entomopathogenicity in fungi. *J. Invert. Pathol.*, **98**: 262-66.
- Humber, R.A. 2016. Seeking stability for research and applied uses of entomopathogenic fungi as biological control agents. *J. Asia Pac. Entomol.*, **19**: 1019-25.
- Hougardy, E., Wang, X., Hogg, B.N., Johnson, M.W., Daane, K.M. and Pickett, C.H. 2020. Current distribution of the olive psyllid, *Euphyllura olivina*, in California and initial evaluation of the Mediterranean parasitoid, *Psyllaephagus euphyllurae* as a biological control candidate. *Insects*, **11**: 146.
- Iskandarov, U.S., Guzalova, A.G. and Davranov, K.D. 2006. Effects of nutrient medium composition and temperature on the germination of conidia and the entomopathogenic activity of the fungi. *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.*, **42**: 81-85.
- Khader, M. and Kware, M. 2010. Integrated pest management for olive and citrus union of agricultural work committees association Gaza (UAWCA).
- Kotwal, S., Parate, R.L., Mane, S.S. and Deshmukh, V.V. 2012. Influence of nutrition and different physical parameters on growth and sporulation of *Metarhizium anisopliae*. *Int. J. Sci., Environ. Tech.*, **15**: 479-84.
- Lacey, L.A., Liu, T.X., Buchman, J.L., Munyaneza, J.E., Goolsby, J.A. and Horton, D.R. 2011. Entomopathogenic fungi (Hypocreales) for control of potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Šulc.) (Hemiptera: Trioziidae) in an area endemic for zebra chip disease of potato. *Biol. Control*, **56**: 271-78.
- Lakhdari, W., Doumandji-Mitich, B., Dahliz, A., Doumandji, S., Bouchikh, Y., M'lik, R., Soud, A. and Hammi, H. 2015. Essai de lutte biologique contre *Brachytripes megacephalus*, Lefebvre, 1827 (Orthoptera, Gryllinae) par l'utilisation des champignons entomopathogènes. *Revue des Bioressources*, **5**: 37-49.
- Lazreg, F., Ali, S., Ren, S.X. and Afzal, M. 2007. Biological characteristics and pathogenicity of *verticillium lecanii* against *benmisia tabaci* (Homoptera: aleyrodidae) on eggplant. *Pak. Entomol.*, **29**: 63-71.
- Lazzarini, G.M.J., Rocha, L.F.N. and Luz, C. 2006. Impact of moisture on *in vitro* germination of *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* and their activity on *Triatoma infestans*. *Mycol. Res.*, **110**: 485-92.
- Lezama-Gutiérrez, R., Molina-Ochoa, J., Chávez-Flores, O., Ángel-Sahagún, C.A., Skoda, S.R., Reyes-Martínez, G., Barba-Reynoso, M., Rebolledo-Domínguez, O., Ruiz-Aguilar, G.M.L. and Foster, J.E. 2012. Use of

- the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae*, *Cordyceps bassiana* and *Isaria fumosorosea* to control *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Persian lime under field conditions. *Int. J. Trop. Insect Sci.*, **32**: 39-44.
- Monteiro, A.C., Barbosa, C.C., Correia, A. do C.B. and Pereira, G.T. 2004. Crescimento e esporulação de isolados de *Verticillium lecanii* sob diferentes fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **39**: 561-65.
- Moore, D., Douro-Kpindou, O.K., Jenkins, N.E. and Lomer, C.J. 1996. Effects of moisture content and temperature on storage of *Metarhizium flavoviride* conidia. *Biocontrol Sci. Tech.*, **6**: 51-61.
- Naeem, A., Freed, S., Jin, F.L., Akmal, M. and Mehmood, M. 2016. Monitoring of insecticide resistance in *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) from citrus groves of Punjab, Pakistan. *Crop Prot.*, **86**: 62-68.
- Naeem, A., Afzal, M.B.S., Freed, S., Hafeez, F., Zaka, S.M., Ali, Q., Anwar, H.Z., Iftikhar, A. and Nawaz, M. 2019. First report of thiamethoxam resistance selection, cross resistance to various insecticides and realized heritability in Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* from Pakistan. *Crop Prot.*, **121**: 11-17.
- Ouvrard, D. 2021. Psyl' list. The world psylloidea database. <http://www.hemipteradatabases.com/psyllist> [Accessed on January, 17th, 2021].
- Pedriani, N., Crespo, R. and Juarez, M.P. 2007. Biochemistry of insect epicuticular degradation by entomopathogenic fungi. *Comp. Biochem. Physiol. Part C*, **146**: 124-37.
- Percy, D.M., Rung, A. and Hoddle, M.S. 2012. An annotated checklist of the psyllids of California (Hemiptera: Psylloidea). *Zootaxa.*, **3193**: 1-27.
- Poinar, G.M. and Thomas, Jr G.M. 2012. Laboratory Guide to Insect Pathogens and Parasites. Springer; Softcover reprint of the original 1984 (1st ed.) (May 2, 2012). 424 p.
- Prayogo, Y., Tengkan, W. and Marwoto, D. 2005. Prospect of entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* to control *Spodoptera litura* on soybean. *Jurnal Litbang Pertanian*, **24**: 19-26.
- Ricario, J., Guerri-Agulla, B., Serra-Sarrias, M.J., Rubio-Liorca, G., Asensio, L., Barranco, P. and Lopez-Liorca, L.V. 2013. Evaluation of the pathogenicity of multiple isolates of *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) on *Rynchorporus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae) for the assessment of solid formulation under simulated field conditions. *Florida Entomol.*, **96**: 1311-29.
- Rios-Velasco, C., Pérez-Corral, D.A., Salas-Marina, M.A., Berlanga-Reyes, D.I., Ornelas-Paz, J.J., Muñoz, C.H.C., Cambero-Campos, J. and Jacobo-Cuellar, J.L. 2014. Pathogenicity of the Hypocreales fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against insect pests of tomato. *Southwestern Entomologist*, **39**: 739-50.
- Schisler, D., Jackson, M. and Bothast, R. 1991. Influence of nutrition during conidiation of *Colletotrichum truncatum* on conidial germination and efficacy in inciting disease in *Sesbania exaltata*. *Biol. Phytopathol.*, **81**: 458-61.
- Shah, F.A., Wang, C.S. and Butt, T.M. 2005. Nutrition influences growth and virulence of the insect pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *FEMS Microbiol. Lett.*, **251**: 259-66.
- Smith, R.J., Pekrul, S. and Grula, E.A. 1981. Requirement for sequential enzymatic activities for penetration of the integument of the corn earworm (*Heliothis zea*). *J. Invert. Pathol.*, **38**: 335-44.
- Soliman, N.A., Al-amin, S.M., Mesbah, A.E., Ahmed, M.A., Ibrahim, A.M.A. and Mahmoud, A.M.A. 2020. Pathogenicity of three entomopathogenic fungi against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Egyptian J. Biol. Pest Control*, **30**: 49.
- Soper, R.S. and Ward, M.G. 1981. Production formulation and application of fungi of insect control. *In: Biological control in crop protection*, Papavizas, G.C. (Ed.). Allanheld and Osmun, Totowa. pp. 161-180.
- St Leger, R.J., Durrands, P.K., Charnley, A.K. and Cooper, R.M. 1998. Role of extracellular chymoelastase in the virulence of *Metarhizium anisopliae* for *Manduca sexta*. *J. Invert. Pathol.*, **52**: 285-93.
- St leger, R., Nelson, J.O. and Screen, S.E. 1999. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* alters ambient pH, allowing extracellular protease production and activity. *Microbiol.*, **145**: 2691-99.
- Thakur, R. and Sandhu, S.S. 2010. Distribution, occurrence and natural invertebrate hosts of indigenous entomopathogenic fungi of Central India. *Indian J. Microbiol.*, **50**: 89-96.
- Tian, F., Wang, Z., Li, C., Liu, J. and Zeng, X. 2018. UDP-glycosyltransferases are involved in imidacloprid resistance in the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Lividae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, **154**: 23-31.
- Uzman, D., Pliester, J., Leyer, I., Entling, M.H. and Reineke, A. 2019. Drivers of entomopathogenic fungi presence in organic and conventional vineyard soils. *Appl. Soil Ecol.*, **133**: 89-97.
- XiaoYan, D., YiHan, L., WeiMing, X., ZuLe, S., Zhen, H., JianHui, W., ShunXiang, R. and BaoLi, Q. 2016. Screening two entomopathogenic fungal strains with high virulence against Asia citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *J.S. China Agric. Univ.*, **37**: 62-65.
- Yadav, M.K. and Chandra, R. 2014. Effect of culture media, pH and temperature on mycelial growth of *agaricus bisporus* Strains. *J. Pure Appl. Microbiol.*, **8**: 2497-2500.
- Zalom, F.G., Vossen, P.M., Van-Steenwyk, R.A. and Johnson, M.W. 2014. UC pest management guidelines: Olive psyllid. Statewide integrated pest management program, University of California Agriculture and Natural Resources (31 March 2016).

(Received : December 17, 2021; Accepted : January 20, 2022)