

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA Stambouli

Mascara



جامعة مصطفى اسطنبولي

معسكر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et de la Géomatique

(LRBBG)

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Protection des Végétaux

Option : Entomologie Appliquée

Intitulée

Etude de la dynamique des populations de la mouche de l'olivier « *Bactrocera oleae* (Gmelin) : Diptera, Tephritidae » et proposition d'un programme de lutte

Présentée par : BOURAKNA Zineb

Devant le jury :

Président	BOUHADA Youcef	PR	Université Mustapha STAMBOULI – Mascara
Examineur	GHOULAMALLAH Amine	M.C.A	Université Abdelhamid IBN BADIS – Mostaganem
Examineur	CHAIBI Rachid	PR	Université Ammar THELIDJI – Laghouat
Examineur	LAZREG Fatiha	M.C.A	Université Mustapha STAMBOULI – Mascara
Directeur de thèse	RIGHI-ASSIA Fatiha	PR	Université Mustapha STAMBOULI – Mascara

Soutenu le : 21/03/2023

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents en témoignage de l'amour, du respect et de
ma profonde et éternelle gratitude, que je leurs porte ma
reconnaissance pour leur soutien.*

*A mes très chers frères et chères sœurs, je ne les remercierai jamais
assez, pour tout ce qu'ils m'ont fait.*

A toute la famille.

A mes amis et collègues.

A toutes les personnes qui m'aiment.

ZINEB

Remerciement

Au terme de ce travail et à travers ces quelques lignes,

*Avant tous, je remercie **DIEU Allah** le tout puissant qui a illuminé mon chemin et qui m'a donné le courage et la patience pour achever mes études.*

*Qu'il me soit permis d'adresser mes vifs remerciements et ma profonde reconnaissance à ma directrice de thèse : **Pr ASSIA-RIGHI F.**, enseignante Chercheure à l'Université Mustapha Stambouli de Mascara pour la confiance qu'elle a eu en moi en acceptant de diriger mon travail avec une grande rigueur scientifique, ses conseils et le soutien.*

*Je remercie vivement les membres du jury de ma thèse d'avoir accepté de juger mon travail. Un grand merci à monsieur **BOUHADA Y.** (Université de Mascara), d'avoir accepté de présider le jury. Tous mes sincères et chaleureux remerciements s'adressent également à Monsieur **GHOULAMALLAH A.** (Université de Mostaganem), Monsieur **CHAIBI R.** (Université de Laghouat) et Madame **LAZREG F.** (Université de de Mascara) qui ont accepté de participer à ce jury et d'examiner cette thèse.*

*Je tiens à remercier aussi **M. RIGHI K.** (Université de Mascara) de m'avoir aidé dans la réalisation de cette étude, ses conseils et son aide durant toute la période du travail.*

Je voulais remercier amplement tout le personnel du laboratoire de recherche sur les Systèmes Biologique et la Géomatique (Université de Mascara), les laboratoires des Sciences de la nature et de la vie (Université de Mascara) et les laboratoires des Sciences Naturelles de l'Ecole Normale Supérieure de Laghouat pour leur aide et leur soutien.

*Je tiens à remercier **M. HANNACHE, M. MOLINARI** et **M. BENBRAHIM** propriétaires des oliveraies qu'ils nous ont autorisé l'accès pour faire cette étude.*

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce modeste travail.

Table des matières

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

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA PLANTE HOTE (L'OLIVIER).....	3
1. Origine et expansion	3
2. Importance et répartition	4
2.1. Situation mondiale de l'oléiculture.....	4
2.2. Oléiculture en Algérie.....	6
2.3. Oléiculture à Mascara.....	8
2.4. Oléiculture à Laghouat.....	8
3. Systématique et morphologie de l'olivier.....	8
3.1. Classification botanique.....	8
3.2. Description morphologique de l'olivier.....	9
4. Cycle végétatif annuel.....	13
5. Les variétés d'olivier cultivées en Algérie	14
6. Maladie et ravageur de l'olivier.....	15
6.1. Maladies de l'olivier.....	15
6.2. Ravageurs de l'olivier.....	16
CHAPITRE II : MOUCHE DE L'OLIVIER	18
1. Position systématique.....	18
2. Origine et aire de répartition.....	18
3. Description morphologique.....	18
4. Phénologie et cycle de développement.....	21

4.1. Emergence	22
4.2. Accouplement	22
4.3. Ponte	22
4.4. Développement larvaire	23
4.5. Pupaison et hibernation	24
5. Facteurs affectant le développement de <i>B. oleae</i>	24
5.1. Facteurs climatiques	24
5.2. Facteurs agronomiques	25
5.3. Facteurs biologiques	26
6. Dégâts	27
7. Lutte	28
7.1. Lutte prophylactique	28
7.2. Lutte chimique	29
7.3. Lutte biologique	30
7.4. Autre méthodes	34

PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DES RÉGIONS D'ÉTUDE.....	36
1. Wilaya de Mascara.....	36
1.1. Situation géographique	36
1.2. Hydrologie de la région.....	36
1.3. Nature des sols.....	37
1.4. Production agricole.....	38
1.5. Caractéristiques climatiques et bioclimatiques	38
1.5.1. Climatologie générale de la région.....	38
1.5.2. Températures	38
1.5.3. Précipitation	40
1.5.4. Humidité relative de l'air (HR).....	40
1.5.5. Vent	41
1.5.6. Indice d'aridité.....	42
1.5.7. Synthèse climatique.....	42
1.5.7.1. Diagramme Ombrothermique.....	43
1.5.7.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger	44

1.6. Présentation de site d'étude	45
2. Wilaya de Laghouat.....	46
2.1. Situation géographique.....	46
2.2. Hydrologie de la région.....	47
2.3. Nature des sols.....	47
2.4. Production agricole.....	47
2.5. Caractéristiques climatiques et bioclimatiques.....	48
2.5.1. Climatologie générale de la région.....	48
2.5.2. Températures	48
2.5.3. Précipitation	49
2.5.4. Humidité relative de l'air (HR).....	49
2.5.5. Vent	50
2.5.6. Indice d'aridité.....	50
2.5.7. Synthèse climatique.....	51
2.5.7.1. Diagramme Ombrothermique	51
2.5.7.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger	51
2.6. Présentation des sites d'étude	52
CHAPITRE II : ETUDE BIOECOLOGIQUE DE <i>BACTROCERA OLEAE</i>.....	54
1. Acquisition des données	54
2. Choix des oliveraies et des oliviers.....	54
3. Dynamique des populations des adultes de <i>B. oleae</i>	54
3.1. Piégeage des adultes de <i>B.oleae</i>	55
3.2. Evaluation de l'indice de population (Pi).....	55
4. Etude de l'infestation des fruits.....	56
4.1. Échantillonnage des olives.....	56
4.1.1. Au terrain.....	56
4.1.2. Au laboratoire.....	56
4.2. Estimation du taux d'infestation.....	57
5. Caractéristiques physiques des fruits.....	57
5.1. Les olives de la région de Mascara	57
5.1.1. Calibre des olives	57
5.2. Les olives de la région de Laghouat	57
5.2.1. L'indice de maturité (MI) des olives	57

5.2.2. Le poids des olives	58
5.2.3. Le volume.....	58
5.2.4. L'indice de la rondeur et l'élongation (RL)	59
6. Paramètres bioécologiques de <i>B. oleae</i>	59
6.1. Les conditions d'incubation des fruits	60
6.2. Conduite de l'élevage	60
6.3. Les paramètres bioécologiques étudiés	61
7. Analyses statistiques des données.....	61
 Chapitre III : ESSAIS DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE <i>BACTROCERA OLEAE</i>.....	63
1. Effet bio-insecticide de l'huile essentielle de L'Eucalyptus (<i>Eucalyptus globulus</i>) vis à vis les adultes de <i>Bactrocera oleae</i>	63
1.1. Matériel animal	63
1.2. Matériel végétal	64
1.2.1. Choix de la plante.....	64
1.2.2. Préparation des échantillons.....	64
1.3. Méthode d'extraction et conservation d'huile essentielle.....	65
1.3.1. Méthode d'extraction	65
1.3.2. Conservation des huiles	65
1.3.3. Calcul du rendement	66
1.4. Méthode d'analyse chromatographique et d'identification des composants d'huile essentielle	66
1.4.1. Analyse par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (GC/MS)...	66
1.4.2. Identification des composants d'huile essentielle	67
1.5. Effet bio-insecticide d' <i>E. globulus</i> vis-à-vis <i>B. oleae</i>	67
1.5.1. Test de l'effet bio-insecticide par contact	67
1.5.2. Test de l'effet bio-insecticide par fumigation.....	69
2. Activité entomopathologique de <i>B. thuringiensis</i> vis à vis e les adultes de <i>B. olea</i>.....	70
3.1. Détails du produit (B-401®).....	70
3.2. Effet de bio-pesticide commercial B-401® par ingestion vis à vis <i>B. oleae</i>	70
3. Analyses statistiques des données.....	71
4.1. Correction de la mortalité par la méthode d'Abbott	72
4.2. Analyse des variances ANOVA.....	72
4.3. Détermination des concentrations et des temps létaux (LC et LT).....	72

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I : ETUDE BIOECOLOGIQUE DE <i>BACTROCERA OLEAE</i>.....	73
• Résultats.....	73
1. Dynamique des populations des adultes de <i>B. oleae</i>	73
1.1. Dans la région de Mascara (station Oued Taghia, 2019-2020).....	73
1.2. Dans la région de Laghouat (station Hamda, 2019-2022).....	74
2. Estimation du taux d'infestation des olives.....	77
2. 1. Dans la région de Mascara (station Oued Taghia).....	77
2.1.1. Variation du taux d'infestation	77
2.1.2. Variation du taux d'infestation selon les orientations cardinales de l'arbre en fonction des variétés.....	78
2.2. Estimation du taux d'infestation dans la région de Laghouat (station Hamda).....	79
2.2.1. Variation du taux d'infestation selon la variété en fonction du temps.....	79
2.2.2. Estimation du taux d'infestation selon l'année en fonction des variétés	81
2.2.3. Estimation du taux d'infestation selon les orientations cardinales de l'arbre en fonction des variétés.....	81
3. Caractéristiques physiques des fruits.....	82
3.1. Estimation du calibre des olives dans la région de Mascara (station Oued Taghia).....	82
3.2. Etude des caractéristiques physiques des fruits dans la région de Laghouat (station Hamda).....	83
3.2.1. Estimation de l'indice de maturité (MI) des olives.....	84
3.2.2. Estimation du poids et du volume des olives.....	84
3.2.3. Estimation de l'indice de la rondeur et l'élongation (RL).....	85
4. Corrélation entre les caractéristiques physiques des fruits et le taux d'infestation.....	85
4.1. Corrélation entre le taux d'infestation et le calibre des olives dans la région de Mascara (station Oued Taghia).....	85
4.2. Corrélation entre le taux d'infestation et l'indice de maturité, le poids, le volume ou l'indice de la rondeur et de l'élongation dans la région de Laghouat (station Hamda).....	86
5. Etude de la performance larvaire de <i>B. oleae</i> dans la région de Laghouat (Station de Hamda) en 2020.....	86
• Discussions	90
1. Dynamique des populations des adultes de <i>B. oleae</i>.....	90

2. Taux d'infestation des olives par <i>B. oleae</i>	94
3. Relation entre les caractéristiques physiques des olives et la préférence de ponte de <i>B. oleae</i>	95
4. Performance larvaire de <i>B. oleae</i> dans la région de Laghouat (Station de Hamda) en 2020.....	97
• Conclusion	99
CHAPITRE II : ETUDE ET ESSAIS DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE <i>BACTROCERA OLEAE</i>	101
• Résultats	101
1. Effet bio-insecticide de l'huile essentielle de L'Eucalyptus (<i>Eucalyptus globulus</i>) vis à vis les adultes de <i>B. oleae</i>	101
1.1. Rendement et composition chimique de l'huile essentielle.....	101
1.2. Effet bio-insecticide d' <i>E. globulus</i> vis à vis <i>B. oleae</i>	104
1.2.1. Effet bio-insecticide par contact.....	105
1.2.2. Effet bio-insecticide par fumigation.....	106
2. Activité entomopathologique de <i>B. thuringiensis</i> vis à vis les adultes de <i>B. olea</i>	107
2.1. Effet de bio-pesticide commercial B-401® par ingestion contre <i>B. oleae</i>	107
2.2. Détermination des concentrations et des temps létaux (LC et LT).....	108
• Discussion.....	110
1. Effet bio-insecticide de l'huile essentielle de L'Eucalyptus (<i>Eucalyptus globulus</i>) vis à vis les adultes de <i>B. oleae</i>	110
2. Activité entomopathologique de <i>B. thuringiensis</i> vis à vis les adultes de <i>B. oleae</i>	113
• Conclusion	115
Conclusion générale.....	116
Références bibliographiques.....	121
Annexes	138

Résumé

Bactrocera oleae (Diptera : Tephritidae) est l'insecte ravageur de l'olivier le plus dangereux en région méditerranéenne. Cette étude a été menée dans deux régions à étages bioclimatiques différents, soit la région de Mascara (semi-aride) durant la période allant de 2019-2020 et Laghouat (aride) durant la période allant de 2019-2022. Les données obtenues ont montré que l'activité de vol de *B. oleae* s'est développée sur cinq générations au cours de l'année d'étude 2019-2020 dans la région semi-aride et quatre générations par an dans la région aride. En 2020, dans la région de Mascara, le taux d'infestation et le calibre des fruits variaient significativement entre les variétés et augmentaient à travers la date d'échantillonnage. La variété de Sigoise ayant les olives les plus grosses est la plus infestées que Chemlal à petits fruits. Concernant la région de Laghouat, pour la variété Dahbia, le niveau d'infestation en 2020 était plus élevé qu'en 2019 et 2021. En 2020 et 2021, le taux d'infestation était significativement différent entre les variétés, où il était plus élevé sur la Sévillane et plus faible sur Chemlal. En 2020, la variété Sévillane avait l'indice de maturité le plus élevé et des olives plus grosses, alors que Chemlal avait des olives plus petites et allongées. Les caractéristiques physiques des fruits (maturité, poids, volume) ayant une corrélation positive avec l'infestation pour toutes les variétés. Les performances larvaires de *B. oleae* ont varié selon la variété et la période de prélèvement des olives ; y compris le nombre total des pupes produites et le nombre moyen d'individus par olive dont Dahbia a eu les mauvaises performances. La durée de nymphose variait selon les variations de température de laboratoire mais pas selon les variétés. Alors que le sex-ratio n'avait pas de différence significative entre les variétés ou les lots. Le pourcentage d'adultes émergés est élevé pour toutes les variétés (>90%). Les résultats de l'évaluation du taux de parasitisme par *Psytalia concolor* ont montré qu'il était faible pour toutes les variétés et ne dépassait pas 0,047 %. La mortalité des adultes de *B. oleae* dus à l'effet de bio-insecticide par l'huile essentielle des feuilles de *Eucalyptus globulus* a montré que cette huile était létale par les essais de toxicité par contact et fumigation. Ainsi les résultats des essais de la lutte biologique ont montré que le bio-pesticide de B-401[®] à base de *Bacillus thuringiensis* était toxique par ingestion, où la mortalité atteignait de 100 % à partir du 5^{ème} jour d'exposition à la concentration 40 %.

Mots clés : *Bactrocera oleae*, olivier, dynamique des populations, étude bioécologique, *Psytalia concolor*, *Eucalyptus globulus*, *Bacillus thuringiensis*.

ملخص

Bactrocera oleae (Diptera : Thephritidae) هي أخطر الآفات الحشرية التي تصيب أشجار الزيتون في منطقة البحر الأبيض المتوسط. أجريت هذه الدراسة في منطقتين ذات طابع بيومناحي مختلف، و هما منطقة معسكر (مناخ شبه جاف) خلال الفترة الممتدة ما بين 2019-2020 و الأغواط (مناخ جاف صحراوي) خلال الفترة الممتدة ما بين 2019-2022. أظهرت البيانات المتحصل عليها أن نشاط طيران *Bactrocera oleae* تطور على مدى خمسة أجيال خلال عام الدراسة 2019-2020 في المنطقة الشبه الجافة وأربعة أجيال سنويا في المنطقة الجافة. في عام 2020 في منطقة معسكر، تفاوت معدل الإصابة وحجم الثمار بشكل كبير بين الأصناف وزاد عبر تاريخ أخذ العينات. صنف Sigoise لديه الثمار الأكبر وكان الأكثر إصابة من صنف Chemlal ذات الثمار الصغيرة. بالنسبة لمنطقة الأغواط وبخصوص صنف Dahbia، كان مستوى الإصابة في 2020 أعلى مما كان عليه في 2019 و 2021. في عامي 2020 و 2021، كان معدل الإصابة مختلفا بشكل كبير بين الأصناف، حيث كان أعلى في Sévillane وأضعف في Chemlal. في عام 2020، صنف Sévillane كان لديه مؤشر النضج الأعلى وحجم الزيتون الأكبر، في حين أن صنف Chemlal كان يحتوي على زيتون أصغر وأطول. الخصائص الفيزيائية للثمار (النضج، الوزن والحجم) لها ارتباط إيجابي مع الإصابة لجميع الأصناف. اختلف أداء اليرقات لـ *Bactrocera oleae* باختلاف الصنف وفترة جمع الزيتون بما في ذلك العدد الإجمالي للشرنقات المنتجة ومتوسط عدد الأفراد في كل ثمرة زيتون واحدة، بحيث كان أداء Dahbia الأضعف. اختلفت مدة التشرنق باختلاف درجات الحرارة بالمخبر ولكن ليس بين الأصناف. بينما لم يكن لنسبة الجنس فرق معنوي بين الأصناف أو فترة جمع الزيتون. النسبة المئوية للحشرات البالغة الناشئة من الشرنقات مرتفعة لجميع الأصناف (< 90 %). أظهرت نتائج تقييم معدل التطفل بواسطة *Psytalia concolor* انه منخفض في جميع الأصناف ولم يتجاوز 0,047%. أظهرت معدلات الوفيات لدى البالغين لـ *Bactrocera oleae* نتيجة تأثير المبيد الحشري الحيوي بالزيت الأساسي لأوراق *Eucalyptus globulus* أن هذا الزيت كان مميتا عن طريق اختبارات السمية بالتلامس والتبخير. أيضا أظهرت نتائج تجارب المكافحة البيولوجية أن المبيد الحيوي B-401® المعتمد على أساس *Bacillus thuringiensis* انه كان ساما عن طريق الابتلاع، حيث وصل معدل الوفيات إلى 100 % من اليوم الخامس للتعرض في التركيز 40 %.

الكلمات المفتاحية: شجرة الزيتون، *Bactrocerae oleae*، ديناميات عدد الحشرات، دراسة بيولوجية بيئية، *Psytalia concolor*، *Bacillus thuringiensis*، *Eucalyptus globulus*.

Abstract

Bactrocera oleae (Diptera: Tephritidae) is the most dangerous insect pest of olive trees in the Mediterranean region. This study was conducted in two regions with different bioclimatic stages, either the Mascara region (semi-arid) during the period from 2019-2020 and Laghouat (arid) during the period from 2019-2022. The data obtained showed that the flight activity of *B. oleae* developed over five generations during the study year 2019-2020 in the semi-arid region and four generations per year in the arid region. In 2020, in the Mascara region, the infestation rate and fruit size varied significantly between varieties and increased across sampling date. Sigoise having the largest olives is more infested than Chemlal with small fruits. Regarding the Laghouat region, for the Dahbia variety, the infestation level in 2020 was higher than in 2019 and 2021. In 2020 and 2021, the infestation rate was significantly different between the varieties, where it was higher in Sevillano and weaker in Chemlal. In 2020, the Sevillano variety had the highest maturity index and larger olives, while Chemlal had smaller and elongated olives. The physical characteristics of the fruits (maturity, weight, volume) having a positive correlation with the infestation for all the varieties. The larval performance of *B. oleae* varied according to the variety and the olive collection period; including the total number of pupae produced and the average number of individuals per olive of which Dahbia had the poor performance. Pupation duration varied with laboratory temperature variations but not between varieties. While the sex ratio had no significant difference between varieties or lots. The percentage of emerged adults is high for all varieties (>90 %). The results of the evaluation of the parasitism rate by *Psytalia concolor* showed that it was low for all the varieties and did not exceed 0.047%. The mortality of *B. oleae* adults due to the effect of bio-insecticide by the essential oil of *Eucalyptus globulus* leaves showed that this oil was lethal by toxicity tests by contact and fumigation. Thus, the results of the biological control trials showed that the bio-pesticide B-401® based on *Bacillus thuringiensis* was toxic by ingestion, where mortality reached 100% from the 5th day of exposure to the concentration 40%.

Keywords: *Bactrocera oleae*, olive tree, population dynamic, bio-ecological study, *Psytalia concolor*, *Eucalyptus globulus*, *Bacillus thuringiensis*.

Liste des abréviations

FAO	Food and Agriculture Organization
COI	Conseil oléicole international
ha	Hectare
qx	Quintaux
C.C.I	Chambre de Commerce et d'Industrie
C.D.F	Conservation des forêts
O.N.M	Office Nationale de la Météorologie
D.P.A.T	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
D.S.A	Direction des services agricoles
Pi	Indice de population
MI	Indice de maturité
RL	indice de la rondeur et l'élongation
ANOVA	Analyse de la variance
GC/MS	Chromatographie à phase gazeuse et spectrométrie de masse

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Températures mensuelles moyennes, maxima et minima de la région de Mascara (2010-2020).....	39
2	Précipitations moyennes mensuelles de la région de Mascara (2010-2020).....	40
3	Humidité relative moyenne mensuelle de la région de Mascara (2010-2020).....	40
4	Vitesses moyennes des vents (m/s) mensuelle de la région de Mascara (2010-2020).....	41
5	Températures mensuelles moyennes, maxima et minima de la région de Laghouat (2010-2021).....	49
6	Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2010-2021).....	49
7	Humidité relative moyenne mensuelle de la région de Laghouat (2010-2021).....	50
8	Vitesse moyenne des vents (m/s) mensuelle de la région de Mascara (2010-2020).....	50
9	Le sex-ratio durant les trois campagnes, pour les deux oliveraies.....	77
10	Effet de la variété et de la date d'échantillonnage sur le taux d'infestation des fruits pour l'année 2020 et 2021 (ANOVA avec Mesures répétées).....	80
11	Effets de la variété et de la date d'échantillonnage sur l'indice de maturité, le poids, le volume et l'indice de la rondeur et l'élongation en 2020 (ANOVA avec Mesures répétées).....	84
12	Les corrélations de Pearson (R) entre le taux d'infestation et les caractéristiques physiques (MI, poids, volume et RL) chez (Sévellane, Sigoise, Chemlal et Dahbia).....	86
13	Paramètres bio-écologiques de <i>B. oleae</i> sur les variétés (Sigoise, Chemlal et Dahbia, 2020).....	89
14	Composition chimique de l'huile essentielle de feuilles d' <i>E. globulus</i>	101
15	Effets de la concentration de l'huile essentielle et du temps d'observation sur la mortalité des adultes par contact et fumigation	105
16	Estimations des concentrations létales (CL50 et CL90) des tests biologiques de contact et de fumigation par l'huile essentielle de feuilles d' <i>E. globulus</i> à 24 h et 48 h.....	107

17	Estimations des concentrations et temps létaux (CL50, CL90, LT50 et LT90), de <i>B. thuringiensis</i> vis à vis <i>B. oleae</i>	109
-----------	---	------------

Annexes

1	Taux d'infestation des deux variétés par <i>B. oleae</i> en 2019 dans la région de Mascara (station Oued Taghia).....	138
2	Taux d'infestation (%) à Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia en 2019, 2020 et 2021 dans la région de Laghouat (station Hamda).....	138
3	Calibre moyen des fruits des deux variétés en 2019 dans la région de Mascara (station Oued Taghia).....	140
4	Moyenne \pm SE, indice de maturité (MI), poids (g), volume (cm ³) et indice de la rondeur et l'élongation (RL) des olives en 2020 à Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia, dans la région de Laghouat (station Hamda).....	140
5	La toxicité par contact et par fumigation de l'huile essentielle des feuilles d' <i>E globulus</i> vis-à-vis les adultes de <i>B. oleae</i>	146
6	La toxicité par ingestion de bio pesticide B-401 [®] vis-à-vis les adultes de <i>B. oleae</i> .	146

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Carte oléicole mondiale.....	4
2	Evolution de la superficie récoltée et production oléicole mondiale entre 2000 et 2020.....	5
3	Les dix premiers pays producteur d'olives en 2020.....	6
4	Evolution de la superficie oléicole Algérienne entre 2000 et 2020.....	7
5	Aspect général de l'olivier.....	10
6	Charpentières de l'olivier.....	11
7	Feuilles de l'olivier.....	11
8	Grappes des fleurs de l'olivier.....	12
9	Fruits de l'olivier.....	13
10	Coupe schématique de la drupe.....	13
11	Larve de <i>B. oleae</i> (L1 : larve du 1 ^{er} stade, L2 : larve du 2 ^{eme} stade et L3 : larve du 3 ^{eme} stade).....	19
12	Nymphe de <i>B. oleae</i>	20
13	Adulte de <i>B. oleae</i> (♂ : male, ♀ : femelle).....	21
14	Dégâts de <i>B. oleae</i> sur les olives.....	28
15	Données journalières de la température moyennes de 23 juin 2019 à 23 avril 2020 dans la région de Mascara.....	39
16	Données journalières de l'humidité relative de 23 juin 2019 à 23 avril 2020 dans la région de Mascara.....	41
17	Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls pour la région de Mascara (2010-2020).....	43
18	Climagramme pluviothermique d'Emberger pour la région de Mascara (2010-2020).....	45
19	Localisation géographique de la Wilaya de Mascara et la situation de la station d'Oued Taghia de l'oliveraie d'étude.....	46
20	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la région de Laghouat (2010-2021).....	51

21	Climagramme pluviothermique d'Emberger pour la région de Laghouat (2010-2021).....	52
22	Localisation géographique de la Wilaya de Laghouat et la situation de la station de Hamda et les deux oliveraies d'étude.....	53
23	Piège McPhail.....	55
24	Mesure de calibre par le pied à coulisse.....	57
25	Conduite de l'élevage de <i>B. oleae</i>	60
26	Dispositif d'élevage des adultes de <i>B. oleae</i>	64
27	Dispositif d'extraction des huiles essentielle d' <i>E. globulus</i>	66
28	Test biologique de toxicité par contact.....	68
29	Test biologique de toxicité par fumigation.....	69
30	Formulation commerciale de l'insecticide biologique de B-401®	70
31	Essai biologique de toxicité par ingestion.....	71
32	Indices de population Pi (mouche/piège/jour) (total, mâle et femelle) de la mouche de l'olive, durant la période d'étude.....	74
33	Indice de population (Pi) (mouche/piège/jour) de <i>B. oleae</i> , durant la période d'étude.....	75
34	Indices de population Pi (total, mâle et femelle) de <i>B. oleae</i> , durant la période d'étude. A : oliveraie 1 et B : oliveraie 2.....	76
35	Taux d'infestation (%) des deux variétés par <i>B. oleae</i> en 2019.	78
36	Variations du taux d'infestation (moyenne \pm E.S) des olives en fonction de l'orientation cardinale de l'arbre.....	79
37	Taux d'infestation (%) à Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia en 2020 et 2021.....	80
38	Taux d'infestation des olives selon l'année et variété.....	81
39	Variations du taux d'infestation (moyenne \pm E.S) des olives en fonction de l'orientation cardinale de l'arbre.....	82
40	Calibre des olives (mm) des deux variétés en 2019.	83
41	Moyenne \pm SE, indice de maturité (MI), poids (g), volume (cm ³) et l'indice de la rondeur et de l'élongation (RL) des olives à Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia, en 2020.....	85
42	Endoparasite <i>Psytallia concolor</i>	88
43	Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle de feuilles d' <i>Eucalyptus globulus</i>	104

44	Mortalité moyenne \pm SE de <i>B. oleae</i> exposée à la toxicité de contact de l'huile essentielle des feuilles d' <i>E. globulus</i> à 24 h et 48 h.....	105
45	Mortalité moyenne \pm SE de <i>B. oleae</i> exposée à la toxicité de la fumigation de l'huile essentielle des feuilles d' <i>E. globulus</i> à 24 h et 48 h.....	106
46	Mortalité moyenne \pm ES des adultes de <i>B. oleae</i> par l'effet de l'ingestion du bio pesticide B-401 [®] à différent temps d'observation.....	108

Annexes

1	Relation entre le taux d'infestation et le calibre des olives (A : Sigoise, B : Chemlal).....	142
2	Relation entre le taux d'infestation et l'indice de maturité (A : Sévillane, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).....	142
3	Relation entre le taux d'infestation et le poids (g) (A : Sévillane, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).....	143
4	Relation entre le taux d'infestation et le volume (cm ³) (A : Sévillane, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).....	144
5	Relation entre le taux d'infestation et l'indice de la rondeur et de l'élongation (A : Sévillane, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).....	145

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'oléiculture est l'une des principales cultures au monde, elle occupe plus de 12 millions d'hectares au monde entier avec plus de 23 millions tonnes de production d'olive (FAO-Stat, 2022), elle présente un intérêt économique majeur. L'olivier (*Olea europaea* L.) est l'arbre caractéristique de la région du bassin méditerranéen qui reste prédominante pour la production oléicole mondiale, elle représente plus de 90%. L'Algérie est classée la sixième en production oléicole parmi les dix principaux pays producteurs d'olive du monde en 2020 avec une production de 1 million tonnes, occupant une superficie de 4,3 milles ha (FAO-Stat, 2022).

Tous les fruits des différentes sous-espèces d'*Olea europaea* L. (cultivées et sauvages) sont sensibles aux attaques de différents insectes ravageurs et maladies. Parmi eux, la mouche de l'olivier, *Bactrocera oleae* (Rossi) qui est considérée comme le principal ravageur carpophage des olives commerciales dans le monde y compris dans les pays méditerranéens (Daane et Johnson, 2010 ; Pertíñez et Vélez, 2020). L'impact économique de ce ravageur sur la production d'olives résulte principalement de la ponte de la femelle de *B. oleae* dans les fruits et de l'alimentation des larves dans la drupe (Valentim, 2017), ce qui entraîne des pertes quantitatives et qualitatives d'olive de table et d'huile. Ces pertes économiques peuvent atteindre 100 % en raison d'une infestation incontrôlée et des pertes d'huile pouvant atteindre 80 % (Rice, 2000 ; Genç et Nation, 2008a ; Zalom et *al.*, 2009).

Les stratégies de lutte contre *B. oleae* reposent principalement sur l'utilisation des insecticides organophosphorés de couverture et des pulvérisations d'appâts qui peuvent avoir des effets secondaires écologiques et toxicologiques, surtout en terme de contamination des produits oléicoles (Daane et Johnson, 2010 ; Torrini et *al.*, 2020). Ce qui a poussé les chercheurs à s'intéresser à l'étude de la lutte par des alternatives non chimiques contre ce

ravageur, pour cela l'étude de leur bio-écologie est très intéressante ce qui a fait l'objet de plusieurs recherches antérieures.

C'est dans ce contexte, que nous nous sommes intéressés par notre humble contribution à étudier d'une part l'activité de vol de *B. oleae*, la préférence de ponte en évaluant le taux d'infestation de quelques variétés en relation avec des caractéristiques physiques de ses fruits dans deux régions à étages bioclimatiques différents (semi-aride et aride), également à étudier les performances larvaire de ce ravageur dans les fruits. D'autre part d'évaluer l'effet bio-insecticide de l'huile essentielle des feuilles d'*Eucalyptus globulus* ainsi l'efficacité d'un bio-pesticide B-401[®] à base de *Bacillus thuringiensis* vis à vis ce ravageur.

Nous avons structuré notre document en trois parties :

- La première est réservée à l'étude bibliographique comportant deux chapitres : l'un se rapporte à l'étude de la plante hôte et l'autre à l'étude du ravageur principal, *B. oleae*.
- La deuxième est réservée à l'étude expérimentale que nous l'avons répartie en deux : dont l'une concerne la présentation des régions d'étude et des oliveraies d'expérimentation, l'autre traite le matériel et les différentes techniques utilisées en méthodologie aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire.
- La dernière porte sur la présentation des résultats qui sont discutés.

Enfin, cette étude est achevée par une conclusion générale accompagnée par des perspectives.

PARTIE I :
ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

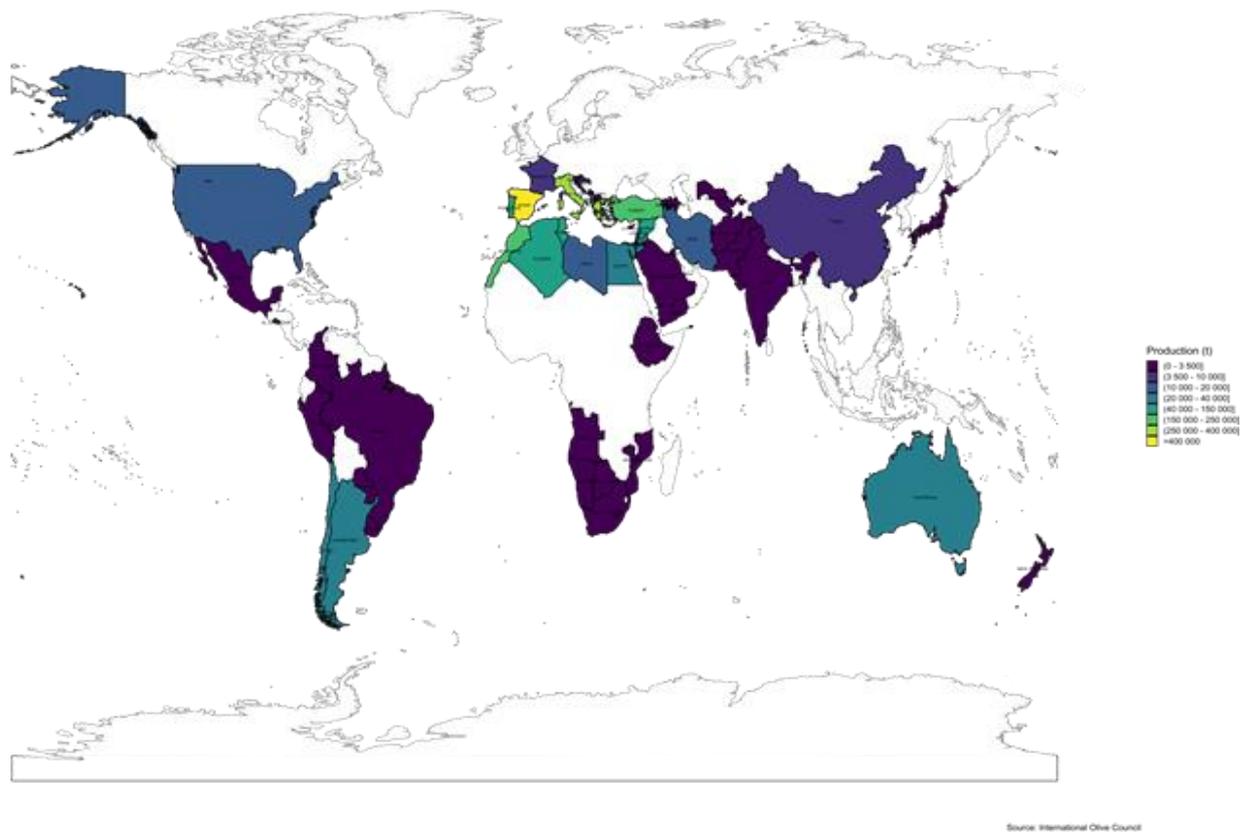
CHAPITRE I :
GENERALITE SUR LA
PLANTE HOTE (OLIVIER)

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA PLANTE HOTE (OLIVIER)**1. Origine et expansion**

L'olivier (*Olea europaea L.*) est historiquement connu pour être un arbre très ancien, qui est considéré comme la composante typique du paysage méditerranéen (Cherubini et *al.*, 2013). Où il est déjà présent bien avant que l'homme n'apparaisse sur la planète. Les premières traces découvertes par des restes fossilisés d'oléastre (*Olea sylvestris*), datant de 37 000 ans avant Jésus Christ, sous forme des feuilles fossilisées en Grèce dans les îles de Santorin (Benhayoun et Lazzeri, 2007 ; Henry, 2003). Selon les archéologues leur domestication aurait eu lieu environ entre 3800 et 3200 ans avant J.C. en Palestine, en Syrie, en Egypte, en Phénicie et en Grèce (Benhayoun et Lazzeri, 2007).

Pendant le dernier millénaire avant Jésus-Christ. Les phéniciens et les Grecs, ont contribué à l'expansion de la culture de l'olivier sur tout le bassin méditerranéen. Actuellement, l'olivier est cultivé dans toutes les régions du globe se situant entre les latitudes 30 et 45 des deux hémisphères (Benhayoun et Lazzeri, 2007), sa culture a été introduite en Amérique (Argentine, Etats-Unis) aux XVI^e - XVIII^e siècles par les Espagnols, en Australie et en Afrique du Sud au XIX^e siècle par les immigrants italiens et Grecs, et en Chine au XX^e siècle par les Français (Fig. 1) (Lespinasse et Leterme, 2005).

World olive oil production, 2020/21 crop year



Source : COI (2022).

Fig. 1. Carte oléicole mondiale.

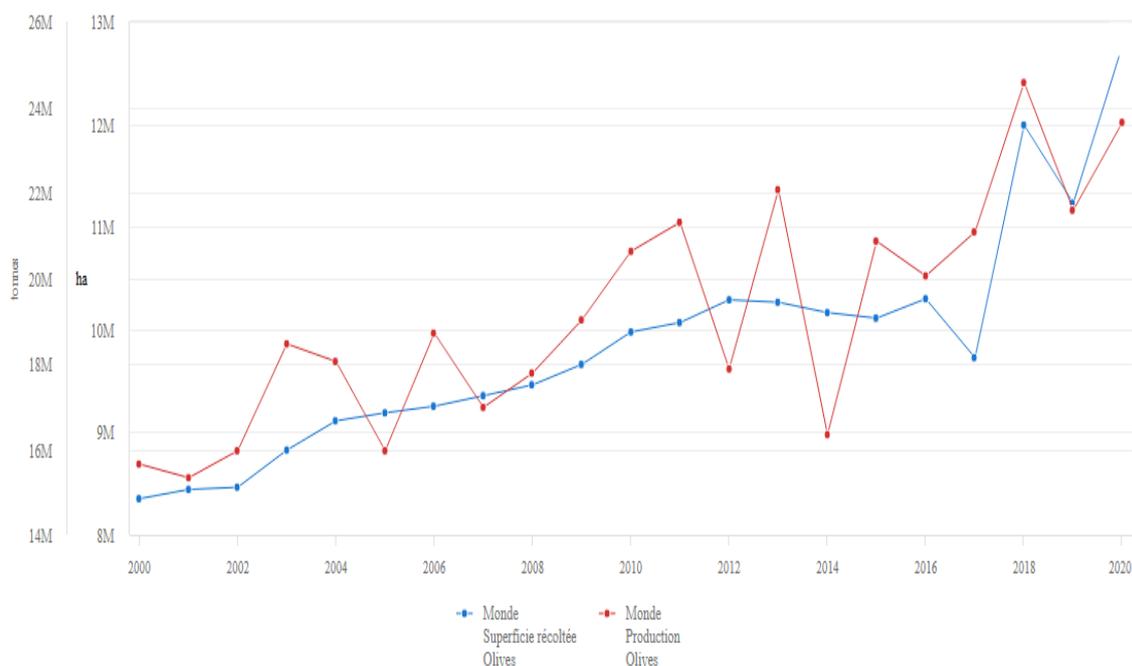
2. Importance et répartition

2. 1. situation mondiale de l'oléiculture

En 2020, l'oléiculture mondiale occupe 12 763 184 d'hectares, pour une production de 23 640 307 tonnes d'olives. Cette production a connu une évolution importante par rapport à l'année 2000 où elle était environ de 15 millions tonnes, qui est due à l'augmentation de la superficie des oliveraies (Fig. 2) (FAO-Stat, 2022). Les pays méditerranéens restent prédominants avec plus de 97 % d'olivier cultivés dans le monde (Lespinasse et Leterme, 2005).

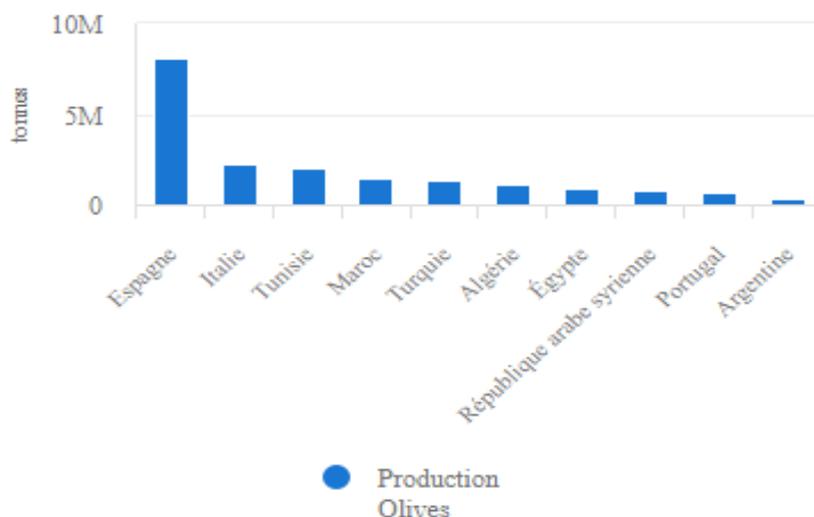
D’après les données provisoires de (COI, 2020), pour la campagne 2020/2021, la production mondiale d’huile d’olive atteint 3 197 000 tonnes et 3 134 000 tonnes d’olive de table.

En 2020, L’Espagne était le premier pays producteur d’olive avec une production de 8 137 810 tonnes, suivie par l’Italie (2 207 150 tonnes), Tunisie (2 000 000 tonnes), Maroc (1 409 266 tonnes), Turquie (1 316 626 tonnes) et l’Algérie (1 079 508 tonnes), ce sont les six premiers pays producteurs, tous situés dans la zone méditerranéenne (Fig. 3) (FAO-Stat, 2022).



Source : FAO-Stat (2022).

Fig. 2. Evolution de la superficie récoltée et production oléicole mondiale entre 2000 et 2020.



Source : FAO-Stat (2022).

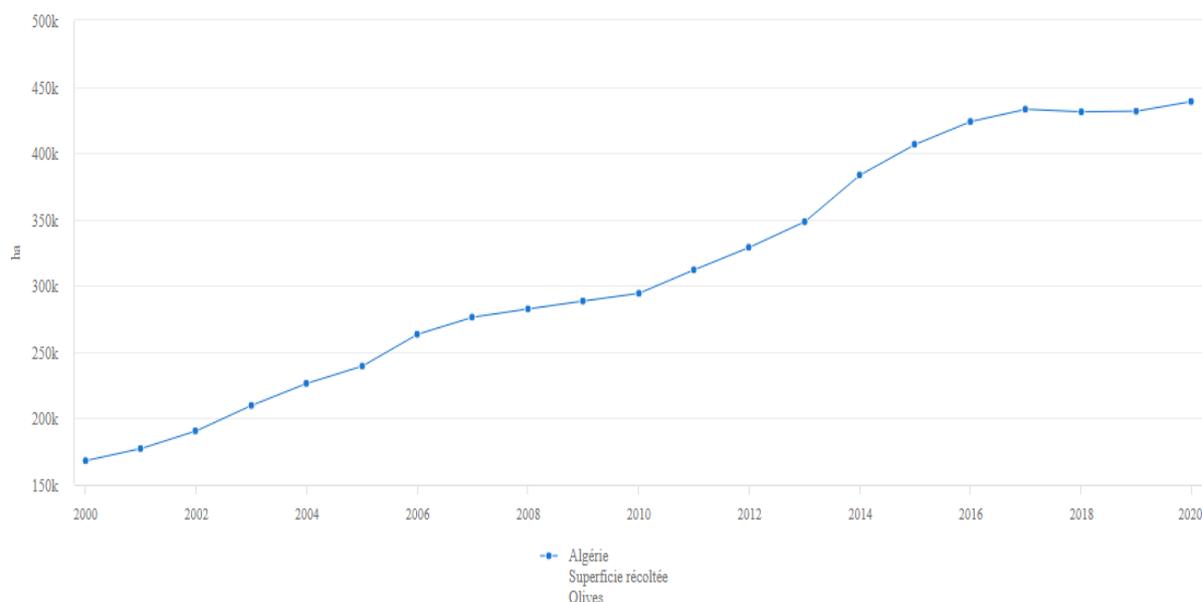
Fig. 3. Les dix premiers pays producteurs d'olives en 2020.

Selon COI (2021), La consommation mondiale d'huile d'olive pourrait atteindre 3 185 500 tonnes durant la campagne 2020/2021, qui a connu une évolution d'environ 90% entre 1990/91 à 2020/21. La consommation d'olive de table a connu une forte augmentation dans les principaux pays producteurs. Durant la campagne 2020/2021, La consommation mondiale d'olive de table atteignait 3 060 000 tonnes. Selon les derniers statistiques de COI, en 2019 l'Albanie qui enregistre la plus forte consommation annuelle (10,6 kg/ habitant/an), suivie de l'Algérie avec une consommation de 7,1 kg/ habitant/an, Égypte (6 kg), la Turquie (4,2 kg) et les autres pays consomment moins de 4 kg/ habitant/an.

2. 2. Oléiculture en Algérie

L'Algérie fait partie des principaux pays producteurs de l'olivier. En 2020 elle a pris la sixième classe dans la production oléicole mondiale. L'olivier est le troisième arbre fruitier nationalement au terme de production après l'orange et les dattes (FAO-Stat, 2022). La superficie oléicole Algérienne a enregistré entre 2000 et 2020 une croissance importante en passant de 168 080 hectares à 438 828 ha (Fig. 4) (FAO-Stat, 2022). Cette augmentation est

due à un plan national de développement agricole qui a été mis en œuvre pour la création d'un million d'hectare, afin de relancer l'oléiculture Algérienne dans des plusieurs régions surtout arides et semi arides (Algérie presse service, 2018). En 2020, la production oléicole Algérienne atteignait 1 079 508 tonnes (FAO-Stat, 2022). Selon les données provisoires de COI (2020), durant la campagne 2020/2021, la production d'huile d'olive est de 89 500 tonnes et 309 500 tonnes d'olives de table.



Source : FAO Stat (2022).

Fig. 4. Evolution de la superficie oléicole Algérienne entre 2000 et 2020.

La consommation Algérienne d'huile d'olive pour la campagne 2020/2021 est 85 000 tonnes et 313 000 tonnes pour l'olive de table qui correspond à 7,1 kg/ habitant/ an (COI, 2021).

Selon (Santedz, 2008), les oliveraies algériennes sont distribuées sur trois zones majeures :

1- La zone de la région Ouest occupe une superficie de 31 400 hectares répartis entre 5 wilayas sont Tlemcen, Ain-Temouchent, Mascara, Sidi Bel Abbes et Relizane.

2- La zone de la région centrale du pays occupe une superficie de 110 200 hectares, elle est la plus grande, elle comprend les wilayas de Ain Defla, Blida, Boumerdes, Tizi-Ouzou, Bejaia et Bouira.

3- L'Est du pays occupe une superficie de 49 900 hectares d'oliviers, représentatifs et réparties entre les provinces de Jijel, Skikda, Mila et Guelma.

En 2015, le sud Algérien occupe une superficie oléicole de 12 973 hectares répartis sur le territoire de différentes wilayas du Sud, notamment Biskra, El-Oued, Ghardaïa, Laghouat, Bechar et Ouargla (Algérie presse service, 2018).

2. 3. Oléiculture à Mascara

La Wilaya de Mascara est reconnue par sa vocation oléicole et sa renommée nationale et internationale. Selon les données de D.S.A Mascara (2022), la superficie occupée de l'olivier en 2020 est de l'ordre de 17 532 ha et la production oléicole totale atteignait 888 000 qx, dont 17 650 qx pour l'huile.

2. 4. Oléiculture à Laghouat

Laghouat est parmi les Wilaya du sud du pays qui ont connus dernièrement une vocation importante en oléiculture. Selon les données de D.S.A Laghouat (2022), la superficie occupée de l'olivier pour la campagne 2020/2021 est de 2 327 ha qui recouvert 510 010 d'arbres avec une production de 12 984 qx pour la conserve et 51 936 qx pour l'huile.

3. Systématique et morphologie de l'olivier

3.1. Classification botanique

Selon Botineau (2010) et Lespinasse et Leterme (2005), l'olivier appartient au :

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous classe : Astéridae

Ordre : Lamiales

Famille : Oléaceae

Genre : *Olea*

Espèce : *Olea europaea* Linnée

Le genre *Olea* comprend environ 35 espèces cultivées dans le monde ; *Olea europaea* L. est la seule espèce qui présente dans toute la région méditerranéenne.

Selon Chevalier (1948) et Aillaud (1985), L'espèce *Olea europaea* L. se décompose en deux sous espèces : la forme sauvage et la forme cultivée respectivement ; *Olea Oleaster* et *Olea sativa*.

- olivier sauvage : *Olea Oleaster Hoffmg et Link* ou *Olea sylvestris Mill.* pour des formes d'apparence spontanée, en buissons souvent épineux et ses fruits sont ordinairement petits et son huile est peu abondante.
- Olivier cultivé : *Olea sativa Hoffmg et Link* qui groupe un grand nombre de variétés améliorées, multipliées par bouturage ou par greffe.

3.2. Description morphologique de l'olivier

L'olivier est un arbre fruitier distingué par sa très grande longévité, sa pérennité et sa grande rusticité (Loussert et Brousse, 1978), à feuilles persistantes de taille moyenne, qui pousse nativement dans des conditions relativement sèches et rustiques avec un climat méditerranéen (Lespinasse et Leterme, 2005 ; Rapoport et al., 2016). Il porte des fruits dès la troisième année pour les variétés précoces et aux environs à la cinquième année pour les variétés tardives (Lespinasse et Leterme, 2005) (Fig. 5).



Source : originale (2019).

Fig. 5. Aspect général de l'olivier.

3.2.1. Système racinaire

Le développement du système racinaire peut adapter à la profondeur du sol, sa nature et également le mode de multiplication ; qui peut être pivotant ou fasciculé (Loussert et Brousse, 1978).

3.2.2. Tronc

Le tronc des jeunes arbres est droit et circulaire, qui se déforme en donnant naissance à des cordes et peut conduire plus d'un tronc au vieillissement. Leur développement en hauteur dépend les zones de cultures et les pays (Loussert et Brousse, 1978).

3.2.3. Charpentières

Il s'agit de grosses ramifications destinées à former la charpente de l'arbre et composées de charpentières maîtrises (ou les branches mères) et sous-charpentières (ou les sous branches mères qui porteront des rameaux feuillés et des rameaux fructifères) (Fig. 6) (Loussert et Brousse, 1978).



Source : originale (2019).

Fig. 6. Charpentières de l'olivier.

3.2.4. Frondaison

Le feuillage de l'olivier est argenté et facilement reconnaissable. Les feuilles sont persistantes avec une durée de vie de deux à trois ans. Elles sont disposées par paires sur le rameau d'une façon opposée. Elles sont simples avec un pétiole court. La forme de la lame peut varier d'ovale, ovale oblongue, lancéolées oblongues et quelques fois presque linéaire. Une nervure centrale épaisse et très visible divise la feuille en deux sur sa longueur. La face supérieure de la feuille est de couleur verte foncée, et la face inférieure est argentée. Les dimensions peuvent aussi varier de 3 à 8 cm de long et de 1 à 2.5 cm de large (Fig. 7) (Loussert et Brousse, 1978 ; Lespinasse et Leterme, 2005 ; Rapoport *et al.*, 2016).



Source : originale (2019).

Fig. 7. Feuilles de l'olivier.

3.2.5. Fleurs

Les fleurs sont regroupées en grappes de 10 à 40 en moyennes (Fig. 8), dont seulement une ou quelques-unes donneront des fruits. Le nombre de fleurs est influencé par le cultivar et les conditions de croissance. La fleur d'olivier est petite et constituées de quatre sépales soudés, quatre pétales, deux étamines et deux carpelle (Loussert et Brousse, 1978 ; Rapoport et *al.*, 2016).



Source : originale (2019).

Fig. 8. Grappes des fleurs de l'olivier.

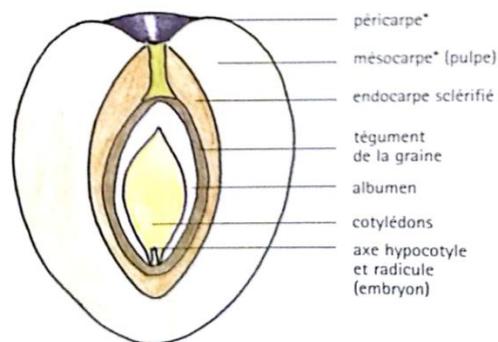
3.2.6. Fruits

L'olive est une drupe de forme ovoïde ou ellipsoïde, composée de trois tissus principaux : l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe. L'épicarpe (ou peau) est recouvert de "cire" contenant des acides gras. Sa couleur est d'abord verte, passe ensuite par une couleur violacées à la véraison, puis devient noire à maturité. Le mésocarpe est charnu, riche en huile. L'endocarpe est un noyau très dur protégeant une seule graine, l'amandon. Les dimensions des fruits et leur noyau sont très variables selon les variétés (Fig. 9, 10) (Loussert et Brousse, 1978 ; Lespinasse et Leterme, 2005 ; Galanakis, 2011).



Source : originale (2019).

Fig. 9. Fruits de l'olivier.



Source : Lespinasse et Leterme (2005).

Fig. 10. Coupe schématique de la drupe.

4. Cycle végétatif annuel

D'après (Loussert et Brousse, 1978 ; Lespinasse et Leterme, 2005), Le déroulement du cycle végétatif de l'olivier est en étroite relation avec les conditions climatiques de son aire d'adaptation, caractérisée essentiellement par le climat méditerranéen.

- Repos hivernal : c'est la période de ralentissement des activités végétatives, où le bourgeon terminal et les yeux axillaires sont en repos végétatif, qui s'étend de novembre à février ;

- Réveil printanier (mars - avril) : c'est la période de l'apparition de nouvelles pousses terminales et l'éclosion des bourgeons axillaires, qu'ils donneront soit du bois, soit des fleurs ;

- Floraison (mai - juin) : c'est la période de développement de l'inflorescence, elle s'effectue lorsque la température printanière s'adoucit et les jours s'allongent ;

- Durcissement du noyau (en juillet - aout) : c'est la période de nouaison, où l'endocarpe se sclérifie ;

- Grossissement des fruits et maturation (fin septembre - octobre) ; c'est la période de développement des fruits, qu'ils atteignent à leur taille normale ;

- Récolte ; s'effectue de la fin septembre pour les variétés précoces récoltées en vert, jusqu'en février pour les variétés tardives à huile.

5. Les variétés d'olivier cultivées en Algérie

Le patrimoine oléicole Algérien est caractérisé par une large gamme variétale répartie sur les différentes régions oléicoles, qui comprend des variétés autochtones et introduites. Leurs fruits sont destinés soit aux olives à huile, aux olives à table ou aux olives mixtes (destinés soit à la table ou à l'extraction de l'huile à la fois) (Loussert et Brousse, 1978 ; Mendil et Sebai, 2006).

Selon Mendil et Sebai (2006), on peut citer les principales variétés locales :

- Chemlal : elle occupe environ 40% des oliviers cultivés en Algérie, destinée à la production d'huile, qui se rencontre dans toute la Kabylie ;
- Sigoise : elle occupe environ 25% des oliviers cultivés en Algérie, destinée à la production des olives de table et aussi d'huile, cultivée surtout dans l'Ouest du pays, et plus particulièrement dans la région de Sig (Mascara) ;

- Azeradj : elle représente environ de 10 % de la superficie oléicole Algérienne, elle se caractérise par une double aptitude (huile et olive de table), elle se trouve en Kabylie ;
- Limli : elle occupe 8 % des oliveraies Algériennes, destinée à la production d'huile, elle se localise dans la Vallée de l'Oued Soummam ;
- Bouchouk : il existe plusieurs types de Bouchouk selon sa localisation : Bouchouk Soummam (Bejaia), Bouchouk Guergour et Bouchouk Lafayette (Sétif), elle se caractérise par une double aptitude (huile et olive de table) ;
- Blanquette de Guelma : assez répandue dans le Nord-Est Constantinois (Skikda et Guelma), destinée à la production d'huile ;
- Rougette de Metidja : elle est originaire de plaine de Metidja, destinée à la production d'huile... etc

Les variétés étrangères introduites, pour la majorité durant l'époque coloniale sont des variétés espagnoles (Sevillane, Cornicabra), des variétés françaises (Verdale, Lucque), des variétés italiennes (Frontoio, Leccino, Moraiolo, Pendolino, Coratine) (Loussert et Brousse, 1978 ; Mendil et Sebai, 2006) et des variétés marocaines (Picholine marocaine et Dahbia).

6. Maladie et ravageur de l'olivier

L'olivier peut être attaqué par des nombreuses ennemies qui peuvent affecter la quantité et la qualité de la récolte. On peut citer :

6.1. Maladies de l'olivier

Selon Courboulex (2005) et Brochard et Prat (2007), la physiologie de l'olivier peut essentiellement être perturbé par des quelques champignons et d'une bactérie :

- La fumagine : est un complexe de nombreux champignons (*Capnodium*, *Cladosporium*) qui se développent sur le miellat de cochenilles noires ou de psylles. Elle se manifeste par une poussière noire, recouvrant l'abandon de l'arbre ;

- L'œil de paon : due par *Cycloconium oleagineum* est le champignon le plus redoutable pour l'olivier, se manifestant par l'apparition une tache circulaire brune ou jaune en bout de feuilles. Il provoque une chute des feuilles prématurée ;

- Verticilliose : due par *Verticillium dahliae* est un champignon qui s'introduit dans les tissus à la faveur d'une blessure et provoque le dessèchement du bois de l'année ;

- Le chancre bactérien : (*Pseudomonas savastanoi*) ; forme des tumeurs sur les tiges et les branches, affaiblit la vigueur et la production.

6.2. Ravageurs de l'olivier

Selon Loussert et Brousse (1978) et Courboulex (2005), l'attaque massive de nombreux animaux phytophages peut compromettre gravement les récoltes, parmi eux :

- La mouche de l'olivier : *Bactrocera oleae* est un ravageur d'importance économique majeure dans tous les pays méditerranéens qui occasionne des dégâts important sur les fruits, en pondant ses œufs à l'intérieur du fruit et la larve se glisse et creuse dans lequel, en provoquant généralement son flétrissement et sa chute prématurée.

- La teigne : *Prays oleae* est un ravageur d'importance économique majeure dans tous les pays méditerranéens, elle dévore les fleurs au printemps (génération anthophage), grignote les noyaux des fruits en été (génération carpophage) et passe l'hiver bien au chaud dans le limbe de la feuille (génération phyllophage).

- La cochenille noire de l'olivier : *Saissetia oleae* est un ravageur qui occasionne des dégâts non négligeables, qui affaiblit l'arbre et provoque un véritable problème de la fumagine sur son miellat.

Des autres ravageurs d'importance économique moyenne sont : Le Psylle (*Euphyllura olivina*), l'Hylésine (*Hylesinus oleiperda*), le Thrips (*Liothrips Oleae*), ...etc.

CHAPITRE II :
GENERALITES SUR LA
MOUCHE DE L'OLIVIER

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA MOUCHE DE L'OLIVIER

1. Position systématique

La mouche de l'olivier de l'ordre Diptera, appartient à la famille des Tephritidae, à la grande sous-famille des Dacinae, à la tribu Dacini, du genre *Dacus* ou *Bactrocera* et à l'espèce *oleae* (spécifique de l'olivier). Cette espèce a été observée et décrite par Gmelin et Rossi (Loussert et Brousse, 1978 ; Daane et Johnson, 2010).

2. Origine et aire de répartition

La répartition géographique de la mouche de l'olivier est principalement coïncide avec la répartition de l'olivier cultivés et sauvages (Augustinos et *al.*, 2002 ; Daane et Johnson, 2010), c'est un ravageur important d'olive dans les pays méditerranéens. Il se produit également dans l'Afrique du Nord, de l'Est et du Sud et centrale, Îles Canaries, proche et du Moyen-Orient à l'Inde (Mavragani-Tsipidou, 2002 ; Tzanakakis, 2003 ; Daane et Johnson, 2010). Récemment, il a également envahi l'Amérique du Nord et centrale, Il a été détecté en Californie en 1998 tout d'abord dans la région de Los Angeles et s'est propagé au reste de la Californie (Rice et *al.*, 2003 ; Tzanakakis, 2003). La mouche de l'olivier n'a pas encore été signalée dans certaines régions comme l'Amérique du Sud, l'Australie et la Chine centrale (Tzanakakis, 2003 ; Daane et Johnson, 2010).

3. Description morphologique

3.1. Œuf

L'œuf de la mouche de l'olivier est lisse de couleur crème blanchâtre, de forme ovale légèrement courbée avec un pôle antérieur un peu élargie et un pôle postérieur légèrement mince. Sa longueur moyenne est de $0,73 \pm 0,01$ mm et son diamètre moyen est de $0,21 \pm 0,06$

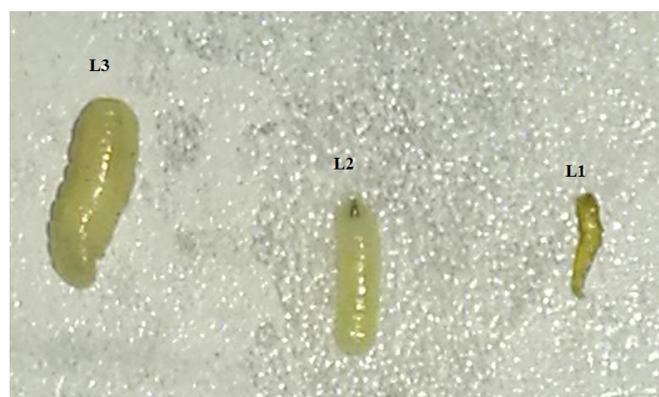
mm. Des mandibules rougeâtres deviennent visibles juste avant l'éclosion des œufs (Genç et Nation, 2008a ; Genc, 2014).

3.2. Larve

Selon Arambourg (1986), Genç et Nation (2008a) et Yokoyama (2015), la larve de *B. oleae* est un asticot cylindrique, élancé à corpulents, avec une extrémité antérieure pointue. De couleur blanc-jaunâtre dans les fruits verts, mais elle devient violacé dans les fruits noirs. Elle passe par trois stades larvaires (Fig. 11) qui sont caractérisés par la forme, la dimension de l'armature buccale et la disposition des stigmates : La larve du premier stade (L 1) est de type métapneustique (absence de stigmates thoraciques) ; celles du second stade (L2) et troisième stade (L3) sont de type amphipneustique (présence de stigmates prothoraciques). La larve du troisième stade atteignant 6,5–7,0 mm de long et 1,2–1,7 mm de large.

- La tête ; est de forme trapézoïdale, qui porte à leur extrémité antérieure deux petits antennes composées de trois segments.

- L'armature buccale a un simple crochet, avec une dent pré-apicale marquée seulement dans les larves du premier stade.



Source : originale (2019).

Fig. 11. Larve de *B. oleae* (L1 : larve du 1^{er} stade, L2 : larve du 2^{eme} stade et L3 : larve du 3^{eme} stade).

3.3. Nymphe

La nymphe est de forme ovale, qui se développe à l'intérieur d'un puparium issu du dessèchement de l'épiderme larvaire, est d'abord moelleux et de couleur jaune pâle, se change à l'obscurité et devenant brune rougeâtre foncée avec l'âge. Elle mesure $5,14 \pm 0,10$ mm de longueur et $2,08 \pm 0,10$ mm de largeur (Fig. 12) (Arambourg, 1986 ; Genç et Nation, 2008a).



Source : originale (2019).

Fig. 12. Nymphe de *B. oleae*.

3.4. Adulte

L'adulte de *B. oleae* (Fig. 13) mesure environ 5 mm de long. Les mâles et les femelles ont une morphologie presque semblable. Ils ont une tête brune, des grands yeux rouges et des petites antennes. Le thorax est brun, il présente plusieurs petites taches blanches à jaune pâle sur les côtés latéraux avec deux à quatre rayures longitudinales grises ou noires. Le scutellum est de forme triangulaire et de couleur jaune. L'abdomen est brun avec des zones plus foncées sur les côtés de chaque segment (ce caractère est tout à fait variable) (Rice, 2000 ; Genç et Nation, 2008a). Les ailes sont claires et sont positionnées horizontalement et éloignées du corps. La mouche d'olive peut être distinguée des autres mouches des fruits par la présence d'une petite tache noire au bout des ailes et l'absence des bandes de couleur ou des motifs sur les ailes qui se produit dans la plupart des autres espèces ; les nervures des ailes peut aussi

être un peu sombres (Rice, 2000 ; Zalom et *al.*, 2009). Les femelles se distinguent des mâles par la présence d'un ovipositeur utilisé pour percer les olives et pondre des œufs (Fig. 13) (Zalom et *al.*, 2009).



Source : originale (2019).

Fig. 13. Adulte de *B. oleae* (♂ : male, ♀ : femelle).

4. Phénologie et cycle de développement

La mouche de l'olivier est frugivore monophage car elle ne se développe et ne se reproduit que sur les fruits de quelques espèces d'*Olea* (Daane et Johnson, 2010). Cette mouche peut être considérée comme une espèce polyvoltine (Albertini, 2018), dont le nombre de générations varie entre 2 à 5 générations par an. À ce titre, le cycle de développement de *B. oleae* et le nombre de génération annuelle sont étroitement liée à certains facteurs climatiques (température et humidité), aussi à la disponibilité et à la qualité des fruits de l'olivier et de leur date de récolte. (Tzanakakis, 2003 ; Burrak et Zalom, 2008). Lorsque la température est ambiante, le cycle de vie s'achève en un peu plus d'un mois à 35 jours. Ainsi, il y a chevauchement des générations à la fin de l'été et à l'automne (Rice, 2000 ; Tzanakakis, 2003).

La mouche de l'olivier est un insecte homodynamique, capable de se développer tout au long de l'année dans les conditions favorables de la température, de l'humidité, et des fruits d'accueil seront disponibles. Pour survivre et/ou se reproduire, l'adulte de *B. oleae* doit se nourrir fréquemment de diverses substances organiques, liquides ou solides, tel que le miellat des insectes, le nectar des fleurs, d'autres exsudats végétaux, le pollen, les jus et les tissus des fruits endommagés ou en décomposition, et très probablement, les excréments d'oiseaux, les excréments d'insectes et les micro-organismes tels comme bactéries de surface végétale (Rice, 2000 ; Tzanakakis, 2003).

4.1. Emergence

Au printemps, en Mars, Avril et Mai, de nombreux adultes émergent à partir des nymphes hivernantes de l'année précédente (Yokoyama, 2015)

4.2. Accouplement

Selon Mavraganis et *al.* (2010), la communication sexuelle de la mouche de l'olivier repose sur une phéromone qui est produite par les femelles. Cependant, les mêmes auteurs ont fait des expérimentations au laboratoire, les résultats ont montré que les mâles de la mouche de l'olivier suscitent une attirance par les femelles vierges sur la base de stimuli olfactifs. Les femelles et les mâles s'accouplent au cours des deux dernières heures de la photopériode (Mavraganis et *al.*, 2010 ; Yokoyama, 2015).

4.3. Ponte

Les femelles commencent à pondre Lorsqu' elles ont 6 jours. Les femelles atteignent à leur maximal de ponte lorsqu' elles sont âgées de 13 à 37 jours et s'arrêtent de pondre a lieu à 90 jours (Yokoyama, 2012). Les femelles préfèrent pondre des œufs sur des olives en bonne santé, sans blessure, non mûres, vertes et moyennes à grandes (Marchini et *al.*, 2017 ; Genç et

Nation, 2008a). Aussi, certains stimuli chimiques inappropriés à la surface du fruit pourraient influencer sur la ponte. Pour cela, les femelles ont des récepteurs antennaires et tarsiens qui sont importants pour choisir des olives adaptées à la ponte (Haniotakis et Voyadjoglou, 1978).

Au début de la photopériode, les femelles matures vont commencer à pondre dans les fruits. Tout d'abord, elles grattent la surface du fruit avec leurs pièces buccales. Cette action se poursuit pendant 4 à 5 min. Lorsqu'une tache a été sélectionnée sur le fruit, la femelle va courber son corps en forme de «C» et va insérer l'ovipositeur dans le fruit avec des mouvements arrière et latéraux afin de percer le fruit (à environ 1 mm sous leur surface) afin de créer une dépression avec du tissu brun nécrotique. Après environ 30 secondes, la femelle va retirer l'ovipositeur par l'utilisation de leurs ailes comme équilibre en les étirant et en les courbant vers l'arrière et elle va nettoyer leur ovipositeur avec ses pattes. (Genç et Nation, 2008a ; Yokoyama, 2015).

Dans la nature, la femelle peut pondre jusqu'à 12 fois par jour et produit environ 200-250 œufs dans leur vie (Mavragani-Tsipidou, 2002), ainsi la femelle peut être pond plus un œuf dans le même fruit de l'olivier (Bourakna et *al.*, 2022b)

4.4. Développement larvaire

Après l'éclosion de l'œuf, la larve mue trois fois à l'intérieur des fruits qui se nourrit et se développe comme une foreuse dans le mésocarpe des olives, où la durée de développement des stades larvaires dépend en grande partie de la température, qui durent de 10 à 15 jours à 25 °±2 C. La larve du premier stade larvaire a un accès direct à la nourriture et s'enferme dans 2-3 jours. Les larves matures de troisième stade peuvent quitter le fruit pour se nymphoser dans le sol et elles sont capables de se déplacer sur des surfaces lisses (jusqu'à 24 m), mais elles sont sensibles aux températures élevées défavorable et à la faible humidité de sol (Genç et Nation 2008b ; Daane et Johnson, 2010 ; Yokomaya, 2015).

4.5. Pupaison et hibernation

Selon Al-Zaghal et Mustapha (1987) et Zalom et *al.* (2009), la larve mature se nymphose pendant l'été principalement à l'intérieur des olives, les pupes nécessitent 8 à 10 jours pour leur développement dans cette saison. Pendant l'automne la larve du troisième stade quitte l'olive par la formation d'un trou à la surface du fruit et se nymphose dans les 10 premiers cm de sol où elle passe l'hiver qui peut prendre jusqu'à 6 mois pour leur développement. Bachouche et *al.* (2018) a confirmé que la durée de la nymphose est aussi influencée par la texture du sol et la profondeur d'enfouissement de la pupe.

Cependant, dans certains cas, la mouche de l'olive passe l'hiver comme un adulte ou un asticot dans les fruits laissés sur les arbres ou chutés sur le sol (Arambourg et Pralavorio, 1970 ; Zalom et *al.*, 2009)

5. Facteurs affectant le développement de *B. oleae*

Trois facteurs naturels peuvent limiter les populations de la mouche de l'olivier et peut entrainer la mortalité le l'insecte à différents stade de leur développement :

5.1. Facteurs climatiques

Le développement de *B. oleae*, c'est-à-dire la longévité, la maturation et la survie est étroitement lié aux conditions environnementales, en particulier aux conditions climatiques, principalement la température et l'humidité relative (Fletcher et *al.*, 1978). Les conditions estivales chaudes (les températures élevées) et sèches (la faible humidité) peuvent être un facteur limitant empêchant la survie et la maturation ovarienne, réduisant la longévité et la production d'œufs ainsi que l'éclosion des œufs (Fletcher et *al.*, 1978 ; Broufas et *al.*, 2009 ; Pappas et *al.*, 2010). A l'inverse, durant l'hiver, les températures basses peut entraîner des mortalités élevées de la mouche, aussi une forte mortalité des pupes enfouies dans le sol est

observée à l'action combinée des basses températures et de la forte humidité du sol (Neuenschwander et *al.*, 1986 ; Gonçalves et *al.*, 2012a).

Le cycle de vie de l'œuf à l'adulte de *B. oleae* nécessite un minimum de 26 jours sous des températures douces de 21 à 26 °C (Yokoyama, 2012), dont la température optimale pour le développement des adultes se situe entre 20°C et 30°C (Civantos, 1999). Aussi, des durées de vie particulièrement longues de *B. oleae* ont été observées dans des conditions d'humidité élevée de l'air (Broufas et *al.*, 2009) qu'ils ont la capacité de rechercher des oliveraies plus humides et fortement irriguées. Les mouches adultes peuvent se déplacer 200 m en présence des oliviers, jusqu'à 4000 m pour trouver des hôtes (Rice, 2000). Néanmoins, les seuils de la survie des adultes sont 6 °C (seuil de température inférieur) et 35 °C (limite supérieure). La température optimale pour le développement des œufs se situe entre 30°C et 32°C et les seuils de développement des œufs sont 9,19°C (limite inférieur) et supérieur à 35°C (limite supérieur). La température optimale pour le développement et la survie des stades immatures est de 27°C, leur développement le plus lent se produit à 16°C et les seuils de développement sont 13,94°C (limite inférieur) et supérieur à 35°C (limite supérieur) (Tsitsipis, 1977 ; Genç et Nation, 2008b). Le stade pupaison nécessite jusqu' à 46 jours à 14°C, 19 jours à 21°C et 12 jours à 26°C. Le seuil de leur développement inférieur est 12,36 °C et il n'y a pas de développement pupal c'est-à-dire pas d'adultes à 35 °C (Genç et Nation, 2008b ; Yokoyama, 2012). Le développement ovarien des femelles est inhibé à des températures inférieures à 12°C et le seuil de maturation supérieur s'est avéré être de 29,3 °C (Fletcher et Kapatatos, 1983).

5.2. Facteurs agronomiques

Certaines caractéristiques des fruits comme la taille, le poids, la forme et la dureté de l'épicarpe des fruits aussi des stimulés chimiques peuvent affecter la ponte de la mouche de

l'olivier (Neuenschwander et *al.*, 1985 ; Iannotta et *al.*, 2007 ; Rizzo et *al.*, 2012). Les femelles de *B. oleae* sont attirées par les fruits de grande taille qui fournissent une meilleure ressource alimentaire, car les larves peuvent pénétrer et se nourrir plus profondément dans la pulpe que les fruits plus petits (Yokoyama et *al.*, 2006 ; Wang et *al.*, 2009). La dureté des olives joue un rôle important dans la ponte, dont les larves de premier stade peuvent souffrir d'une mortalité élevée lorsque les olives sont encore dures et très vertes, donc la mouche de l'olivier préfère les fruits mûres et noirs (Neuenschwander et *al.*, 1986 ; Burrack et Zalom, 2008). La forme sphérique des olives est la plus préférable pour la ponte de la mouche d'olive que les olives ovoïdes (Gümusay et *al.*, 1990 ; Rizzo et *al.*, 2012). Des stimuli chimiques, principalement des cires aliphatiques contiennent des composés qui inhibent la ponte (Neuenschwander et *al.*, 1985 ; Kombargi et *al.*, 1998). Aussi la teneur en eau et la teneur en huile jouent un rôle important dans la préférence de ponte sur les fruits. Les olives qui ont une forte humidité et sont pauvres en huile sont plus préférables à la ponte (Neuenschwander et *al.*, 1985 ; Gaouar et Debouzi, 1991 ; Burrack et Zalom, 2008).

5.3. Facteurs biologiques

La mouche de l'olivier peut être contrôlée naturellement par des agents biologiques, soit des parasitoïdes, prédateurs et des champignons ou bactéries entomopathogènes. Mais les facteurs biotiques dans le bassin méditerranéen semblent moins importants, notamment en ce qui concerne les parasitoïdes (Bigler et *al.*, 1986 ; Gonçalves et *al.*, 2012a).

Le braconide endoparasite (*Psytalia concolor*) est considéré comme le parasitoïde naturel de *B. oleae* le plus connu en Méditerranée surtout dans les zones près de la mer (Gaouar et Debouzi, 1991), mais le pourcentage de parasitisme par ce parasitoïde est plus faible dans les zones arides (Bourakna et *al.*, 2022b). L'eulophidé ectoparasitoïde (*Pnigalio agraulis*) a été signalé par Gonçalves et *al.* (2012a) avec un pourcentage de parasitisme qui

était insignifiant. Autres parasitoïdes cités qui ne sont pas spécifiques à *B. oleae* comme ; *Eurytoma martelli*, *Eupelmus urozonus* et *Pnigalio mediterraneus* (Hoelmer et al., 2011 ; Noyes, 2011).

En ce qui concerne la prédation, les oiseaux sont un facteur majeur de mortalité de la mouche de l'olivier, qui consomment les fruits attaqués, dont la merle noir (*Turdus merula*), le moineau espagnol (*Passer hispaniolensis*), la grive cendrée (*Turdus viscivorus*), le rouge-gorge (*Turdus migratorius*), les corbeaux (*Corvus sp.*), etc. (Cavalloro, 1984). Autres prédateurs du sol qui ayant l'action sur les pupes comme les carabes, les staphylinidés, les mille-pattes et les Dermaptera ont été cités par Neuenschwander et al., (1983).

Certains champignons entomopathogènes associés à *B. oleae* ont été signalés par Gonçalves et al. (2012a) comme *Cordyceps bassiana*, *Penicillium corylophilum* et *Mucor hiemalis*.

6. Dégâts

La mouche de l'olive cause une perte quantitative et qualitative importante dans la production des olives de table et la production d'huile d'olive.

6.1. Dégâts quantitatifs

Les pertes économiques annuelles sont très graves, en particulier dans les pays méditerranéens, où les conditions climatiques sont favorables au développement de la mouche de l'olivier (Mavragani-Tsipidou, 2002). Les dommages quantitatifs directs entraînent une chute prématurée des fruits sur le sol, où les pertes économiques de certaines variétés des olives de table les plus susceptibles peuvent atteindre 100% à cause d'une infestation non contrôlée. Les pertes d'huile allant jusqu'à 80% (Rice, 2000 ; Genç et Nation, 2008a ; Zalom et al., 2009). Aussi les piqûres de ponte seules, font baisser la valeur des fruits de table (Rice,

2000). La consommation de pulpe d'olive par les larves a été estimée, allant de 50 à 150 mg par larve selon le cultivar (Neuenschwander et Michelakis, 1978 ; Malheiro et *al.*, 2015).

6.2. Dégâts qualitatifs

Les larves de la mouche endommagent les fruits lors de leur alimentation par la formation des tunnels à l'intérieur du mésocarpe et par la formation des trous de sortie. Ces ouvertures provoquent la destruction de la pulpe (Fig. 14), l'introduction des bactéries (*Xanthomonas*), des levures (principalement *Torulopsis* et *Candida*) et des champignons (principalement *Fusarium* et *Penicillium*) qui pourrissent le fruit et dégradent la qualité de l'huile (acidité de l'huile augmente) (Malheiro et *al.*, 2015 ; Genç et Nation, 2008a ; Zalom et *al.*, 2009).



Source : originale (2019).

Fig. 14. Dégâts de *B. oleae* sur les olives.

7. Lutte

7.1. Lutte prophylactique

- Plantation des variétés résistantes : la connaissance de la susceptibilité ou la résistance des variétés à la ponte des femelles sur les fruits a été basée sur les études des interactions entre l'olivier et l'insecte et les facteurs physiques et chimiques (Malheiro et *al.*, 2015). Le facteur physique inclus la taille, la couleur, la dureté, le poids et le volume, dont les variétés à

petits fruits et durs sont les moins sensibles aux attaques par *B. oleae* (Burrak et Zalom, 2008 ; Gonçalves et al., 2012b ; Malheiro et al., 2015). Le facteur chimique se représente par la composition chimique extérieure et intérieure, les cires naturelles de la surfaces des olives ont une action répulsives vis-à-vis des femelles *B. oleae* (Kombargi et al., 1998 ; Malheiro et al., 2015). Les composés phénoliques peuvent également affecter le niveau d'attaque, où les cultivars les plus riches en oleuropéine sont les moins attaqués (Iannotta et al., 2007).

- Récolte précoce : L'anticipation de la récolte est considérée comme mesure préventive et réduit les dégâts causés par les attaques de *B. oleae*. Lorsque l'indice de maturation des fruits est compris entre 2,5 et 3,5, les olives doivent être récoltées. Après cette période, l'infestation augmente et les chutes de fruits se produisent au mois de Novembre (Patanita et al., 1997 ; Topuz et Durmusoglu, 2008 ; Valentim, 2017).

- L'assainissement est une considération qui s'effectue après la récolte par le ramassage et la destruction des olives tombées au sol et ce qu'il est restant sur les arbres afin de réduire les populations de *B. oleae* (Zalom et al., 2009 ; Yokoyama, 2015).

- Plantation des variétés d'olives ornementaux stériles qui sont moins susceptibles et produit moins de pollen (Zalom et al., 2009 et Yokoyama, 2015).

- Régulateurs de croissance des plantes ; c'est l'empêchement de la formation de fruits inutilisés par l'utilisation de produit chimique ou des pulvérisations d'eau à haute pression qui fera tomber les fleurs des arbres ornementaux pendant la floraison (Zalom et al., 2009 et Yokoyama, 2015).

7.2. Lutte chimique

Traditionnellement, la lutte contre *B. oleae* repose principalement sur l'utilisation d'insecticides organophosphorés par les pulvérisations de couverture et les pulvérisations d'appâts comme le diméthoate ou le fenthion (Skouras et al., 2007 ; Kakani et Mathiopoulos,

2008), qui agissent sur le système nerveux des insectes en inactivant l'acétylcholinestérase et entraînant la paralysie et la mort (Vontas et *al.*, 2001). Aussi l'utilisation des pyréthrinoïdes et plus récemment le spinosad pour le contrôle (Margaritopoulos et *al.*, 2008). Ces pesticides peuvent avoir des effets dangereux pour l'homme et l'environnement et provoquer la destruction des insectes auxiliaires (Murphy, 1986 ; Broumas et *al.*, 2002). L'utilisation intensive de ces produits également entraîne des problèmes de résistance dans les populations naturelles d'insectes (Başkurt et *al.*, 2011).

7.3. Lutte biologique

- **Lutte biologique classique (par parasitoïdes et prédateurs)**

La mouche de l'olivier est attaquée par de nombreuses guêpes parasites et par des arthropodes édaphiques prédateurs (Zalom et *al.*, 2009 ; Albertini et *al.*, 2018).

Plusieurs espèces Braconides fournissent naturellement un bon niveau de suppression de la mouche de l'olivier dans différents pays : *Psytalia concolor*, *Psytalia dacicida*, *Psytalia lounsburyi*, *Utetes africanus*, *Bracon celer* et *Triaspis daci*, et des autres guêpes : *Eupelmus afer*, *Halticoptera daci*, *Coptera silvestrii* et *Eupelmus urozonus*etc. (Daane et Johnson, 2010), où le parasitoïde le plus courant est l'espèce de *Psytalia* (Rugman-Jones et *al.*, 2008).

Psytalia concolor (Szépligeti) est un endoparasitoïde qui attaque avec succès 14 espèces de Tephritidae, comprenant la mouche de l'olivier, *B. oleae* (Sime et *al.*, 2006a). Les guêpes femelles sont capables de distinguer les fruits infestés des fruits sains par des signaux olfactifs sont fournis, et elles préfèrent les fruits infestés (Benelli et *al.*, 2013).

P. concolor, est un important parasitoïde utilisé dans la lutte biologique classique de *B. oleae*, initialement a été décrit en Tunisie et est largement utilisée dans la région méditerranéenne. Peu de temps après, a été introduit en Italie et en France, et au cours des

décennies suivantes, il a été largement disséminé dans le sud de l'Europe, aussi cette espèce a été récemment relâchée en Californie. *P. concolor* ait été élevé à partir les deux seules espèces ; la mouche méditerranéenne et la mouche de l'olivier (Daane et Johnson, 2010 ; Sime et al., 2006a). Autres parasitoïdes ont été utilisés dans le cadre de programme de lutte biologique classique : *P. lounsburyi*, *Utetes africanus*, *P. ponerophaga*, *Bracon celer* (Wang et al., 2008), *Diachasmimorpha kraussii* et *Diachasmimorpha longicaudata* (Sime et al., 2006b).

Les arthropodes édaphiques tels que les carabes et Staphylinidés peuvent s'attaquer à *B. oleae* par prédation surtout à son stade nymphal dans le sol (Albertini et al., 2018, Dinis et al., 2016). Pour améliorer la lutte antiparasitaire par prédateurs dans les oliveraies, une lutte biologique de la conservation est mise en place par utilisation de la végétation spontanée dans les oliveraies afin de fournir un abri à de nombreux insectes entomophages (Valentim, 2017 ; Albertini et al., 2018 ; Daane et Johnson, 2010).

- **Lutte par les microorganismes entomopathogènes**

L'utilisation des microorganismes entomopathogènes en tant que pesticides microbiens a montré un grand potentiel contre les ravageurs agricoles. Parmi eux :

Les champignons entomopathogènes sont considérés comme les agents pathogènes les plus prometteurs de lutte biologique contre les insectes ravageurs (Mahmoud, 2009). Ces agents fongiques agissent par le mode d'action tégumentaire (par contact) (Federici, 1999), ils ont le pouvoir d'infecter et de tuer les insectes par la production de métabolites chimique toxiques (Konstantopoulou et al., 2006). Des études actuelles ont confirmé que les souches des espèces *Metarhizium anisopilae* (Metchnikoff) Sorokin, *Metarhizium brunneum* (Petch), *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, *Lecanicillium lecanii*, *Penicillium corylophilum*, *Penicillium chrysogenum* et *Mucor hiemalis* étaient toxiques pour *B. oleae* aux stades pré imaginaux et adultes (Konstantopoulou et Mazomenos, 2005 ; Konstantopoulou et al., 2006 ;

Mahmoud, 2009 ; Gonçalves et *al.*, 2012a ; Yousef et *al.*, 2013). Deux souches de levures pathogènes *Pichia guilliermondii* et *Debaryomyces hansenii* ont également possédé le potentiel pathogène contre *B. oleae* (El Haidani et *al.*, 2008).

Les plus grands succès des pesticides microbiens d'origine bactérien sont venus de l'utilisation des préparations commerciales de *Bacillus thuringiensis* (Ilias et *al.*, 2013) pour le control des insectes nuisibles appartenant aux ordres des lépidoptères, des diptères et des coléoptères et d'autres invertébrés (Alberola et *al.*, 1999). *Bacillus thuringiensis* est une bactérie du sol gram-positive, formant des spores qui produit des protéines cristallines toxiques caractérisées par leur activité entomopathogène (Hofte et Whitely, 1989 ; Alberola et *al.*, 1999). Plusieurs souches de *Bacillus thuringiensis* des différentes niches écologiques présentait des activités toxiques pour contrôler les adultes et les larves de *B. oleae* (Alberola et *al.*, 1999 ; Navrozidis et *al.*, 2000 ; Sivropoulou et *al.*, 2000 ; Ilias et *al.*, 2013). Une souche *Bacillus subtilis* ont également montré une activité larvicide contre *B. oleae* (Mostakim et *al.*, 2012).

Les nématodes entomopathogènes peuvent être utilisés contre les stades de *B. oleae* qui sont en contact avec le sol pendant leur phase d'hivernage mais sont peu étudié, sauf Sirjani et *al.*, (2009) ; Torrini et *al.* (2017) et Torrini et *al.* (2020) qui ont évalué la toxicité des espèces, *Steinernema feltiae*, *Steinernema carpocapsae* et *Heterorhabditis bacteriophora* et ont démontré leur pathogénicité sur les pupes, les larves du troisième stade et même les adultes de *B. oleae*.

- **Lutte autocide**

La technique des insectes stériles (SIT) est un système de lutte antiparasitaire respectueux de l'environnement est basée sur le lâcher inondatif d'insectes stérilisés (Ahmadi et *al.*, 2018). Cette technique dépend de l'élevage en masse d'une espèce cible, de la

stérilisation des mâles par une irradiation ionisante (des rayons gamma) et de la libération d'un grand nombre de mâles stérilisés sur le site de lâcher qui sont capables de rivaliser avec des mâles sauvages afin de s'accoupler avec les femelles sauvages (Estes et *al.*, 2011 ; Ras et *al.*, 2017 ; Ahmadi et *al.*, 2018). Ces accouplements stériles produisent une progéniture non viable, ce qui diminue la population des ravageurs. Ces populations cibles sont efficacement supprimées lors de l'application de lâchers continus (Ras et *al.*, 2017 ; Ahmadi et *al.*, 2018).

L'application de la SIT a été figurée avec réussite contre le ver à vis (*Cochliomyia hominivorax*) aux États-Unis (Baumhover et *al.*, 1955) ainsi que contre des autres mouches des fruits, *Bactrocera cucurbitae* (Kuba et *al.*, 1996), *Bactrocera tryoni* (Ayling, 1989) et *Ceratitis capitata* (Barry et *al.*, 2004). Des travaux antérieurs ont montré que la SIT peut également être un outil prometteur pour le contrôle des populations de *B. oleae* (Economopoulos et *al.*, 1977 ; Estes et *al.*, 2011 ; Ahmadi et *al.*, 2018). Cependant, aucune application efficace de SIT n'a été réalisée en raison des difficultés d'élevage en masse (Estes et *al.*, 2011). Des études récentes ont été réalisées afin d'améliorer l'efficacité, la qualité et la rentabilité de l'élevage en masse de *B. oleae* par l'introduction des bactéries en tant que source de nourriture et en tant que symbiotes lors de leur élevage en masse (Estes et *al.*, 2011).

- **Lutte par bio-pesticides botaniques**

Certaines plantes sont capables de produire des métabolites secondaires qui peuvent être formulées comme pesticides botaniques qui ont l'avantage de fournir de nouveaux modes d'action contre les insectes (Schoonhoven et *al.*, 1998). Ces insecticides botaniques sont considérés comme des alternatives intéressantes aux insecticides chimiques de synthèse (Isman, 2006). À l'heure actuelle, les huiles essentielles des plantes aromatiques et médicinales sont utilisées pour leurs effets insecticides, car ce sont une source de produits chimiques bioactifs (monoterpènes et sesquiterpènes) et les composés aliphatiques que les

plantes produisent pour se défendre contre les herbivores et les maladies (Suthisut et *al.*, 2011 ; Delimi et *al.*, 2013 ; Russo et *al.*, 2015). Les principales familles de plantes dont sont extraites les huiles essentielles sont les myrtacées, les lauracées, les lamiacées et les astéracées (Regnault-Roger, 2012). les études de la propriété insecticide des huiles essentielles contre *B. oleae* restent rares (Pavlidou et *al.*, 2004 ; Canale et *al.*, 2013 ; Mami et *al.*, 2020 ; Mejdoub et *al.*, 2020 ; Rizzo et *al.*, 2020 ; Bourakna et *al.*, 2022a).

Eucalyptus globulus Labillardière un grand arbre appartient à la famille des Myrtacées. Cette espèce est originaire d'Australie, elle est cultivée dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées. Elle a été introduite en Algérie par Ramel en 1854 (Boulekbache-Makhlouf et *al.*, 2010). *Eucalyptus globulus* est l'une des plantes médicinales les plus utilisées dans le monde. Ses feuilles sont de riches sources d'huiles essentielles, de flavonoïdes ou de tanins (Brezani et Smejkal, 2013) et elles sont largement utilisés depuis des siècles comme médicament traditionnel pour traiter diverses infections, telles que les maux de dents, la diarrhée, les troubles de la bouche et des voies respiratoires supérieures (Salari et *al.*, 2005 ; Grbovic et *al.*, 2010). Des études récentes ont mis en évidence les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes de ses huiles essentielles (Salem et *al.*, 2018), et ont même démontré une action insecticide de contact et de fumigation contre plusieurs ravageurs (Russo et *al.*, 2015 ; Russo et *al.*, 2018 ; Harizia et *al.*, 2020 ; Bourakna et *al.*, 2022 a).

7.4. Autre méthodes

Utilisation des pièges attirant et tuant (lure-and-kill) et les piégeages en masse ; comme le piège OLIPE et les pièges McPhail qui sont remplis par des attractifs alimentaires, généralement des solutions de sels d'ammonium ou des protéines hydrolysées qui attirent les adultes mâles et femelles, et parfois une phéromone. Ainsi que les pièges collants à panneaux jaunes qui sont appâtés à phéromones mâles. Ces pièges ont été utilisés afin de surveiller

l'activité des adultes et les tendances de la population. (Zalom et *al.*, 2009 ; Yokoyama, 2015 ; Valentim, 2017).

Barrière physiques : la pulvérisation de film barrière comme certains argiles et produits à base de cuivre peuvent être utilisés pour protéger le fruit des attaques de *B. oleae*. L'enrobage complet des fruits par le cuivre et le kaolin a été considéré comme anti-oviposition, dont le kaolin perturbe et empêche la ponte des femelles sur les fruits et le cuivre grâce à leur action antibactérienne rend les fruits moins attrayant pour les femelles à pondre. L'application de ces produits limite l'infestation à un très bon niveau (Caleca et Rizzo, 2007 ; Zalom et *al.*, 2009).

PARTIE II :
MATERIEL ET
METHODES

CHAPITRE I :
PRÉSENTATION DES
RÉGIONS D'ÉTUDE

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DES RÉGIONS D'ÉTUDE

Le présent travail a été effectué dans deux régions d'études :

1. Wilaya de Mascara**1.1. Situation géographique**

La wilaya de Mascara, fait partie de la région du Tell, avec une superficie est de 5.135 Km², elle est située au Nord-Ouest de l'Algérie, entre 35° 23' de latitude Nord et 0° 09' de longitude Est avec une altitude de 585 m. Elle est limitée à l'Est par les Wilayas de Relizane et Tiaret, au Nord les Wilayas d'Oran et Mostaganem, à l'Ouest par la Wilaya de Sidi Bel Abbès et au Sud par la Wilaya de Saïda. Elle est subdivisée en 47 communes et 16 Dairate. Selon C.C.I (2022), sur le plan physique naturel, elle présente quatre zones homogènes :

- Les plaines de Sig et de Habra au Nord
- Les monts des Beni-chougrane, en amont
- Les hautes plaines, au Centre
- Les monts de Saïda, au Sud

1.2. Hydrologie de la région

La région fait partie du grand bassin versant de la Macta. Il s'agit d'un réseau comprenant beaucoup d'affluents. Il est drainé par deux principaux cours d'eau : l'oued Mebtouh à l'ouest, et l'oued El Hammam à l'est (Bekkoussa et *al.*, 2016).

Les eaux superficielles du bassin versant Habra sont régularisées par quatre barrages sont : Ouizert, Bouhanifia, Fergoug et Chorfa (Djellouli et *al.*, 2007).

Les ressources souterraines sont prélevées essentiellement à partir des trois aquifères : l'aquifère des alluvions du plioquaternaire (nappe superficielle), l'aquifère des calcaires dolomitiques du jurassique et l'aquifère des calcaires lacustres et grés du pliocène. A ce

système aquifère s'ajoutent quelques nappes locales dont les potentialités sont beaucoup moins importantes tel que l'aquifère de Oggaz et du synclinal de Ghomri et la nappe des calcaire de Menaour et de Zahana (Bekkoussa et *al.*, 2016).

1.3. Nature des sols

Selon la D.S.A de Mascara, Les sols de la Wilaya d'étude sont distingués par 5 classes :

I.3.1- Sols peu évolués : cette classe de sols occupe une place importante. Ils sont localisés sur les dépôts alluviaux, colluviaux récents ou actuels (cônes de déjections des oueds). Ils sont représentés sur la partie Nord-est de la plaine aux environs de l'oued Maoussa.

I.3.2- Vertisols : ils occupent une superficie peu importante et sont localisés dans quelques dépressions au centre de la plaine, autour de Froha et à l'ouest de Tizi. Ces sols sont caractérisés par la présence de fentes de retrait et par une texture très argileuse.

I.3.3- Sols calcimagnésiques : Ce sont des sols des glacis Moulouyens à croûte calcaire dure et épaisse. Ce glacis prend une grande extension au sud de Tighenif, à l'ouest de Matmore et au sud-ouest de Ghriss. Une grande partie de ces sols est représentée par les rendzines qui sont des sols peu profonds trop riches en graviers et cailloux, formés sur des croûtes et encroûtements calcaires.

I.3.4- Sols isohumiques: ils occupent des superficies moyennes et sont localisés surtout dans la partie Sud-ouest de la plaine dans l'axe Ghriss-Matmore. Pendant les saisons pluvieuses, ces sols sont représentés par le groupe des sols marron, formés sur croûte et encroûtement calcaire. On note la présence d'accumulation nodulaire au sein du profil pédologique.

I.3.5- Sols à sesquioxydes de fer : ces sols sont représentés par le groupe des sols rouges formés sous un climat de type méditerranéen, ont une extension assez réduite au Sud-est de Mascara, dans la petite vallée de l'oued Fekan, rive droite de l'oued de Maoussa.

1.4. Production agricole

La population de la région d'étude vit de l'agriculture et de l'élevage ; elle produit des cultures maraîchères en quantité considérables mais également des céréales et des fruits. Elle élève des bovins et des ovins pour la production du lait dans le sud de la plaine (D.S.A de Mascara, 2022).

1.5. Caractéristiques climatiques et bioclimatiques

1.5.1. Climatologie générale de la région

La limite nord de la région de Mascara est distante de la mer Méditerranée de moins de 30 kilomètres et sa limite sud-est située à moins de 100 kilomètres de l'Atlas tellien. Par conséquent, elle est soumise aux influences climatiques méditerranéennes et sahariennes à la fois, marquées par des irrégularités très nettes des précipitations (Semari et *al.*, 2012).

Pour caractériser le climat de la région étudiée, nous avons utilisé une période climatique de 10 ans allant de (2010-2020). Les données des différents paramètres climatiques utilisées (températures, précipitations, humidités, vents et gelées) proviennent de la station météorologique de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM) de Mascara-Ghriss.

1.5.2. Températures

Les températures mensuelles moyennes, maxima et minima de la région de Mascara pour la période entre 2010-2020 sont mentionnées dans le tableau 1. Nous remarquons que la moyenne des températures sont leur plus forte valeur durant les mois de Juillet et Août, qu'ils

correspondent aux mois les plus chauds, avec un maximum en Aout (30,20°C), tandis que la plus faible valeur est observée en Janvier avec 11,69 °C qui correspond au mois le plus froid.

Tab. 1. Températures mensuelles moyennes, maxima et minima de la région de Mascara (2010-2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
M (°C)	21,85	24,13	28,00	31,95	35,20	38,67	41,60	41,12	37,47	33,62	28,18	23,15	32,08
m (°C)	1,54	1,78	2,82	6,70	9,29	12,94	17,75	19,29	15,18	10,07	5,74	2,43	8,78
T° Moy. (°C)	<u>11,69</u>	12,95	15,41	19,32	22,24	25,80	29,67	<u>30,20</u>	26,32	21,84	16,96	12,79	20,43

Source : O.N.M Mascara, 2022.

A partir des données journalières de la température moyenne durant la période d'étude de Juin 2019 à Avril 2020 dans la région de Mascara, nous avons calculé les moyennes de ces données chaque dix jour (Fig. 15). Le 13 Aout 2019, la température moyenne atteint la valeur maximale soit 30,55°C, tandis que la température minimale (7,43 °C) a été enregistrée le 13 Janvier 2020.

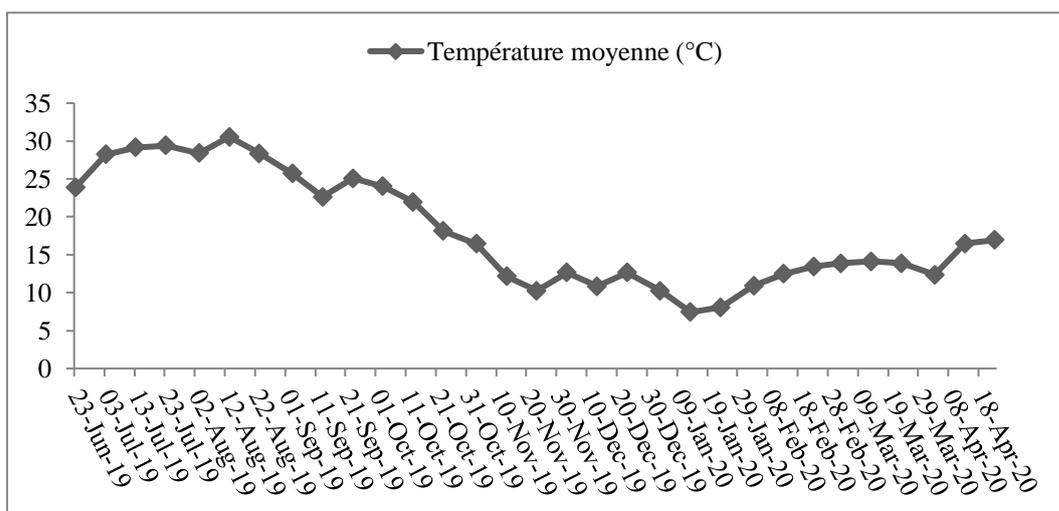


Fig. 15. Les données journalières de la température moyennes du 23 Juin 2019 au 23 Avril 2020 dans la région de Mascara.

1.5.3. Précipitation

Les valeurs de la pluviométrie moyenne mensuelles de la période entre (2010 – 2020), pour la station de Mascara, sont indiquées dans le tableau 2. Le mois le plus arrosé est le mois de Novembre avec une pluviométrie de 27,96 mm, par contre le mois le plus sec est le mois de Juillet avec 4,22 mm.

Tab. 2. Précipitations moyennes mensuelles de la région de Mascara (2010-2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Cumul
P (mm)	74,23	54,48	65,14	76,53	41,56	17,17	<u>4,22</u>	13,09	24,09	41,38	<u>77,45</u>	51,83	521,42

Source : O.N.M Mascara, 2022.

1.5.4. Humidité relative de l'air (HR)

L'analyse des résultats de l'humidité relative mensuelle de la région d'étude de la période entre 2010-2020 (Tab. 3), fait ressortir un maximum en Janvier avec 72,30%, et un minimum de 48, 50% en Juillet.

Tab. 3. Humidité relative moyenne mensuelle de la région de Mascara (2010-2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
HR (%)	<u>72,30</u>	69,92	67,74	64,59	59,37	54,94	<u>48,50</u>	50,02	57,43	59,48	68,26	71,38

Source : O.N.M Mascara, 2022.

A partir des données journalières de l'humidité relative durant la période d'étude du Juin 2019 à Avril 2020 dans la région de Mascara, nous avons pu tracer un graphe qui indique les moyennes de ces données chaque dix jour (Fig. 16). Nous remarquons que la valeur

maximale de l'humidité relative est enregistrée le 13 Aout 2019 avec un taux de 75,31%, tandis que la valeur minimale (34,77 %) a été enregistrée le 13 Décembre 2019.

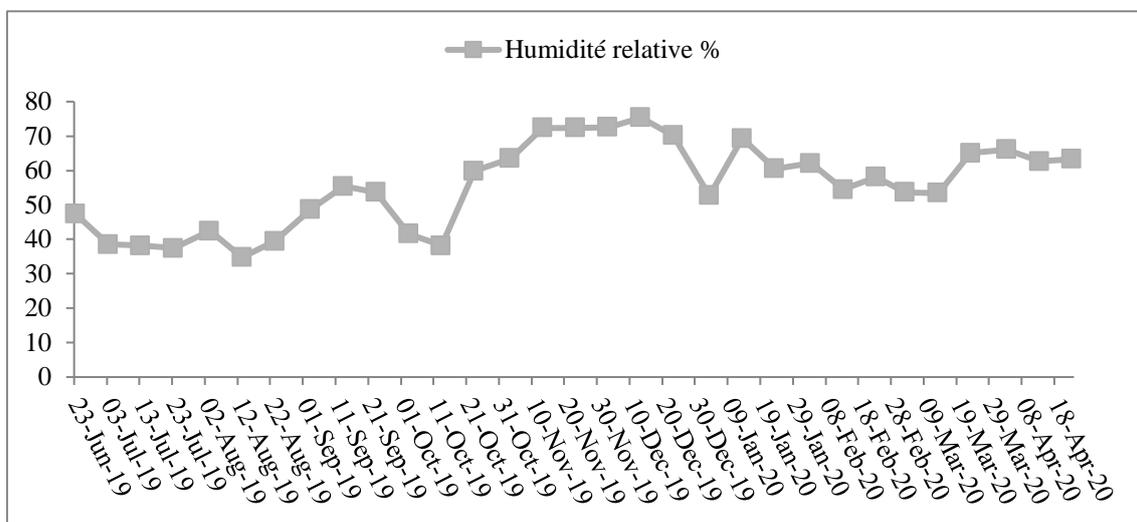


Fig. 16. Données journalières de l'humidité relative du 23 Juin 2019 au 23 Avril 2020 dans la région de Mascara.

1.5.5. Vent

La vitesse moyenne mensuelle du vent dans la région d'étude durant la période 2010-2021 est représentée dans (Tab. 4). L'analyse de vitesses des vents fait ressortir que les mois entre Décembre et Juin sont caractérisés par un vent fréquent et intense avec un maximum en mois de Février (4,64 m/s) qui enregistre les vents les plus violents, et un minimum se produisant en Septembre (3,27 m/s).

Tab. 4. Vitesses moyennes des vents (m/s) mensuelle de la région de Mascara (2010-2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent (m/s)	4,40	<u>4,64</u>	4,35	4,05	3,73	3,63	3,33	3,29	<u>3,27</u>	3,49	3,46	4,16

Source : O.N.M Mascara, 2022.

1.5.6. Indice d'aridité

L'indice de l'aridité est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présente à un endroit donné (Oliver, 2005). D'après Ozenda (1982), l'indice d'aridité de De Martonne est présenté par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{(T+10)}$$

P : total des précipitations annuelles en (mm).

T : température moyenne annuelle en (°C).

$P_{\text{Mascara}} = 521,42 \text{ mm}$, $T_{\text{Mascara}} = 20,43 \text{ °C}$

D'après Prévost (1999), L'indice de De Martonne est d'autant plus bas que le climat est plus aride et nous pouvons distinguer plusieurs classes :

- Climat très sec ($I < 10$) ;
- Climat sec ($I < 20$) ;
- Climat humide ($20 < I < 30$) ;
- Climat très humide ($I < 30$).

Le calcul de l'indice d'aridité de la région de Mascara a révélé une valeur de **17,13** qui permet de classer la région dans un climat **sec**.

1.5.7. Synthèse climatique

L'établissement d'une synthèse des facteurs climatiques à savoir la pluviométrie et la température fait appel à l'étude des deux paramètres suivants :

- Le diagramme ombrothermique de Bangouls et Gausson (1953), qui détermine la période sèche de la région d'étude ;
- Le quotient pluviométrique d'Emberger (1955), qui détermine l'étage bioclimatique de la région d'étude.

1.5.7.1. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson permet d'évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**). Ils se sont basés sur la formule $P \text{ (mm)} = 2 T \text{ } ^\circ\text{C}$; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

D'après ce diagramme, la période sèche dans la région de Mascara s'étale sur six mois, elle va du début de Mai jusqu'à la fin d'Octobre (Fig. 17).

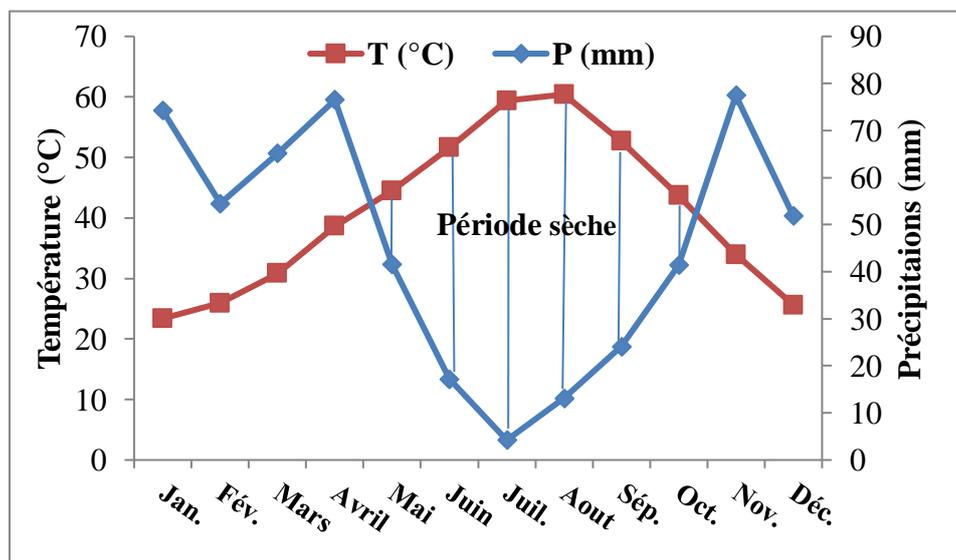


Fig. 17. Diagramme Ombrothermique de Gausson et Bagnouls pour la région de Mascara (2010-2020).

1.5.7.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger

Selon Emberger (1955), le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région, il est représenté en abscisse par la moyenne des minima des températures du mois le plus froid (variantes thermiques) et en ordonnées par le quotient pluviothermique Q_2 d'Emberger. Nous avons utilisé la formule de Stewart (1969), adaptée pour l'Algérie qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3.43 \times \frac{P}{(M-m)}$$

Q_2 : Quotient pluviothermique d'Emberger.

P : Moyenne des précipitations annuelles en mm = 521,42 mm.

M : Moyenne des maximums du mois le plus chaud en (°C). $M_{(Mascara)} = 41,60^\circ\text{C}$.

m : Moyenne des minimums du mois le plus froid en (°C). $m_{(Mascara)} = 1,54^\circ\text{C}$.

Après application de la formule, nous obtenons la valeur de Q_2 (le quotient pluviothermique) de la région de Mascara pour la période entre 2010 à 2020, est égal à **44,64**, avec une température minimale (m°) est de **1,54** °C, ce qui place la région de Mascara appartenne dans l'étage bioclimatique **semi-aride**, variante à hiver **frais** (Fig. 18).

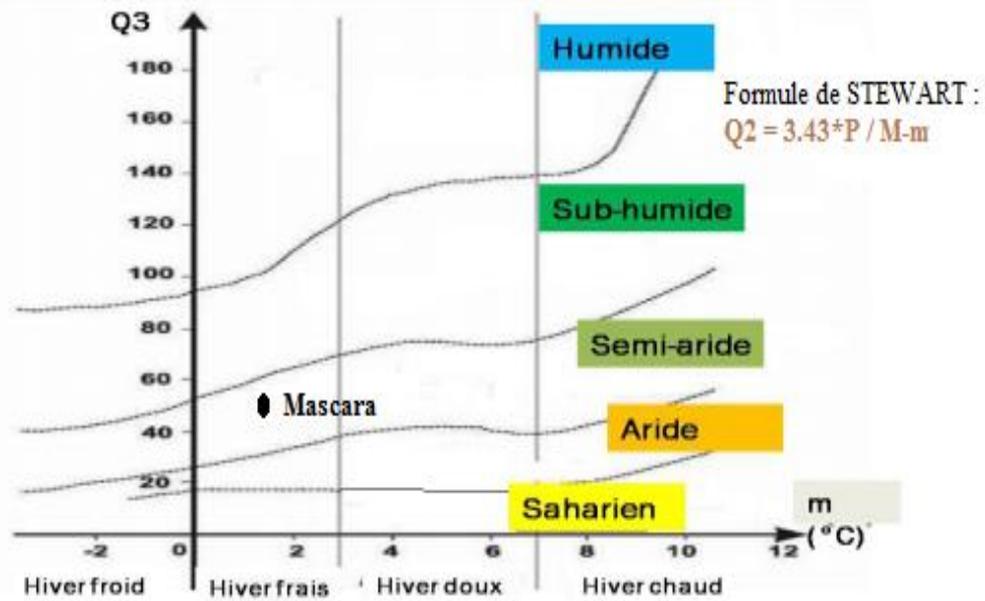


Fig. 18. Climagramme pluviothermique d'Emberger pour la région de Mascara (2010-2020).

1.6. Présentation du site d'étude

La station d'étude est située dans la région d'Oued Taghia à une altitude de 471 m (35° 6' 35" N, 0° 5' 19" E), entre Mascara et Saida (sud du chef-lieu de la wilaya de Mascara). La région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, sec et froid, éloignée de la mer d'une distance d'environ 120km (Fig. 19).

L'oliveraie est composée de deux variétés, Sigoise (destinée à la production d'olives de table) et Chemlal (destinée à la production d'huile) couvrant une superficie d'environ 3,5 ha. Les arbres sont de taille moyenne, âgés d'environ 16 ans et espacés d'environ 10 m × 8 m, irrigués et taillés bi annuellement. L'oliveraie n'a reçu aucun traitement contre les maladies et les ravageurs au cours des trois années avant l'étude, mais des engrais chimiques sont appliqués chaque hiver.

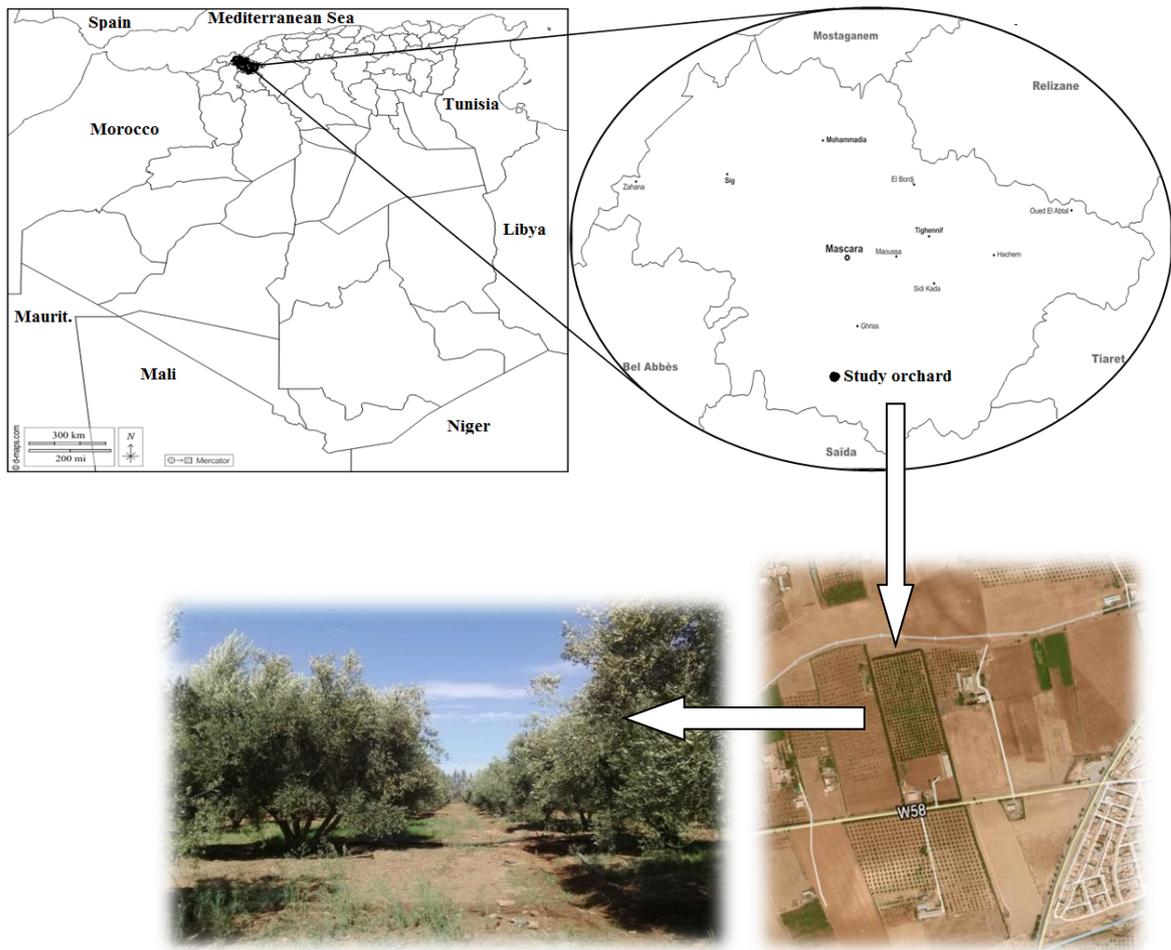


Fig. 19. Localisation géographique de la Wilaya de Mascara et la situation de la station d'Oued Taghia et de l'oliveraie d'étude.

2. Wilaya de Laghouat

2.1. Situation géographique

La wilaya de Laghouat, fait partie des neuf Wilayas steppiques ainsi que des Wilayas du Sud de l'Algérie, la superficie est de 25 052 km². Elle est située à la limite septentrionale du Sahara elle est située au Nord-Ouest de l'Algérie, entre 33°48' de latitude Nord et 2°53' de longitude Est avec une altitude allant de 700 m à 1700 m. Elle est bordée au Nord et Nord-Est par Djelfa, au Nord-Ouest par Tiaret, au Sud par Ghardaïa et à l'Ouest par El Bayadh (D.P.A.T, 2010).

Selon la D.S.A de Laghouat (2010), Sur le plan naturel, elle est constituée de 03 zones homogènes :

- 1- Une zone Nord constituée par les hautes plaines steppiques agro-pastorale et alfa.
- 2- Une zone centrale de piémonts et montagnes agro sylvo pastorale.
- 3- Une zone du plateau saharien au sud de la wilaya.

2.2. Hydrologie de la région

La région de Laghouat se caractérise par un faible potentiel en eau ; on distingue 03 systèmes aquifères, à savoir : la nappe phréatique du quaternaire, le complexe terminal et le continental intercalaire (Khadraoui, 2004).

Les ressources en eaux superficielles sont localisées dans l'Atlas Saharien, leur faible importance est liée à l'irrégularité du régime pluviométrique et à la forte évaporation (Khadraoui, 2004). Les principaux Oued sont : Oued M'zi, Oued Touil et Oued Medsous (D.P.A.T, 2010).

2.3. Nature des sols

Les sols de la wilaya de Laghouat sont en majeure partie d'apport alluvial typique sur croûte calcaire évoluée, à texture légère et à teneur faible en matière organique présentant ainsi des contraintes pour l'agriculture (C.D.F, 2013).

2.4. Production agricole

Selon la D.S.A de Laghouat (2021), la région de Laghouat est occupée par la céréaliculture mais aussi par des parcelles de culture fourragère, culture maraichère, arboriculture fruitière et palmier dattier.

Parallèlement à cette production végétale, une grande production animale est à signaler, elle est essentiellement représentée par la production ovine et caprine ce qui qualifié la région d'agropastorale ainsi que la production laitière.

2.5. Caractéristiques climatiques et bioclimatiques

2.5.1. Climatologie générale de la région

Découlant du relief, le climat est de type continental (semi-aride) au Nord-Ouest par une pluviométrie variant de 300 à 400 mm avec des chutes de neige et des gelées blanches. Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie entre 150 mm au centre et 50 mm au Sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable (D.P.A.T, 2010).

Les données des différents paramètres climatiques utilisées (températures, précipitations, humidités, vents et gelées) de la région sont puisées de la station climatologique professionnelle de l'O.N.M située au chef-lieu de Laghouat. Pour mieux caractériser le fonctionnement du système climatique de la région étudiée, les données de la période de 11 ans (2010-2021), ont été retenues.

2.5.2. Températures

Les températures mensuelles moyennes, maxima et minima de la région de Laghouat entre 2010 à 2021 sont rapportées sur le tableau 5. Nous remarquons que la moyenne des températures du mois le plus froid est enregistrée en Janvier avec 8,85 °C, tandis que le mois le plus chaud est enregistré en Juillet avec une température moyenne égale à 31,07°C.

Tab. 5. Températures mensuelles moyennes, maxima et minima de la région de Laghouat (2010-2021).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
M (°C)	20,57	22,33	26,48	31,50	36,73	40,57	42,80	41,77	38,29	32,64	25,34	20,06	31,59
m (°C)	-2,86	-2,49	-0,49	3,44	7,85	13,52	19,35	19,64	14,07	6,75	0,85	-1,95	6,47
T° Moy. (°C)	<u>8,85</u>	9,92	12,99	17,47	22,29	27,04	<u>31,07</u>	30,70	26,18	19,69	13,09	9,05	19,03

Source : O.N.M Laghouat, 2022.

2.5.3. Précipitation

L'analyse pluviométrique des moyennes mensuelles pour la région de la période entre (2010 – 2021) (Tab. 6) montre que les précipitations sont abondantes en mois de Septembre avec une pluviométrie de 16,5 mm. Les mois les plus secs sont les mois de Février et Juillet avec des moyennes de 4,45 mm et 4,90 mm respectivement, elles sont caractérisée par un minimum de pluie.

Tab. 6. Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2010-2021).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Cumul
P (mm)	6,71	<u>4,45</u>	9,04	12,75	11,88	6,25	4,90	11,62	<u>16,5</u>	9,04	11,5	6,71	111,38

Source : O.N.M Laghouat, 2022.

2.5.4. Humidité relative de l'air (HR)

L'examen du tableau 7 qui mentionne les données d'humidité relative (H%) mensuelle de la période entre 2010 - 2021 dans notre région, montre un taux d'humidité élevé (67,37%)

enregistré au mois de Décembre, et par contre l'humidité la plus faible est remarquée en juillet (21,72%).

Tab. 7. Humidité relative moyenne mensuelle de la région de Laghouat (2010-2021).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
HR (%)	62,87	56,69	49,90	43,34	36,06	29,06	<u>21,72</u>	26,34	36,65	45,36	59,52	<u>67,37</u>

Source : O.N.M Laghouat, 2022.

2.5.5. Vent

La vitesse moyenne mensuelle du vent enregistrée pour la région de Laghouat durant la période 2010- 2021 est mentionnée dans le Tableau 8. Les vitesses des vents les plus élevées enregistrées entre Mars et Juin avec un maximum en mois de Mars (3,53 m/s), et un minimum se produisant en Octobre (2,68 m/s).

Tab. 8. Vitesse moyenne des vents (m/s) mensuelle de la région de Mascara (2010-2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent (m/s)	3,08	3,39	<u>3,53</u>	3,50	3,49	3,45	3,11	2,85	2,92	<u>2,68</u>	3,06	2,80

Source : O.N.M Laghouat, 2022.

2.5.6. Indice d'aridité

D'après l'analyse climatique de la région de Laghouat, le total des précipitations annuelles est de 111,38 mm et la température moyenne annuelle est de 19,03 de la période entre 2010-2021.

Le calcul de l'indice d'aridité de De Martonne de la région de Laghouat a révélé une valeur de **3,83** qui permet de classer la région dans un climat **très sec**.

2.5.7. Synthèse climatique

2.5.7.1. Diagramme Ombrothermique

Pour la région de Laghouat, le diagramme de Bagnouls et Gausсен (Fig. 20), montre une seule période sèche qui s'étale durant toute l'année.

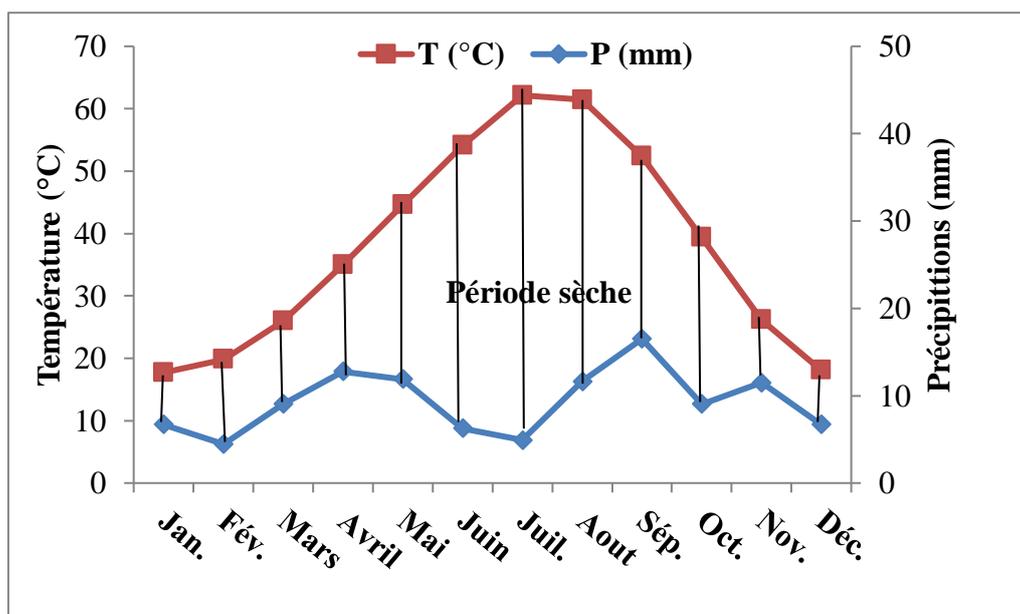


Fig. 20. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен pour la région de Laghouat (2010-2021).

2.5.7.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger

Pour caractériser l'étage bioclimatique de Laghouat, nous avons calculé le Q_2 , avec les données suivantes : $P_{(\text{Laghouat})}=111,38$, $M_{(\text{Laghouat})}= 42,80$ et $m_{(\text{Laghouat})}= -2,86$. Nous obtenons la valeur Q_2 de la région de Laghouat pour la période entre 2010 à 2021, est égal à **8,36**.

Les valeurs de Q_2 et m sont rapportées sur le Climagramme d'Emberger montrant que Laghouat se situe dans l'étage bioclimatique **saharien à hiver froid**. (Fig. 21).

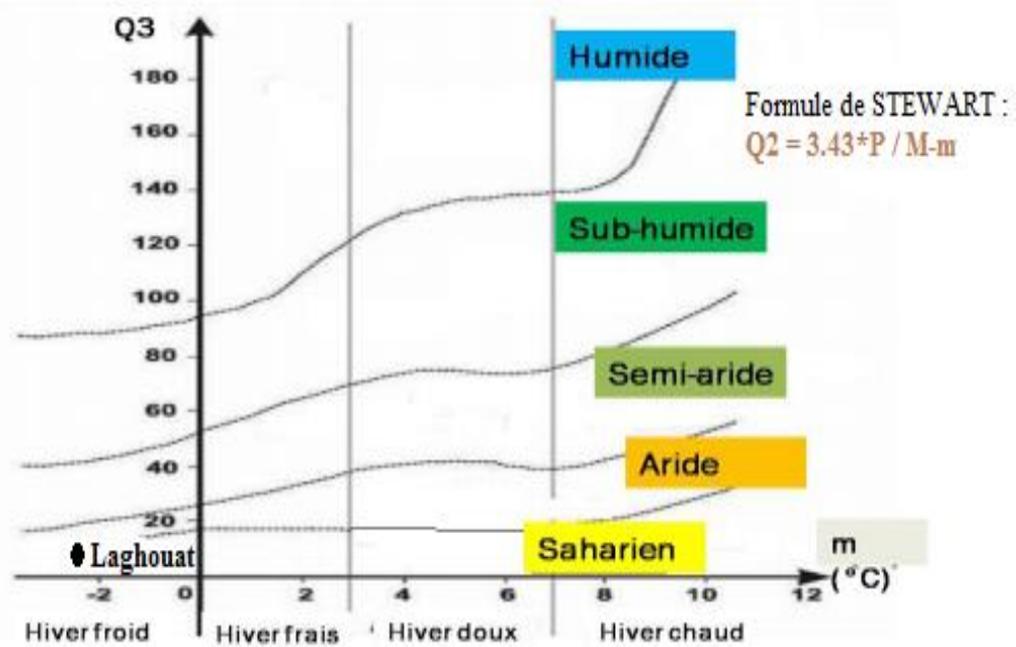


Fig. 21. Climagramme pluviothermique d'Emberger pour la région de Laghouat (2010-2021).

2.6. Présentation des sites d'étude

L'étude a été menée dans deux oliveraies voisines du site de Hamda. Ce site est situé près du chef-lieu de la wilaya de Laghouat (Fig. 22). La première station se situe à 7 km au Nord de la wilaya (33° 51' 55" N, 2° 51' 20" E, 811 m). Elle est composée d'une seule variété marocaine Dahbia, couvrant une superficie d'environ 8 ha. La deuxième station se situe à 19 km à l'Ouest de la wilaya (33° 50' 38" N, 2° 45' 53" E, 826 m), elle est composée de trois variétés : Sevillane (espagnole) est la moins abondante, Sigoise et Chemlal (locales), sur une superficie totale de 11 ha. La distance entre les 2 stations est environ de 16 km.

Les deux vergers présentent des caractéristiques géographiques, climatiques et pratiques culturelles similaires : âge des vergers (entre 23 et 27 ans) ; être irrigués ; être taillés chaque année ; les arbres étaient de taille moyenne avec une distance entre les arbres (10×10m). Les

oliveraies ne reçoivent aucun traitement chimique, les engrais chimiques sont appliqués chaque hiver.

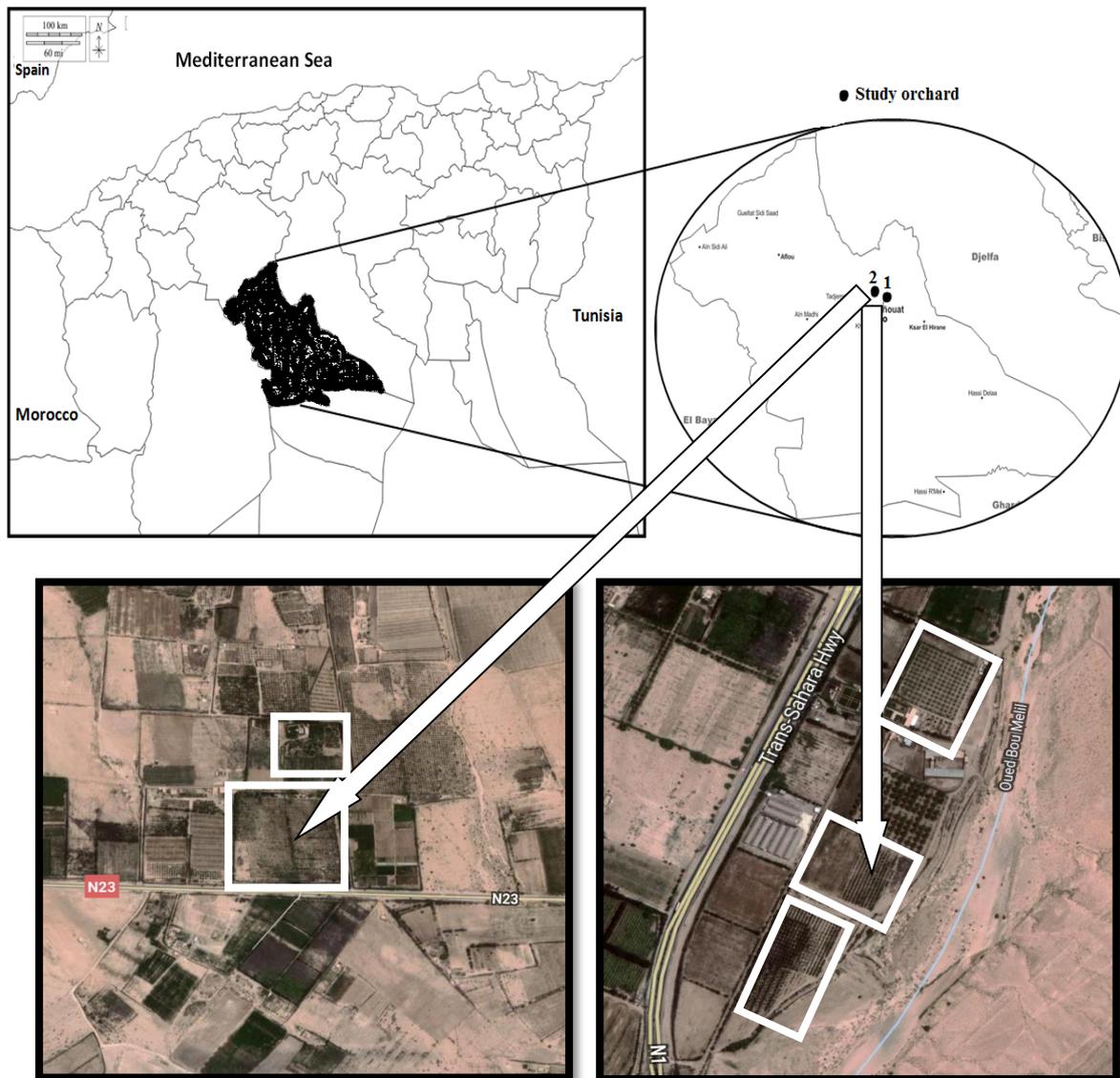


Fig. 22. Localisation géographique de la Wilaya de Laghouat et la situation de la station de Hamda et les deux oliveraies d'étude.

CHAPITRE II :
ETUDE BIOECOLOGIQUE
DE *BACTROCERA OLEAE*

CHAPITRE II : ETUDE BIOECOLOGIQUE DE *BACTROCERA OLEAE*

1. Acquisition des données

Les échantillons ont été prélevés à partir de trois oliveraies ; l'un dans la région de Mascara (station Oued Taghia) durant une période qui s'étale de Juin 2019 à Mai 2020, et les deux autres dans la région de Laghouat (station Hamda) durant une période qui s'étale de Juillet 2019 à Janvier 2022.

Les travaux de laboratoire sont réalisés en Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique (L.R.S.B.G), laboratoires pédagogiques des sciences de la nature et de la vie (Université de Mascara) et les laboratoires des sciences naturelles de l'Ecole Nationale Supérieur de Laghouat (E.N.S.L).

2. Choix des oliveraies et des oliviers

Pour choisir les vergers dans chaque station, notre choix s'est basé sur plusieurs critères :

- Absence des traitements phytosanitaires des oliveraies ;
- La présence des variétés qui sont reconnues par leur qualité et leur meilleure productivité : locales (Sigoise et Chemlal) et les variétés étrangères étudiées seulement dans la région de Laghouat (Sévellane et Dahbia) ;
- Une superficie importante de l'oliveraie (plus de 3 ha) ;
- La disposition régulière des arbres dans les parcelles ;
- un nombre élevé de fruit par arbre.

3. Dynamique des populations des adultes de *B. oleae*

Les populations adultes de la mouche de l'olivier dans la région de Mascara ont été suivies de 2019 à 2020 et dans la région de Laghouat elles ont été suivies de 2019 à 2022.

3.1. Piégeage des adultes de *B. oleae*

Nous avons utilisé un réseau de quatre pièges McPhail en plastique (avec une moitié supérieure transparente et une moitié inférieure jaune) par verger (Fig. 23), ils ont été placés aléatoirement dans une parcelle de 4 ha pour chaque verger avec une distance de 50 à 100 m entre eux (soit environ un piège / 1 ha) (Hamiche, 2015). Les pièges sont appâtés avec une solution aqueuse de 3 % de phosphate diammonium (SIGMA-ALDRICH®) attractive pour les deux sexes (Pavão *et al.*, 2007). Les pièges ont été placés dans les grands arbres bien feuillés pour qu'ils aient une abondance de fruits (Athar, 2005). Chaque piège était attaché à une branche à l'intérieur d'un olivier (Arambourg, 1986), en direction sud-ouest, à la même hauteur que le technicien. Périodiquement, pour éviter que les pièges ne restent vides à cause de l'évaporation, l'appât est ajouté. Tous les dix jours, les mouches piégées sont conservées dans de l'éthanol à 70 % et emmenées au laboratoire. Sous un stéréomicroscope binoculaire (EUROMEX, The Netherlands), elles sont dénombrées et différenciées en sexe mâle et femelle.



Source : originale (2019).

Fig. 23. Piège McPhail.

3.2. Evaluation de l'indice de population (Pi)

Dans chaque oliveraie, le nombre d'insecte capturé dans tous les pièges McPhail est converti en indice de population (Pi), c'est-à-dire le nombre total de captures par piège et par

jour (Gonçalves et al., 2012b). Le sex-ratio sur le terrain est estimé par le ratio (male/total et femelle/total).

4. Etude de l'infestation des fruits

Notre étude de l'infestation des fruits s'est étalée sur une période de Septembre 2019 à Décembre 2019 dans la région de Mascara pour les variétés Sigoise et Chemlal. Alors que dans la région de Laghouat, l'étude de l'infestation s'est étalée de Septembre à Novembre de l'année 2019, 2020 et 2021 pour la variété Dahbia et de Septembre à Novembre de l'année 2020 et 2021 pour Sévillane, Sigoise et Chemlal.

4.1. Échantillonnage des olives

4.1.1. Au terrain

Les échantillons des fruits ont été prélevés sur 5 arbres sélectionnés aléatoirement pour chaque variété d'olivier, 40 olives ont été récoltées au hasard à hauteur de technicien pour chaque arbre à partir de 4 orientations cardinales (nord, sud, est et ouest), en raison de 10 olives pour chaque orientation ; soit 200 drupes ont été prélevées pour chaque variété et date de prélèvement. Les prélèvements des fruits ont été effectués chaque 10 jour.

4.1.2. Au laboratoire

Les olives échantillonnées ont été transportées séparément dans des sacs de prélèvement en plastique en fonction de la date, du lieu, de la variété, de l'arbre et de l'orientation vers le laboratoire. La présence éventuelle des piqûres de ponte et des trous de sortie de l'insecte a été déterminée à l'aide d'une stéréo-microscope binoculaire.

4.2. Estimation du taux d'infestation

Le taux d'infestation de *B. oleae* a été exprimé en pourcentage des olives infestées par rapport au nombre total d'olives récoltées. Selon Burrack et *al.*, (2011), les olives présentant des piqûres de ponte étaient considérées comme infestées.

5. Caractéristiques physiques des fruits

Les caractéristiques physiques des fruits ont été évaluées sur 50 fruits frais choisis aléatoirement pour chaque variété (10 olives par arbre).

5.1. Les olives de la région de Mascara

5.1.1. Calibre des olives

À l'aide d'un pied à coulisse numérique (OEM, Chine) la dimension la plus large a été mesurée en mm pour les deux variétés Sigoise et Chemlal (fig. 24).



Source : originale (2019).

Fig. 24. Mesure de calibre par le pied à coulisse.

5.2. Les olives de la région de Laghouat

5.2.1. L'indice de maturité (MI) des olives

L'indice de maturité a été évalué selon la méthode décrite par le COI (2011). La formule est basée sur un système de ponctuation attribuant à chaque étape de coloration de la peau et de la pulpe des olives une valeur comprise entre 0 et 7. Ainsi, le fruit est classé :

- (0) : si la peau est d'un vert intense ;
- (1) : si la peau est vert jaunâtre ;
- (2) : si la peau présente des taches rouges sur moins de la moitié des fruits ;
- (3) : si la peau est rouge ou violette sur plus de la moitié des fruits ;
- (4) : si la peau est noire et la pulpe blanche ;
- (5) : si la peau est noire et moins de la moitié de la pulpe violette ;
- (6) : si la peau est noire et plus de la moitié de la pulpe violette (sans atteindre le noyau) ;
- (7) : si la peau est noire et la pulpe totale violette (atteignant le noyau).

MI a été calculé comme suit :

$$\text{MI} = (\mathbf{a} \times \mathbf{0} + \mathbf{b} \times \mathbf{1} + \mathbf{c} \times \mathbf{2} + \mathbf{d} \times \mathbf{3} + \mathbf{e} \times \mathbf{4} + \mathbf{f} \times \mathbf{5} + \mathbf{g} \times \mathbf{6} + \mathbf{h} \times \mathbf{7}) / \mathbf{n}$$

Où a, b, c, d, e, f, g et h sont le nombre de fruits des classes 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 respectivement, et n est le nombre total de fruits observés.

5.2.2. Le poids des olives

Chaque olive a été pesée par une balance de précision de 0,01 g pour déterminer son poids

5.2.3. Le volume

Le volume de chaque fruit a été déterminé en utilisant la formule pour une forme ellipsoïde (Burrack et *al.*, 2011) comme :

$$\mathbf{v} = \left(\frac{\mathbf{4}}{\mathbf{3}\pi}\right) \left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\right) \left(\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{2}}\right) \left(\frac{\mathbf{h}}{\mathbf{2}}\right)$$

Par conséquent, trois dimensions ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse numérique avec une précision de 0,01 mm.

- V : volume (cm³)
- (l) : La longueur, c'est-à-dire la distance entre le sommet et la base de l'olive (mm) ;
- (w) : la largeur correspond au point le plus large (mm) ;
- (h) : à 90° de la dimension la plus large (mm).

5.2.4. L'indice de la rondeur et l'élongation (RL)

L'indice de la rondeur et l'élongation exprime la forme du fruit, dont il a été calculé comme suit :

$$RL = \frac{\left(\frac{h + w}{2}\right)}{l}$$

Des valeurs élevées de l'indice de la rondeur et l'élongation indiquent des olives plus sphériques (Burrack et Zalom, 2008).

6. Paramètres bioécologiques de *B. oleae*

Les paramètres de développement de la mouche de l'olivier sont étudiés uniquement en 2020 dans la région de Laghouat.

Pour suivre les paramètres de développement de *B. oleae*, les olives échantillonnées qui se sont avérées infestées, elles sont mises en élevage.

La variété sévillane n'a pas pu être étudiée car ses fruits sont très sensibles au développement des moisissures fongiques pendant leur incubation.

6.1. Les conditions d'incubation des fruits

Les olives infestées ont été incubées dans des conditions de laboratoire de température moyenne environ (21 ± 1 °C en Octobre, 19 ± 3 °C en Novembre et 17 ± 1 °C en Décembre), humidité $60 \pm 5\%$ HR et un régime lumineux 12 : 12 (lumière : obscurité).

6.2. Conduite de l'élevage

Les olives infestées sont déposées sur une passoire d'un maillage suffisamment large pour laisser passer les larves et les pupes. La passoire est déposée sur une cuvette en plastique contenant une couche de sable stérile pour servir de substrat de nymphose. L'ensemble du dispositif était recouvert de tulle pour éviter que les futurs adultes ne s'envolent (Gaouar, 1996). Les pupes sont collectées quotidiennement par tamisage et sont placées séparément dans des boîtes de Pétri étiquetées selon le jour de nymphose et la variété, et incubées jusqu'à l'émergence des adultes (mouche ou parasitoïde) (Fig. 25).



Source : originale (2020).

Fig. 25. Conduite de l'élevage de *B. oleae*.

6.3. Les paramètres bioécologiques étudiés

Les paramètres biologiques de *B. oleae* ont été déterminés par variété d'olive et par mois d'incubation, comme suit :

- Le nombre total des pupes ;
- Le nombre moyen d'individus de *B. oleae* par olive : nous permet de connaître le nombre d'individu qui peut vivre dans la même olive (Bourakna et *al.*, 2022b)

Nombre moyen d'individus par olive =

$$\frac{\text{nombre total de trous de sortie avant l'incubation des olives} + \text{nombre total de trous de sortie après l'incubation}}{\text{nombre total des olives infestées}}$$

- La pupaison : la durée de la nymphose à l'émergence des adultes ;
- Le taux d'émergence :

$$\text{Taux d'émergence} = \frac{\text{nombre total des individus émergées}}{\text{nombre total des pupes}} \times 100$$

- Le sex-ratio (f/t) :

$$\text{Sex - ratio} = \frac{\text{nombre total des femelles émergées}}{\text{nombre total des mouches émergées}} \times 100$$

- Le taux de parasitisme de *B. oleae* :

$$\text{Taux de parasitisme} = \frac{\text{nombre total des parasitoides émergées}}{\text{nombre total des individus émergés}} \times 100$$

7. Analyses statistiques des données

Les données sur le taux d'infestation et les caractéristiques physiques (calibre des fruits, indice de maturité, poids, volume et l'indice de la rondeur et l'élongation) ont été analysées à

l'aide d'une ANOVA à mesures répétées avec « variété » et « date d'échantillonnage » comme effets.

Une ANOVA à deux facteurs a été utilisée pour étudier l'effet de « l'année » et « variété » ainsi que l'effet de « l'orientation cardinale » et « variété » sur le taux d'infestation.

L'analyse de variance ANOVA à un facteur a été utilisée dans chaque paramètre biologique de l'insecte (nombre total de pupes, nombre moyen d'individus de *B. oleae* par olive, pupaison, taux d'émergence, sex-ratio et taux de parasitisme) pour comparer entre les variétés.

Toutes les moyennes ont été séparées à l'aide du test de différence honnêtement significative (HSD) de Tukey ou du *test t* indépendant.

Des corrélations de Pearson ont été appliquées pour mesurer le degré de relation entre le taux d'infestation avec les caractéristiques physiques (calibre des fruits, indice de maturité, poids, volume et l'indice de la rondeur et l'élongation) pour chaque variété.

Avant l'analyse, toutes les données ont été soumises à un test de normalité. Lorsque nous avons des données qui ne sont pas normales, ces données ont été normalisées à l'aide de l'élimination des valeurs aberrantes.

Le niveau significatif pour toutes les analyses était de 0,05. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS (version 21).

CHAPITRE III :
ETUDE ET ESSAIS DE
LUTTE BIOLOGIQUE
CONTRE *BACTROCERA*
OLEAE

Chapitre III : ESSAIS DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE *BACTROCERA OLEAE*

Cette étude a pour objectif de proposer un programme de lutte biologique contre *B. oleae* comme alternative à la lutte chimique.

1. Effet bio-insecticide de l'huile essentielle de L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) vis à vis les adultes de *Bactrocera oleae*

1.1. Matériel animal

Les adultes de la mouche de l'olivier (*B. oleae*) ont été identifiées par le Pr F. ASSIA (Département d'Agronomie, Université de Mascara). Les mouches des fruits de l'olivier utilisées provenaient des olives infestées collectées aléatoirement dans les oliveraies situées dans la région de Laghouat (33°51'55"N 2°51'19"E, 33°50'40 "N 2°45'49"E et 33°53'17"N 2°28'10"). L'élevage maintenait au laboratoire sous des conditions contrôlées de température $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et humidité relative $65 \pm 5\%$ et une photopériode 12:12 [lumière : obscurité] heures pour favoriser une émergence progressive des adultes.

Les olives piquées ont été incubées comme c'est décrit par la méthode Gaouar (1996) et expliquée dans la page 60.

Les pupes ont été collectées quotidiennement par tamisage et stockées dans des récipients cylindriques transparents en plastique (10 cm de diamètre et 20 cm de hauteur) recouverts de tulle et fournis par un morceau d'éponge jaune ou orange dans leur côté pour l'imbiber par une solution nutritive (Fig. 26).

Les mouches adultes ont été nourries avec un régime constitué d'une solution de protéine (poudre de pois chiche) : sucre (1 : 3) (Fletcher et Kapatós, 1983). Les adultes étaient sélectionnés au hasard (non sexués) pour être utilisés dans les essais biologiques, ils sont âgés de 5 à 10 jours.



Source : originale (2021).

Fig. 26. Dispositif d'élevage des adultes de *B. oleae*.

1.2. Matériel végétal

1.2.1. Choix de la plante

Cette espèce a été choisie en raison de sa disponibilité dans notre région, aussi son huile essentielle est caractérisée par plusieurs propriétés biologiques comme anti-oxydantes, antifongiques, antimicrobiennes et insecticides.

Le matériel végétal a été identifié par le Dr K. RIGHI (Département d'Agronomie, Université de Mascara) et un spécimen de référence a été déposé à l'Herbier de l'Université de Mascara avec le code HAM0279.

1.2.2. Préparation des échantillons

Les feuilles de l'*Eucalyptus globulus* (environ 2 kg) ont été obtenues à partir des arbres cultivés en bordure de l'oléiculture dans la ferme expérimentale de l'Université de Mascara (35°22'31"N 0°11'08"E). Les feuilles des plantes ont été récoltées durant l'hiver 2020. Elles sont nettoyées et rincées immédiatement à l'eau et séchées au laboratoire à température ambiante et à l'obscurité dans un endroit bien aéré jusqu'à ce que les poids soient constants

pendant 10 jours. Une fois séchées, elles sont coupées en petits morceaux et conservées dans des sacs en papier jusqu'à leur utilisation.

1.3. Méthode d'extraction et conservation d'huile essentielle

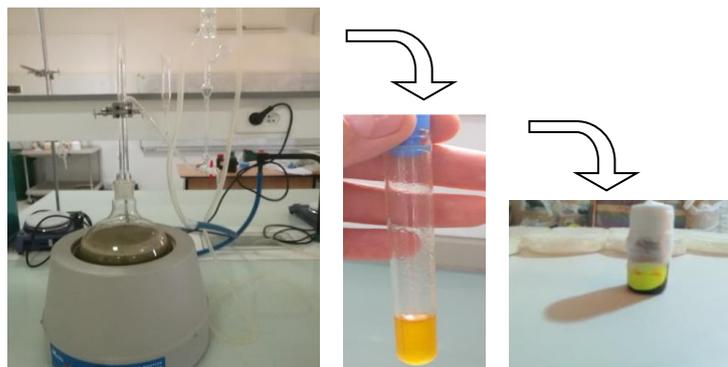
1.3.1. Méthode d'extraction

Les huiles essentielles ont été extraites par la méthode d'hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger (ISOLAB, Germany), qui permet le recyclage de la phase aqueuse du distillat dans le bouilleur. 100g de feuilles séchées et broyées ont été introduites dans un ballon en verre de 2 L, contenant 1 L d'eau distillée. L'ensemble a été ensuite porté à ébullition à température supérieure à 100 °C pendant 3h, à l'aide d'une chauffe ballon (Fig. 27).

Les huiles essentielles récupérées ont été séchées par du sulfate de sodium anhydre (Na₂SO₄) pour éliminer le peu de l'eau qui reste.

1.3.2. Conservation des huiles

Les huiles essentielles ont été stockées dans des bouteilles ombrées, en verre, fermées hermétiquement, avec un bouchon interne et un autre externe à vis, le bouchon externe a été bien fermé par un parafilm. Les bouteilles ont été emballées avec du papier aluminium pour éviter toute dégradation des molécules par la lumière (Fig. 27). Elles ont été ensuite conservées à -4 °C jusqu'au moment de la réalisation des tests biologiques et à l'analyse chromatographique.



Source : originale (2021).

Fig. 27. Dispositif d'extraction des huiles essentielles d'*E. globulus*.

1.3.3. Calcul du rendement

Les huiles obtenues ont été pesées après leur récupération, le rendement en huile essentielle a été exprimé en pourcentage (p/p) et calculé pour chaque répétition selon la formule suivante :

$$\text{Rendement} = \frac{P2}{P1} \times 100$$

P1 : poids de la matière végétale sèche ;

P2 : poids de l'huile essentielle récupérée.

1.4. Méthode d'analyse chromatographique et d'identification des composants d'huile essentielle

1.4.1. Analyse par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (GC/MS)

L'analyse de l'huile essentielle a été réalisée au Plateau Technique d'Analyses Physico-Chimiques (PTAPC-CRAPC)-Laghouat-Algérie, à l'aide d'un Instrument SHIMADZU GCMS-QP2020, équipé d'une colonne capillaire Rxi[®]-5ms fusionnée (Phase : Crossbond[®] 5%

diphényl/ 95% diméthyl polysiloxane), ses dimensions sont : 30 m × 0,25 mm et 0,25 µm d'épaisseur de film. Cette colonne a une phase similaire aux colonnes suivantes : HP-1ms, HP-1msUI, DB-1ms, DB-5ms, DB-1msUI, Ultra-1, VF-1ms, ZB-1, ZB-1ms et également considéré comme équivalent aux phases USP G1, G2, G38. Un volume de 0,5 µL de solution préparée à 10% en volume de la dilution de l'échantillon dans du n-hexane a été injecté en mode fractionné (80 : 1). Les températures de l'injecteur et du détecteur ont été maintenues à 250°C et 310°C, respectivement et la température de la colonne a été programmée à : 60 °C fixe pendant 3 min puis augmentée à 310 °C avec un incrément de 2 °C/min, puis maintenue à 310°C pendant 10 min. Le gaz porteur utilisé était de l'hélium (pureté 99,995 %) avec un débit de 1 mL/min.

Les conditions du spectromètre de masse étaient les suivantes : tension d'ionisation 70 eV, température de la source d'ions 200°C et les spectres de masse d'ionisation électronique ont été acquis sur la plage de masse de 45-600 m/z.

1.4.2. Identification des composants d'huile essentielle

Les indices de rétention linéaire (LRI) ont été calculés pour des composés séparés par rapport à une série de n-alcanes homologues (n-C7-C20). Pour identifier les composants, leurs (LRI) calculés ont été comparés à ceux de la littérature (Babushok et *al.*, 2011 ; Adams, 2007) ainsi que leurs spectres de masse à ceux enregistrés par le NIST (National Institute of Standards and Technology) et Wiley bibliothèques "NIST17.lib, W11N17MAI et FFNSC1.2.lib". L'identification de cette huile a été réalisée au niveau du Plateau Technique d'Analyses Physico-Chimiques (PTAPC-Laghouat-CRAPC)).

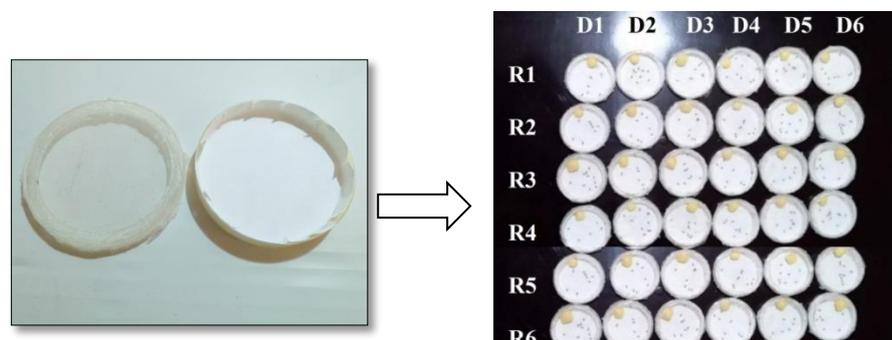
1.5. Effet bio-insecticide d'*E. globulus* vis-à-vis *B. oleae*

1.5.1. Test de l'effet bio-insecticide par contact

Le test de toxicité par contact a été réalisé dans des boîtes de Petri aux dimensions suivantes : 9 cm de diamètre, 1,5 cm de hauteur, contenant du papier filtre (PRATE DUMAS, France) qui recouvre toute la surface de la boîte. Les solutions testées ont été ajustées par une dilution de 10, 15, 20, 25, 30 et 35 μL d'huile essentielle dans 1 mL d'acétone (pureté 99,8 %, VWR CHIMICALS, France) fournissant des concentrations correspondantes de 0,094, 0,14, 0,18, 0,23, 0,28 et 0,33 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$, respectivement. Tout le volume de chaque dilution a été appliqué uniformément sur le total de papier filtre à l'aide d'une micropipette (SCIOLOGEX, LLS, Berlin, USA). La boîte de Pétri témoin a été traitée avec 1 mL d'acétone seule. Tous les papiers filtres et le témoin ont été séchés à l'air pendant 10 minutes pour permettre l'évaporation de l'acétone.

10 adultes ont été introduits dans chaque boîte de Pétri recouverte avec un couvercle en tulle. Six répétitions ont été effectuées pour chaque traitement (Fig. 28). Les insectes traités ont été maintenus sous des conditions contrôlées de laboratoire.

Les mortalités des adultes ont été déterminées après 24 h et 48 h. Les adultes étaient considérés comme morts lorsqu'ils ne présentaient aucun mouvement d'appendice après une stimulation avec une aiguille.

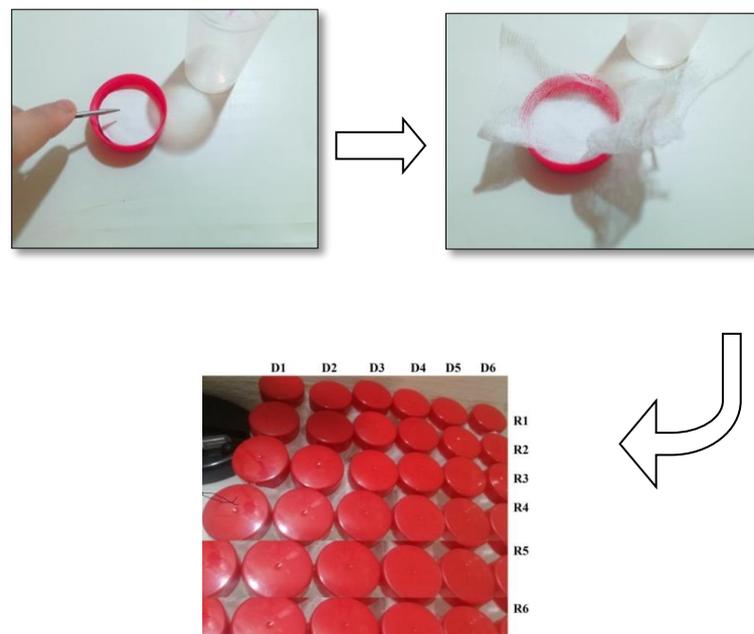


Source : originale (2021).

Fig. 28. Test biologique de toxicité par contact.

1.5.2. Test de l'effet bio-insecticide par fumigation

Le test biologique de toxicité par fumigation a été effectué dans des bocaux en plastique hermétiques (88,11 mL) fermés avec des bouchons à vis. Des papiers filtres ont été fixés à la surface inférieure des bouchons après un traitement avec différentes doses d'huile essentielle en présence d'un témoin traité à l'acétone seule. Les solutions testées ont été ajustées par une dilution de 0,4, 0,6, 0,8, 1,2, 1,6 et 2,2 μL d'huile essentielle dans 0,5 mL d'acétone fournissant des concentrations correspondantes de 4,54, 6,80, 9,08, 13,62, 18,16 et 24,96 $\mu\text{L/L}$ d'air. Le papier filtre traité a été protégé par une compresse stérile de gaz pour empêcher le contact direct entre l'huile et l'insecte (Benelli *et al.*, 2012). Après 10 min, une fois l'acétone évaporée, 10 adultes ont été déposés dans chaque bocal et hermétiquement scellés et maintenus sous des conditions d'élevage en laboratoire. Six répétitions ont été effectuées pour chaque traitement (Fig. 29). Après 24 h et 48 h, la mortalité des adultes a été déterminée lorsqu'ils n'ont montré aucun mouvement d'appendice.



Source : originale (2021).

Fig. 29. Test biologique de toxicité par fumigation.

2. Activité entomopathologique de *B. thuringiensis* vis à vis les adultes de *B. oleae*

L'utilisation des microorganismes entomopathogènes en tant que pesticides microbiens a montré un grand potentiel contre les ravageurs agricoles. Cette étude vise à évaluer l'efficacité d'une formulation commerciale de *Bacillus thuringiensis* B-401® contre *B. oleae* dans des conditions de laboratoire.

2.1. Détails du produit (B-401®)

B-401® est un produit biologique représenté par un liquide, il est disponible sur le marché Algérien. Le B-401® est un bio-insecticide à base de *Bacillus thuringiensis* Berliner sérotype *aizawai* contenant 3500 unités GM (8,500 IU/mg), très efficace contre les larves de la fausse teigne des ruches (*Galleria mellonella*), inoffensif pour l'apiculteur et pour l'abeille mellifère (Fig. 30). Pour être utilisé, il doit être dilué avec 5 % d'eau (soit 1 volume de B-401 pour 19 d'eau).



Source : originale (2021).

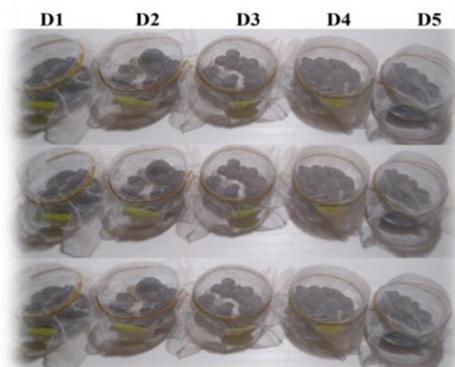
Fig. 30. Formulation commerciale de l'insecticide biologique de B-401®.

2.2. Effet de bio pesticide commercial B-401® par ingestion vis à vis *B. oleae*

Nous avons essayé d'appliquer ce bio pesticide contre les adultes de *B.oleae* dans les conditions de laboratoire.

Un essai biologique de toxicité par ingestion a été effectué dans des petits récipients cylindriques transparents en plastique (95,03 cm³), contenant des olives.

Les solutions testées ont été ajustées par une dilution de 50, 100, 200, 300 et 400 uL de bio insecticide B-401[®] dans 1 mL d'une solution nutritive de protéine (poudre de pois chiche) : sucre (1 : 3), qui correspond à des concentrations de 5, 10, 20, 30, 40 %, respectivement. Tout le volume de chaque dilution a été imbibé par un morceau d'éponge jaune et les mis sur les olives. Les éponges traitées au B-401[®] sont utilisées une seule fois, les adultes sont ensuite nourries avec la solution nutritive sans B-401[®]. Le récipient témoin consiste en une éponge imbibée avec 1 mL de solution nutritive seule. 10 adultes ont été déposés dans chaque récipient. Les insectes traités ont été issus par les adultes qui sont émergées lors de l'élevage (voir la page 64) et maintenus dans des conditions d'élevage en laboratoire. Tous les récipients étaient recouverts de tulle. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque concentration. La mortalité des adultes a été vérifiée quotidiennement pendant six jours. (Fig. 31).



Source : originale (2021).

Fig. 31. Essai biologique de toxicité par ingestion.

3. Analyses statistiques des données

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

Dans les tests biologiques de toxicité par huile essentielle, la mortalité des témoins de *B. oleae* était de zéro. Par conséquent, les mortalités n'ont pas été corrigées par la formule d'Abbott. Cependant, le taux de mortalité des adultes exposées au test biologique de toxicité par bio-insecticide (B-401[®]) a été corrigé à l'aide de la formule d'Abbott (Abbott, 1925) :

$$\text{Formule d'Abbott : } CM \% = \frac{M2-M1}{100-M1} \times 100$$

Avec :

- CM% = pourcentage de mortalité corrigée.
- M2 = pourcentage de mortalité chez les adultes traitées.
- M1 = pourcentage mortalité chez les témoins.

3.2. Analyses des variances ANOVA

Pour chaque test biologique de toxicité, l'effet de la concentration, du temps d'observation et de leur interaction sur la mortalité des adultes ont été analysées à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées. Le test post-hoc de LSD a été appliqué pour comparer le taux de mortalité entre les différentes concentrations et les différents temps d'observation à $P = 0,05$.

3.3. Détermination des concentrations et des temps létaux (LC et LT)

Les données ont été soumises à une analyse Probit (Finney, 1978) ; les concentrations et les temps sont transformés en logarithmes décimaux et les pourcentages de mortalité sont transformés en probit. L'équation de régression ($Y = ax + b$), Chi^2 (χ^2) et les LCs (50 et 90) et les LTs (50 et 90) avec les intervalles de confiance (CI) à 95 % ont été calculés.

Toutes les analyses statistiques ont été traitées à l'aide du logiciel statistique SPSS version 21.0.

PARTIE III :
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

CHAPITRE I :
ETUDE BIOECOLOGIQUE
DE *BACTROCERA OLEAE*

CHAPITRE I : ETUDE BIOECOLOGIQUE DE *BACTROCERA OLEAE***• Résultats****1. Dynamique des populations des adultes de *B. oleae*****1.1. Dans la région de Mascara (station Oued Taghia, 2019-2020)**

L'activité de vol de *B. oleae* était répartie tout au long de l'année. La dynamique des vols des adultes a montré cinq pics majeurs, qui correspondent aux nombres des générations (Fig. 32).

Les premières mouches dans la station d'Oued Taghia ont été capturées le 23 Juin 2019 avec un indice de population P_i de 0,12 mouches/piège/jour. Ainsi, le premier pic est apparu le 13 Juillet 2019 avec P_i de 0,3 mouches/pièges/jour). A partir de cette date, le nombre des individus a diminué et a coïncidé avec l'augmentation de la température et la baisse de l'humidité (période estivale) (Fig. 15, page 39 et Fig. 16, page 41). En Septembre, le niveau de la population a augmenté relativement avec la baisse de la température et l'augmentation de l'humidité (Fig. 15, page 39 et Fig. 16, page 41), formant une succession de 3 générations automne-hivernales : le 03 Septembre nous avons dénombré (0,70 mouches/pièges/jour), le 03 Novembre (2,4 mouches/pièges/jour) et le 23 Décembre (0,70 mouches/pièges/jour). La valeur de l'indice de population a diminué dès la fin de Décembre à Février où la température durant cette période est ≤ 10 °C (Fig. 15 voir page 39), ce qui correspond à un facteur limitant. La 5^{ème} génération est la génération printanière, elle est apparue le 03 Mars 2020 avec 0,80 mouches/pièges/jour.

Le sex-ratio était constamment en faveur des mâles (0,63 pour les mâles et 0,37 pour les femelles).

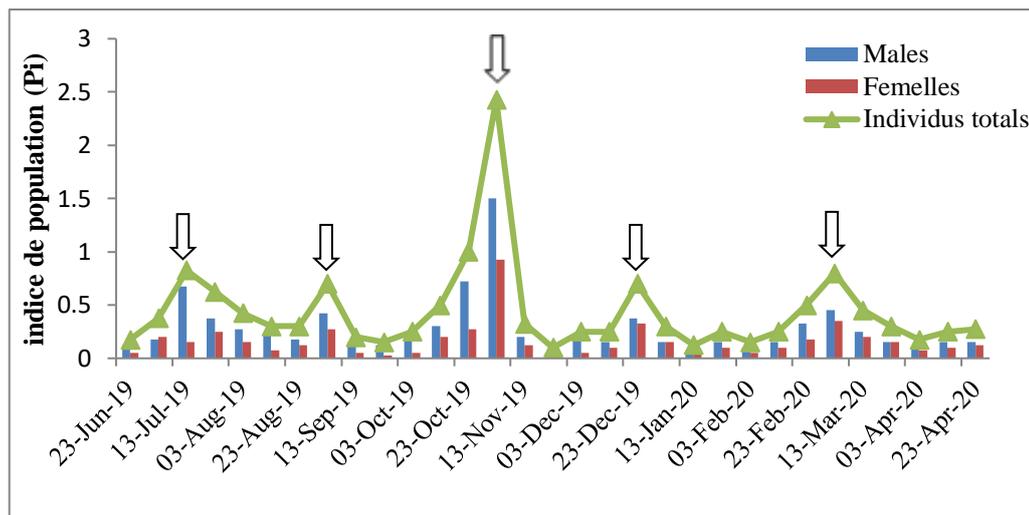


Fig. 32. Indices de population Pi (mouche/piège/jour) (total, mâle et femelle) de la mouche de l'olive, durant la période d'étude.

1.2. Dans la région de Laghouat (station Hamda, 2019-2022)

Les données de l'activité du vol de *B. oleae* durant toute la période d'étude dans les deux oliveraies expérimentales sont représentées par Pi sur les figures 33, 34A, 34B. Nous avons remarqué que les fluctuations de la population des adultes sont presque similaires dans les deux oliveraies en ce qui concerne la date et le nombre des pics.

Au cours de la période estivale de Juillet à Août, l'activité des mouches adultes était nulle pour les trois campagnes d'étude et la reprise de vol est notée à la fin d'été et le début d'automne.

Les captures des adultes ont commencé le début de Septembre 2019, la fin d'Août 2020 et la fin de Septembre 2021. A partir de ces dates, les populations des adultes de *B. oleae* ont augmenté relativement dans le temps, en formant deux pics qui représentaient deux générations automne-hivernales successives, les premiers pics ont été enregistrés le 08/11/2019 pour la première campagne, le 25/10/2020 pour la deuxième campagne et le

05/11/2021 pour la troisième campagne et les deuxièmes pics ont été observés le 28/12/2019, le 16/12/2020 et le 25/12/2021.

La valeur de l'indice de population a diminué de la fin du mois de Décembre à la fin de Janvier au cours des trois campagnes. Une reprise de vol est notée en Février 2020 et 2021, en formant une succession de deux nouveaux pics le 03/03/2020 et le 04/05/2020 pour la première campagne et le 17/02/2021 et le 02/04/2021 pour la deuxième campagne (Fig. 33).

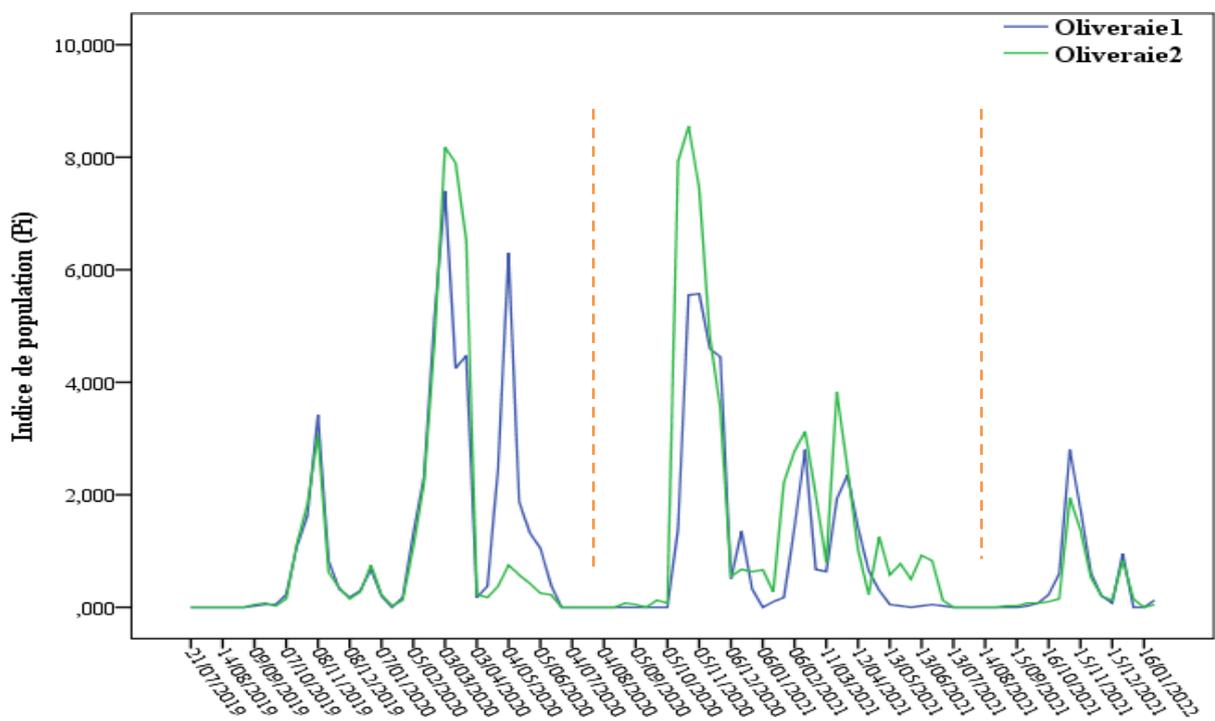


Fig. 33. Indice de population (Pi) (mouche/piège/jour) de *B. oleae*, durant la période d'étude.

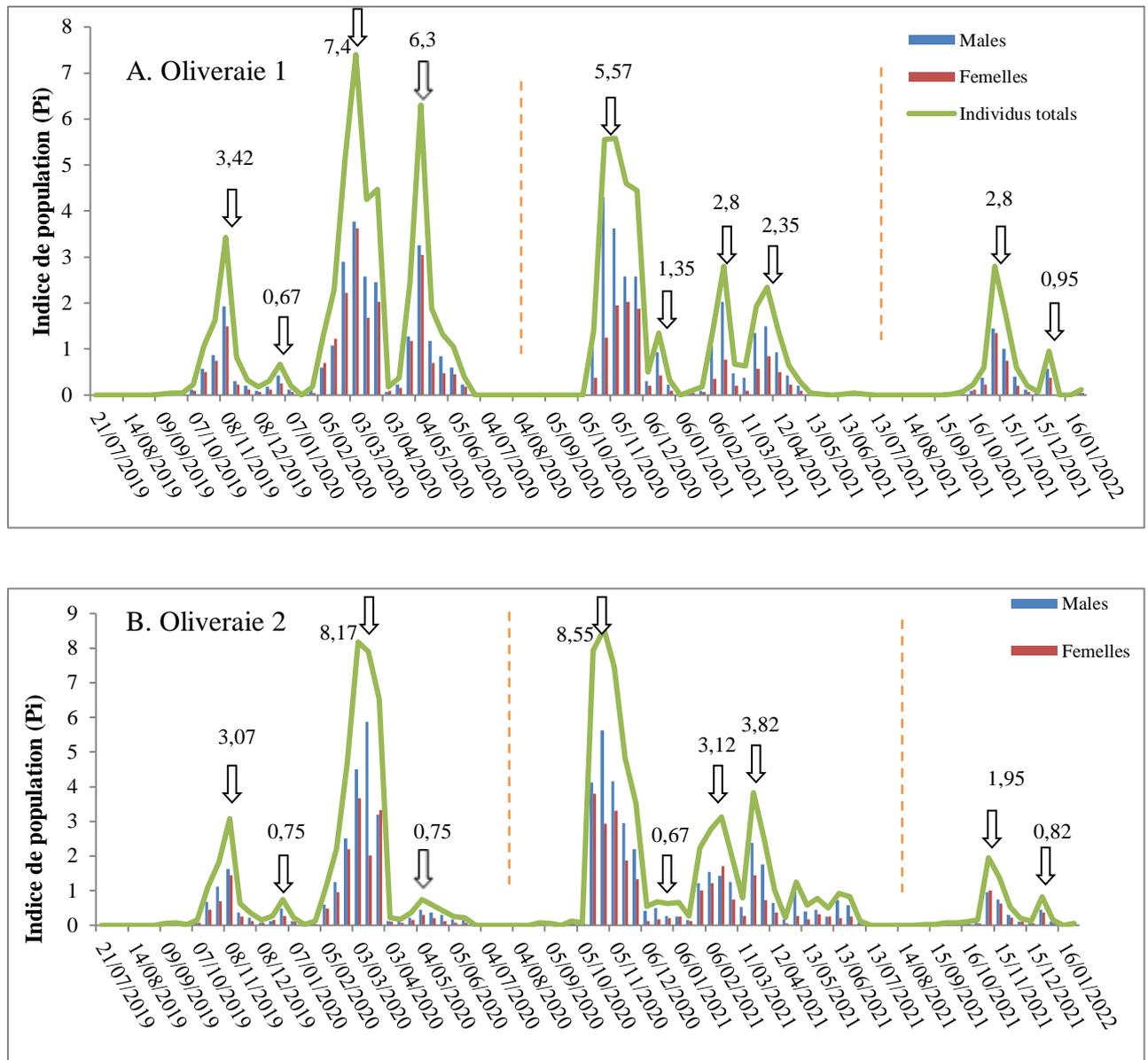


Fig. 34. Indices de population Pi (total, mâle et femelle) de *B. oleae*, durant la période d'étude. A : oliveraie 1 et B : oliveraie 2.

Le sex-ratio était légèrement en faveur des mâles durant les trois campagnes, pour les deux oliveraies (Tab. 9 et Fig. 34A et B).

Tab. 9. Le sex-ratio durant les trois campagnes, pour les deux oliveraies.

	Oliveraie 1		Oliveraie 2	
	Sex-ratio pour mâle	Sex-ratio pour femelle	Sex-ratio pour mâle	Sex-ratio pour femelle
Campagne 2019-2020	0,55	0,45	0,59	0,41
Campagne 2020-2021	0,68	0,32	0,60	0,40
Campagne 2021-2022	0,57	0,43	0,54	0,46

2. Estimation du taux d'infestation des olives

2. 1. Dans la région de Mascara (station Oued Taghia)

2.1.1. Variation du taux d'infestation

Le taux d'infestation est significativement différent entre les variétés ($F= 26,28$, $ddl= 1$, $p< 0,0001$), selon la date d'échantillonnage ($F= 238,02$, $ddl= 6,46$, $p< 0,0001$) et selon leur interaction ($F= 7,79$, $ddl= 6,46$, $p< 0,0001$). Le taux d'infestation de la variété Sigoise était supérieur à celui de Chemlal. Nous avons noté le début du mois de Septembre un taux d'infestation qui était faible ($11,50 \pm 1,66 \%$, $7,00 \pm 1,27 \%$) respectivement pour les deux variétés Sigoise et Chemlal. Alors qu'à partir du 03 Octobre, l'infestation a augmenté pour la variété Sigoise, tandis que pour Chemlal, l'augmentation de l'infestation était modérée. En mois de Décembre nos résultats ont montré une forte infestation de la variété Chemlal qui a atteint une valeur élevée au moment de la récolte (78 %), ce résultat est proche de celui de la variété de Sigoise (84 %) (Fig. 35 et tab. 1-annexe 1).

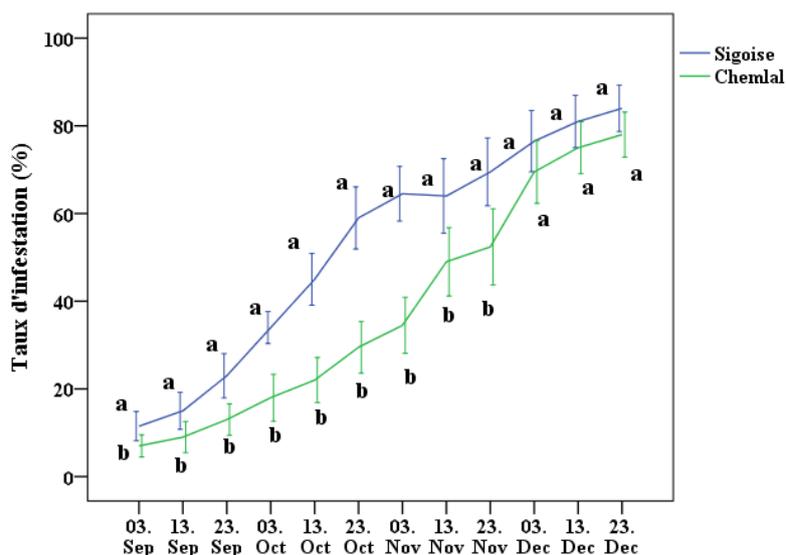


Fig. 35. Taux d'infestation (%) des deux variétés par *B. oleae* en 2019. Pour chaque date, les moyennes (moyenne \pm SE) suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau $P < 0,05$ selon le *test t* indépendant.

2.1.2. Variation du taux d'infestation selon les orientations cardinales de l'arbre en fonction des variétés

Dans l'olivieraie d'oued Taghia (Mascara), l'analyse ANOVA a deux facteurs a montré qu'il existe une différence significative de l'infestation entre les orientations cardinales de l'arbre tout au long de la période d'étude ($F = 44,03$, $ddl = 3$, $p = 0,006$) et entre les variétés ($F = 111,28$, $ddl = 1$, $p = 0,002$), alors que leur interaction n'a pas été jugée significative pour l'infestation ($F = 0,29$, $ddl = 3$, $p = 0,83$). Les tests posthoc de Tukey ont montré que la direction Nord est la moins infestée par la mouche de l'olivier dans les deux variétés, mais il n'y a pas de différence significative entre les autres orientations (Est, Sud et Ouest) (Fig. 36).

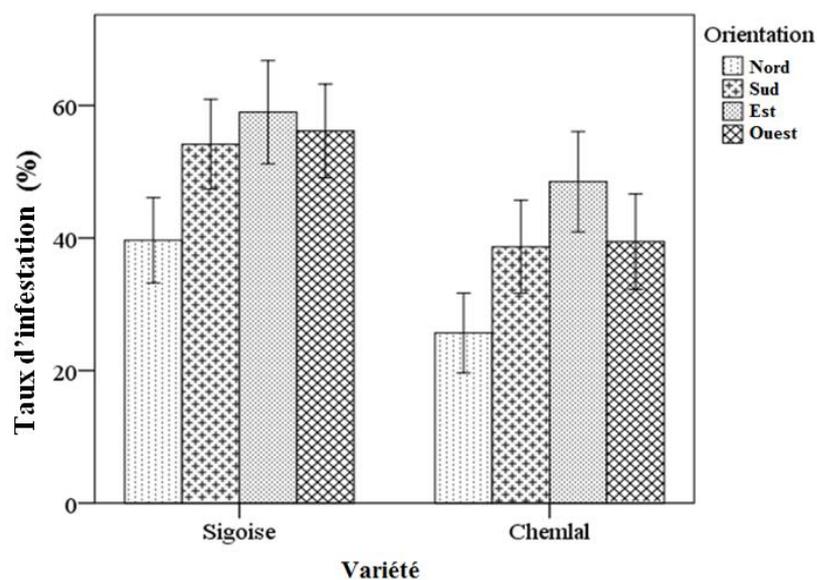


Fig. 36. Variations du taux d'infestation (moyenne \pm E.S) des olives en fonction de l'orientation cardinale de l'arbre.

2.2. Estimation du taux d'infestation dans la région de Laghouat (station Hamda)

Durant la campagne 1 (2019), la campagne 2 (2020) et la campagne 3 (2021), l'infestation de toutes les variétés a débuté le mois de Septembre. Nous avons enregistré des taux d'infestation qui augmentent progressivement jusqu'à atteindre des valeurs maximales la fin du mois de Novembre (moment de la récolte) (tab. 2-annexe 1).

2.2.1. Variation du taux d'infestation selon la variété en fonction du temps

Selon les résultats consignés dans le tableau 10, nous avons constaté qu'au cours des deux campagnes 2020 et 2021, il y a des différences significatives dans les taux d'infestation entre les variétés, selon la date d'échantillonnage et l'interaction entre eux.

Tab. 10. Effet de la variété et de la date d'échantillonnage sur le taux d'infestation des fruits durant l'année 2020 et 2021 (ANOVA avec Mesures répétées).

Variable	Facteur	ddl	F	p
Campagne 2020	Date d'échantillonnage	7,05	1148,33	<0,0001
	Variété	3	84,92	<0,0001
	Interaction	21,15	8,93	<0,0001
Campagne 2021	Date d'échantillonnage	7,64	514,77	<0,0001
	Variété	3	137,07	<0,0001
	Interaction	22,94	6,55	<0,0001

Il est à noter que le taux d'infestation est resté toujours plus élevé sur la variété Sévillane et plus faible sur la variété Chemlal. A partir du 26 Octobre, le taux d'infestation n'avait pas de différence significative et parfois il y avait une légère différence significative entre les variétés. Cependant, durant la date avant la récolte (le 27 Novembre) il y avait une différence significative entre Sévillane et Chemlal (Fig. 37).

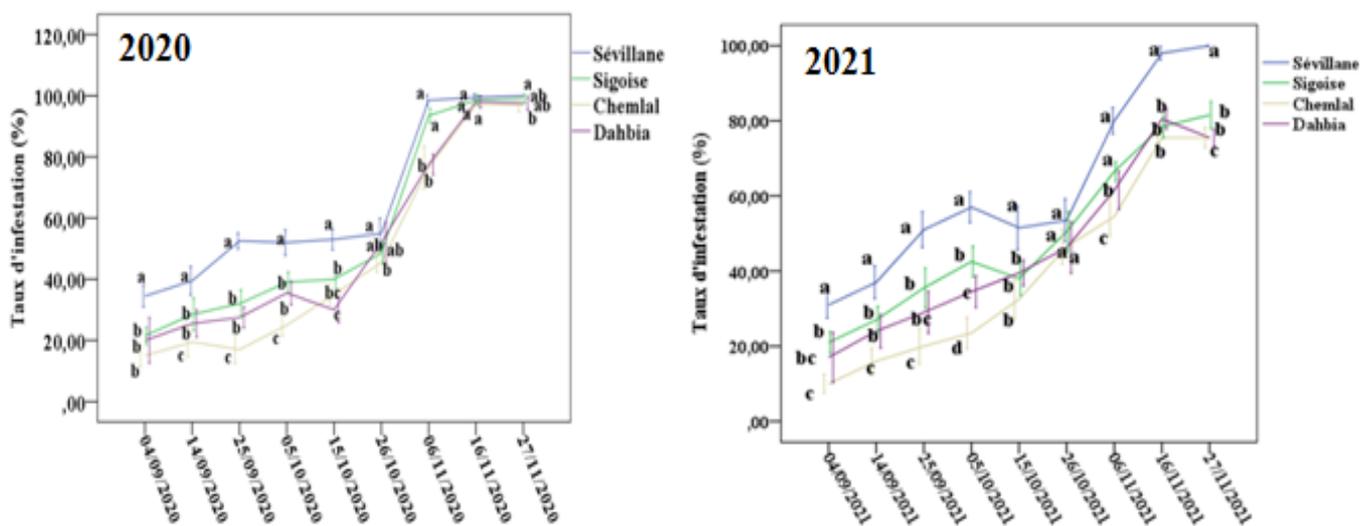


Fig. 37. Taux d'infestation (%) de Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia en 2020 et 2021.

Pour chaque date, les moyennes (moyenne ± SE) suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau $P < 0,05$ selon le test HSD de Tukey.

2.2.2. Estimation du taux d'infestation selon l'année en fonction des variétés

Les taux d'infestation des olives différaient significativement d'une année à l'autre ($F=9,23$, $ddl=2$, $p < 0,0001$) et selon les variétés ($F=35,46$, $ddl=3$, $p < 0,0001$). L'interaction entre les deux facteurs n'était pas significative ($F=0,61$, $ddl=5,25$, $p=0,60$). Des tests post-hoc ont montré que durant l'année 2020 l'infestation était significativement différente et supérieure à celle des années 2019 et 2021 à partir du mois de Novembre (Fig. 38).

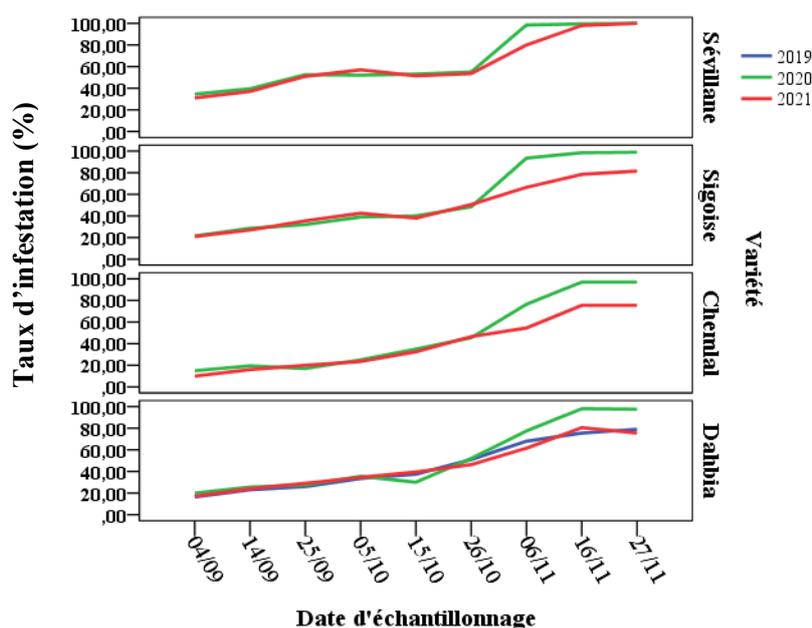


Fig. 38. Taux d'infestation des olives (%) selon l'année et variété.

2.2.3. Estimation du taux d'infestation selon les orientations cardinales de l'arbre en fonction des variétés

Durant toutes les campagnes, Il n'y avait pas de différences significatives dans les taux d'infestation entre les orientations cardinales de l'arbre ($F=2,02$, $ddl=3$, $p=0,10$) ni pour l'interaction des orientations cardinales \times variétés ($F=0,21$, $ddl=9$, $p=0,29$), cependant la différence était significative entre les variétés ($F=35,23$, $ddl=3$, $p < 0,0001$) (Fig. 39).

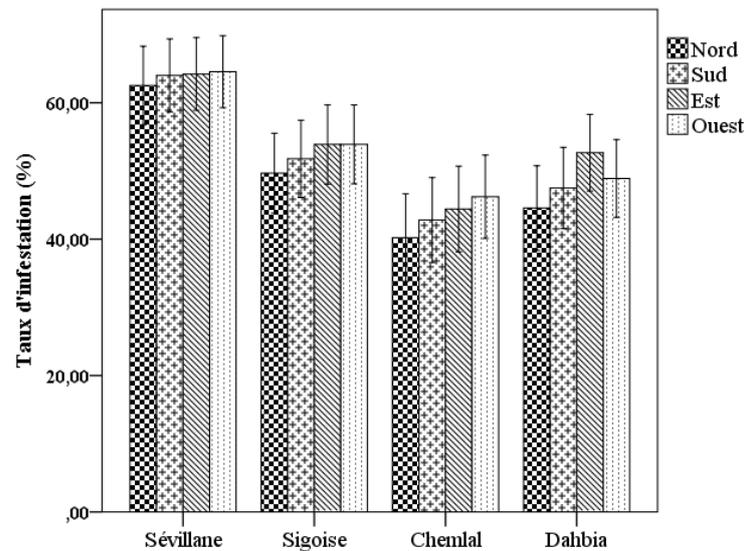


Fig. 39. Variations du taux d'infestation (moyenne \pm E.S) des olives en fonction de l'orientation cardinale de l'arbre.

3. Caractéristiques physiques des fruits

3.1. Estimation du calibre des olives dans la région de Mascara (station Oued Taghia)

Le calibre des fruits différait significativement selon la variété ($F= 1743,06$, $ddl= 1$, $p< 0,0001$), la date d'échantillonnage ($F= 295,62$, $ddl= 10,16$, $p< 0,0001$) et l'interaction entre les deux facteurs ($F= 49,87$, $ddl= 10,16$, $p< 0,0001$). Tout au long de la période d'étude le calibre des fruits est plus important chez la variété Sigoise par-rapport à la variété Chemlal. Nous avons également noté une augmentation rapide du calibre chez la variété Sigoise et une légère augmentation chez la variété Chemlal (Fig. 40 et Tab. 3-annexe 2).

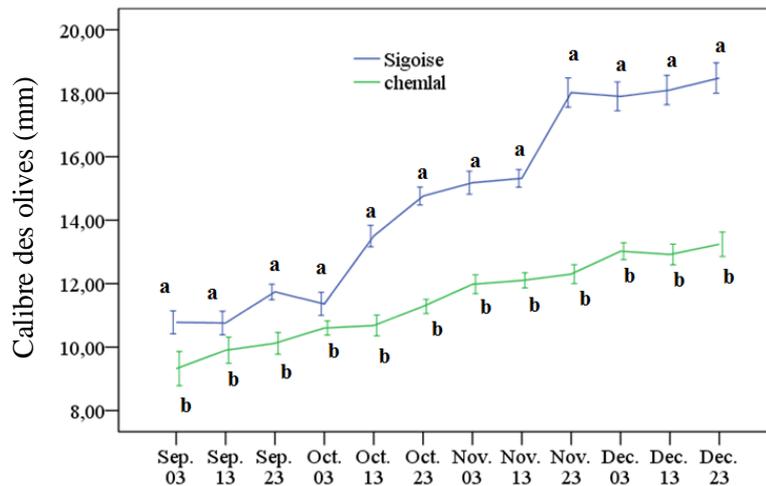


Fig. 40. Calibre des olives (mm) des deux variétés en 2019. Pour chaque date, les moyennes (moyenne \pm SE) suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau $P < 0,05$ selon le *test t* indépendant.

3.2. Etude des caractéristiques physiques des fruits dans la région de Laghouat (station Hamda)

Les données des caractéristiques physiques des olives (indice de maturité, poids, volume et indice de la rondeur et l'élongation) durant la campagne 2020 sont représentées par la figure 41 et le tableau 4-annexe 2

L'indice de maturité, le poids, le volume et l'indice de la rondeur et l'élongation différaient significativement selon les variétés, la date d'échantillonnage et leur interaction (Tab. 11)

Tab. 11. Effets de la variété et de la date d'échantillonnage sur l'indice de maturité, le poids, le volume et l'indice de la rondeur et l'élongation en 2020 (ANOVA avec Mesures répétées).

Variable	Facteur	<i>ddl</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Indice de maturité (MI)	Variété	3	131.49	<0.0001
	Date d'échantillonnage	6.48	565.61	<0.0001
	Interaction	19.46	11.69	<0.0001
Poids	Variété	3	2646.70	<0.0001
	Date d'échantillonnage	5.44	75.31	<0.0001
	Interaction	15.61	11.75	<0.0001
Volume	Variété	3	6069.71	<0.0001
	Date d'échantillonnage	6.86	44.80	<0.0001
	Interaction	20.60	6.06	<0.0001
Indice de la rondeur et l'élongation	Variété	3	472.95	<0.0001
	Date d'échantillonnage	7.64	4.00	<0.0001
	Interaction	5.98	22.92	<0.0001

3.2.1. Estimation de l'indice de maturité (MI) des olives

Le 04 Septembre, les variétés Sigoise et Dahbia étaient similaires en MI qui était proche de 0 (fruits à épiderme vert). Sévillane et Chemlal étaient similaires en MI qui était proche de 1 (fruits avec épiderme vert jaunâtre). A partir de cette date, les valeurs de MI ont augmenté rapidement pour Sévillane par rapport aux autres variétés qui ont légèrement évolué. Au 27 Novembre, les fruits présentaient des valeurs de MI de $4,24 \pm 0,10$ chez Sévillane, $3,82 \pm 0,10$ chez Sigoise, $3,60 \pm 0,07$ chez Chemlal et $4,08 \pm 0,06$ chez Dahbia (Fig. 41 A).

3.2.2. Estimation du poids et du volume des olives

En général, le poids et le volume des variétés augmentaient avec le temps surtout chez la Sévillane. Les olives de cette variété étaient significativement plus grandes en volume et en poids que toutes les autres variétés. Sigoise et Dahbia avaient des olives de taille moyenne, tandis que les olives Chemlal étaient les plus petites (Fig. 41 B et C).

3.2.3. Estimation de l'indice de la rondeur et l'élongation (RL)

Les données sur l'indice de RL ont montré que les olives de Sévillane étaient les plus sphériques que toutes les autres variétés pendant toute la saison (Fig. 41 D).

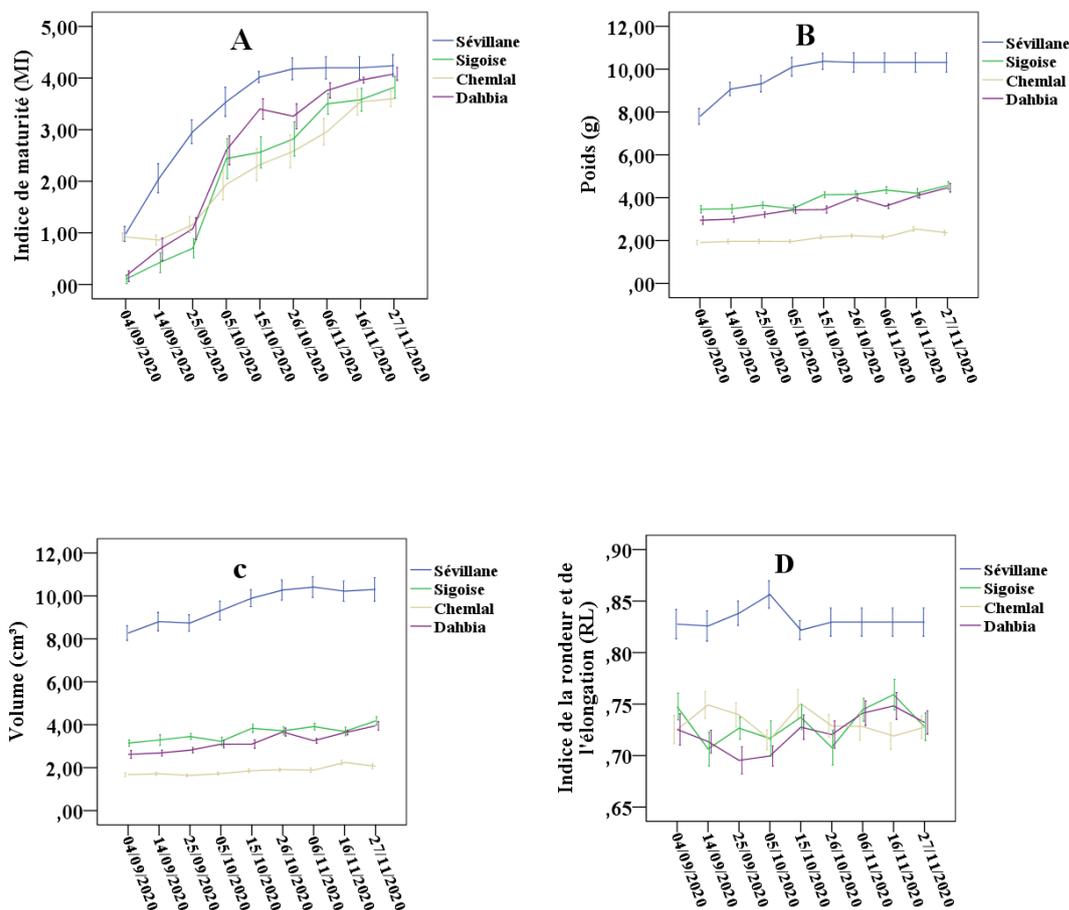


Fig. 41. Moyenne \pm SE, indice de maturité (MI), poids (g), volume (cm³) et l'indice de la rondeur et de l'élongation (RL) des olives à Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia, 2020.

4. Corrélation entre les caractéristiques physiques des fruits et le taux d'infestation

4.1. Corrélation entre le taux d'infestation et calibre des olives dans la région de Mascara (station Oued Taghia)

Afin d'étudier l'influence du facteur calibre des fruits sur la sensibilité des deux variétés vis à vis *B. oleae*, une relation a été estimée entre le taux d'infestation et le calibre des fruits

par la corrélation Pearson. Les résultats ont montré qu'il y avait une corrélation positive entre le taux d'infestation et le calibre des fruits pour les deux variétés avec un coefficient ($r=0,963$, $p<0,0001$ Sigoise et $r=0,971$, $p<0,0001$ Chemlal) (Fig. 1-Annexe 3).

4.2. Corrélation entre le taux d'infestation et l'indice de maturité, le poids, le volume ou l'indice de la rondeur et de l'élongation dans la région de Laghouat (station Hamda)

Une corrélation positive significative a été trouvée entre les olives infestées et l'indice de maturité (MI), le poids et le volume des fruits pour toutes les variétés, cette corrélation étant plus forte chez la variété Chemlal. L'indice de la rondeur et de l'élongation (RL) était positivement corrélée que chez la variété Dahbia (Tab. 12 et Fig. 2, 3, 4, 5-Annexe 3).

Tab. 12. Les corrélations de Pearson (R) entre le taux d'infestation et les caractéristiques physiques (MI, poids, volume et RL) chez (Sévellane, Sigoise, Chemlal et Dahbia).

	Sévellane	Sigoise	Chemlal	Dahbia
Indice de maturité (MI)	0.72*	0.87**	0.94**	0.81**
Poids (g)	0.65*	0.85**	0.91**	0.87**
Volume (cm³)	0.80*	0.78*	0.92**	0.86**
Indice de la rondeur et de l'élongation (RL)	0.25ns	0.44 ns	-0.20 ns	0.75*

ns : non significatif, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

5. Etude de la performance larvaire de *B. oleae* dans la région de Laghouat (Station de Hamda) en 2020

Les résultats de l'étude de la performance des stades prématurés de la mouche de l'olivier font partis des prélèvements effectués en Octobre et Novembre, alors que les prélevés du mois de Septembre n'ont pas donné des pupes. Toutes les données des paramètres de développement de *B. oleae* sont représentées dans le tableau 13

Pour les lots d'Octobre, le nombre total de pupes produites était similaire entre les variétés, tandis que dans les lots de Novembre, les olives de la variété Sigoise ont produit le plus grand nombre de pupes, suivies de Chemlal et de Dahbia.

Le nombre moyen d'individus par olive a augmenté significativement d'Octobre à Novembre pour toutes les variétés. Concernant les lots d'Octobre, Chemlal était significativement la plus élevée en nombre moyen d'individus par olive par-rapport aux autres variétés, alors que durant le mois de Novembre, la Sigoise a produit le nombre moyen d'individus le plus élevé par fruit.

La durée de la nymphose n'a montré aucune différence entre les variétés ; les pupes se sont développées beaucoup plus rapidement pour les olives des lots d'Octobre (15 jours) que celles de Novembre (21 jours) pour toutes les variétés.

Le pourcentage des adultes émergés était supérieur à 90 % pour toutes les variétés. Le taux d'émergence présentait une différence significative entre les lots du mois d'Octobre et de Novembre pour la Sigoise et Dahbia, mais pour la variété Chemlal, le pourcentage des adultes émergés était similaire pour les deux lots. Il n'y avait pas de différence significative dans le taux d'émergence pour les variétés d'olives dans les lots de Novembre, tandis que dans les lots d'Octobre, le pourcentage d'adultes émergés était faible sur la variété de Chemlal par rapport à celui sur Dahbia.

Le sex-ratio n'a été influencé ni par la variété ni par la date de prélèvement des olives. La proportion des femelles sur le nombre total des adultes issus de pupes représentait près de la moitié du nombre total des mouches, qui variait entre 0,48 et 0,55.

Au cours de notre étude, nous avons constaté l'émergence d'une espèce parasitoïde lors de l'élevage mis en laboratoire de la mouche de l'olivier il s'agit de *Psytallia (Opus) concolor*

(Hymenoptera : Braconidae) qu'elle a été identifiée par Dr Righi Kada (Université de Mascara) (Fig. 42).



Source : originale (2021).

Fig. 42. Endoparasite *Psytallia concolor*.

Le parasitisme des larves de *B. oleae* par *P. concolor* était très faible pour toutes les variétés et ne dépassait pas 0,047 %. Il n'y avait pas de différence significative dans le taux de parasitisme entre les variétés et le temps d'échantillonnage des olives (Tab. 13).

Tab. 13. Paramètres bio-écologiques de *B. oleae* sur les variétés (Sigoise, Chemlal et Dahbia, 2020).

Variété	Nombre total des pupes		Nombre moyen des individus par olive		Durée de pupaison (jours)	
	Octobre	Novembre	Octobre	Novembre	Octobre	Novembre
Sigoise	210	800	0.76±0.11 Aa	1.50±0.023 Ab	15.57±0.20 Aa	21.73±0.12 Ab
Chemlal	213	658	1.02±0.10 Ba	1.39±0.047 Ab	15.13±0.12 Aa	21.65±0.12 Ab
Dahbia	209	481	0.76±0.11 Aa	1.05±0.038 Bb	15.81±0.22 Aa	21.53±0.15 Ab
Variété	Taux d'émergence (%)		Sex-ratio (f/t)		Taux de parasitisme (%)	
	Octobre	Novembre	Octobre	Novembre	Octobre	Novembre
Sigoise	95.95±1.42 ABa	90.65±1.15 Ab	0.46±0,051 Aa	0.49±0.023 Aa	0,047±0,022 Aa	0,020±0,006 Aa
Chemlal	92.58±1.62 Ba	90.58±1.27 Aa	0.54±0,046 Aa	0.48±0.024 Aa	0,027±0,017 Aa	0,025±0,009 Aa
Dahbia	96.26±1.51 Aa	91.11±1.41 Ab	0.55±0,051 Aa	0.49±0.030 Aa	0,0015±0,0015 Aa	0,026±0,007 Aa

Les moyennes suivies des mêmes lettres majuscules dans une colonne ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (test HSD de Tukey) ; tandis que les moyennes suivies des mêmes lettres minuscules sur une ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 (test *t* indépendant)

- **Discussion**

1. **Dynamique des populations des adultes de *B. oleae***

Dans cette partie, les résultats discutés portant sur l'étude de fluctuations des populations de *Bactrocera oleae* ont mis en évidence l'activité de ce ravageur dans deux différentes étages bioclimatiques et durant deux ans et demi pour la région de Laghouat.

Durant l'année d'étude 2019-2020, nous avons mené une étude comparative entre les deux étages, c'était entre l'oliveraie d'Oued Taghia (semi-aride) et l'oliveraie à Hamda (aride), car ils sont cultivés avec les mêmes variétés.

En analysant la courbe de vol de la mouche de l'olivier, il ressort que ce ravageur est présent à raison de quatre générations par an dans la région aride (Laghouat), alors qu'il est présent avec cinq générations par an dans la région semi-aride (Mascara). Cela est expliqué par Santiago-Álvarez et Quesada-Moraga (2007) qui ont montré que *B. oleae*, est une espèce multivoltine avec un nombre de générations entre deux et cinq par an selon les conditions régionales et locales, principalement la température et l'humidité relative.

Les adultes de *B. oleae* ont été capturés au cours des quatre saisons de croissance de l'olivier dans la région de Mascara, alors que dans la région de Laghouat ; pendant la période chaude de l'été, l'activité des mouches adultes est absente. Daane et Johnson (2010) affirment que même si l'olivier est impropre à la ponte, les adultes ont la capacité de se reproduire et de survivre lorsque la nutrition des adultes a été disponible, ce qui constitue un véritable danger pour les oliveraies. Cependant, les températures élevées, la faible humidité et l'indisponibilité d'olives réceptives ont causé le phénomène de diapause qui a été révélé par Yokoyama et al. (2006) et Aït Mansour et al. (2015) dans les zones intérieures éloignées de la mer.

Dans la région de Mascara, la première génération a été signalée en Juillet par contre dans la région de Laghouat elle n'a pas été signalé durant ce mois. Ce résultat est proche de celui mentionné par Gaouar (1996) dans la région de Tlemcen en Algérie, Yokoyama et *al.* (2006) dans le sud de la Californie, Goncalves et *al.* (2012b) au Portugal, Ait Mansour et *al.* (2015) au Maroc et Pertíñez et Vélez (2020) à Madrid (Espagne), selon ces auteurs une génération était marquée fin Juin ou début Juillet dans les oliveraies proches de la mer (frais et humides), cependant dans les zones intérieures et éloignées du littoral, le nombre de captures est faible ou nulle durant cette période avec une absence de la génération estivale. Cela peut s'expliquer par les conditions chaudes et arides et l'indisponibilité des fruits.

Au début du mois de Septembre, la population a commencé d'augmenter dans les deux régions où les conditions de température et d'humidité deviennent ambiantes et les olives réceptives sont disponibles et prématurées. Dans la région de Mascara, nous avons signalé trois générations successives durant cette phase automnale (début de Septembre, début de Novembre et fin de Décembre), cette succession de génération est similaire aux résultats de Goncalves et *al.* (2012b) et Ait Mansour et *al.* (2015) qui ont trouvé trois générations dans cette période. Cependant dans la région de Laghouat, deux générations durant l'automne se chevauchent, elle ce sont montrée (début de Novembre et fin de Décembre), cette succession des deux générations est similaire aux résultats de Gaouar (1996), Rice et *al.* (2003), Yokoyama et *al.* (2006) et Burrak et *al.* (2011). Le chevauchement des générations d'automne dans les deux régions s'expliquait par la contribution de chaque génération à la coexistence de la génération future et l'automne est la saison la mieux adaptée au développement de la mouche de l'olivier, lorsque sa nourriture larvaire est disponible (Daane et Johnson, 2010).

Selon nos résultats, une génération a été marquée en fin Décembre, bien que cette génération était absente dans la plupart des études faites dans les zones proche au littorale, cette présence dans la région de Mascara peut être s'expliqué par la récolte tardive des fruits jusqu'à la fin Décembre. Cependant dans la région de Laghouat, leur présence peut être justifiée par les stades phénologiques de l'olivier qui sont retardés dans notre zone aride comme cela a été rapporté par Ait Mansour et *al.* (2015) dans la zone intérieure.

Selon Fletcher et *al.* (1978), Rice et *al.* (2003) et Yokoyama et *al.* (2006), le nombre inhabituellement élevé des adultes capturés au printemps est dû aux mouches adultes ayant hiverné depuis l'automne précédent ou émergé de larves ayant hiverné, lorsque les conditions climatiques sont devenues favorables pour leurs développements. Ils attaquent généralement les fruits qui tombent ou ceux laissés sur les roseaux après la récolte pour représenter les dernières générations printanières. Ce constat explique bien et justifie l'apparition de la cinquième génération dans la région de Mascara ainsi la troisième et quatrième génération dans la région de Laghouat. Dans cette région (Laghouat), nous avons remarqué l'apparition de deux pics automnaux et deux pics printaniers. Ce modèle de capture de piège bimodal est similaire à ceux observés à Burrak et *al.* (2011) dans les zones intérieures.

La présente étude dans les deux étages bioclimatiques démontre que le sex-ratio des mouches capturées était systématiquement en faveur des mâles. Cela peut être justifié par la couleur jaune des pièges et l'appât à l'ammoniac utilisé. Cette constatation est similaire à celle de Katsoyannos et Kouloussis (2001) qui expliquent que les captures sont fortement influencées par la couleur des pièges, où ils ont rapporté que les mâles des mouches de l'olivier sont attirés par les pièges de couleur jaune, orange et blanche, tandis que les femelles par les couleurs rouge et noir. Rice et *al.* (2003) ont confirmé que plus de mouches mâles que femelles ont été capturées dans des pièges appâtés avec des attractifs à base d'ammoniaque.

Le nombre total des mouches observées dans la période d'étude comparative (Juin 2019 à Avril 2020) est plus important à Laghouat (station 2) (1608 mouches), qu'à Mascara (548 mouches). Ceci peut s'expliquer par l'absence des traitements chimiques dans toute la surface oléicole à Hamda (Laghouat), y compris l'oliveraie d'étude et toutes les oliveraies voisines. Dans ce cas les pièges peuvent attirer les mouches de plusieurs oliveraies avoisinant l'oliveraie d'étude. Cependant dans la station d'Oued Taghia (Mascara), la plupart des oliveraies étaient traitées par les pesticides chimiques annuellement exception faite pour notre station, dans lequel pesticide n'a pas été appliqué pendant trois ans consécutifs.

Sur les courbes qui représentent l'évolution des effectifs adultes de *B. oleae* au cours toutes les années d'étude dans la région de Laghouat (2019 à 2022), nous avons remarqué que les indices de population des mouches (P_i) étaient légèrement différents entre les années. Nous avons remarqué également que les fluctuations de cette mouche étaient similaires durant toutes les campagnes en terme de la période d'apparition de la première mouche, le nombre de génération, la période de chaque génération et le sex-ratio. Toutefois, nous avons noté une légère différence dans le temps (avance ou retard d'une ou deux semaines entre les campagnes). Ce décalage même s'il n'est pas important, il peut être expliqué par le fait que la densité de population est étroitement liée aux conditions climatiques (température et humidité). Selon Marchi et *al.* (2016), les variations interannuelles de la population s'expliquent par la température et selon Broufas et *al.* (2009), l'humidité relative peut entraîner une augmentation de la longévité de la mouche et de la fertilité de ses femelles. Ainsi, Neuenschwander et *al.* (1986) ont mentionné que la densité de population varie beaucoup selon la densité du feuillage et le microclimat qui peuvent varier d'une année à une autre.

Nous constatons également que la différence de la densité de population de *B. oleae* entre les deux oliveraies de station Hamda était instable, parfois on remarque qu'elle est

importante dans la première oliveraie, parfois dans la deuxième oliveraie et parfois était similaire dans les deux, alors que toutes les conditions environnementales étaient similaires. Les facteurs causants ces différences restent inexpliqués pour nous mais vraisemblablement le facteur pratique de l'irrigation peut affecter la perturbation de la densité de population dans les deux oliveraies car selon Burrak et *al.* (2008), les captures des mouches étaient significativement plus faibles dans les blocs non irrigués et fortes dans les blocs irrigués ainsi les résultats de Quesada-Moraga et *al.* (2018) ont affirmé que la présence accrue des adultes de *B. oleae* était dans l'oliveraie irriguée que les oliveraies pluviales durant la période d'étude (2008–2009, 2010–2011 et 2011–2012).

2. Taux d'infestation des olives par *B. oleae*

Nos résultats portent sur l'estimation du taux d'infestation de quatre variétés d'olives au fil du temps dans deux régions à deux étages bioclimatiques différentes mais sans comparaison entre les deux, car l'étude de l'infestation n'a pas été faite avec les mêmes conditions.

Les mouches des olives ont commencé à pondre leurs œufs sur les fruits de l'olivier dans les deux régions, et durant les trois campagnes pour la région aride, en Septembre lorsque les adultes des deux sexes mâles et femelles deviennent sexuellement matures et que les olives deviennent mûres et propices à la ponte. Une olive mûre ayant un effet stimulant sur la maturation ovarienne des mouches femelles (Tzanakakis, 2003).

L'augmentation progressive et significative de l'infestation au fil du temps au cours d'une même année d'étude a été justifiée par l'augmentation du nombre de captures. Selon Pertíñez et Vélez (2020) qui ont constaté que l'augmentation de la quantité d'olives endommagées totales (QTD) et la quantité d'olives endommagées avec des larves vivantes (QTD) étaient linéairement associées à l'augmentation des captures au piège McPhail et toute

réduction de la taille de la population réduira QLD et QTD. Cette constatation peut également justifier les variations interannuelles du taux d'infestation observées dans la région aride entre les trois campagnes pour la variété Dahbia et entre les campagnes 2020 et 2021 pour toutes les variétés. De même, les différences annuelles de taux d'infestation peuvent s'expliquer par les variations climatiques (Gaouar et Debouzi, 1991).

L'étude de l'influence de l'orientation cardinale de l'arbre sur le niveau d'infestation dans la région de Mascara a révélé que l'orientation cardinale Nord de l'arbre est moins attaquée par la mouche. Selon Gonçalves et *al.* (2012b) les zones Nord les plus froides de l'arbre étaient moins préférées par la mouche de l'olivier pour la ponte. Tandis que dans la région de Laghouat durant toutes les campagnes, nous avons constaté qu'il n'y a pas d'influence de l'orientation cardinale de l'arbre sur le niveau d'infestation, cette constatation est corroborée à celle de Gaouar et Debouzi (1991).

3. Relation entre les caractéristiques physiques des olives et la préférence de ponte de *B. oleae*

Non seulement la densité de population des mouches de l'olivier est responsable sur l'importance des dégâts sur les olives, mais aussi certaines caractéristiques physiques des fruits peut affecter la préférence de la ponte de la mouche de l'olivier. Selon Malheiro et *al.* (2015), la préférence des mouches de l'olivier pour la ponte semble résider dans l'interaction et la corrélation avec trois aspects : physique, chimique et moléculaire.

Nos résultats ont indiqué que certaines variables de fruits telles que la maturité, le calibre, le poids, le volume et la forme peuvent expliquer en partie la sensibilité de quatre variétés d'olives vis à vis *B. oleae* ;

Nous avons observé qu'en début de saison (Septembre), la petite taille des olives et leur dureté ont réduit l'infestation aussi cette dernière s'affaiblie lorsque la couleur des fruits était verte. La maturité rapide de la variété Sévillane a provoqué une infestation précoce par rapport aux autres variétés. Les résultats obtenus confirment les études de terrain (Neuenschwander *et al.*, 1985 ; Gonçalves *et al.*, 2012b et Medjkouh *et al.*, 2018b) et les études de laboratoire de Katsoyannos et Kouloussis (2001) qui ont constaté que les femelles de *B. oleae* préféraient disposer leurs œufs dans des sphères artificielles oranges, rouges et noires plutôt que des sphères blanches, vertes et bleues car une faible dureté facilite la pénétration de l'ovipositeur de la femelle pour pondre leur œuf. Cependant, ces résultats sont en désaccord avec Gümüşay *et al.* (1990) et Rizzo *et al.* (2012) qui ont noté que les femelles de mouches de l'olivier préféraient pondre sur les olives dures et vertes.

Plusieurs auteurs (Gümüşay *et al.*, 1990 ; Iannotta *et al.*, 1999 ; Burrak et Zalom, 2008 ; Rizzo *et al.*, 2012 ; Quesada-Moraga *et al.*, 2018) ont constaté que les variétés à gros fruits étaient plus attaquées que les plus petits. Concluant également qu'au sein d'une même variété, la taille était positivement corrélée à l'infestation. Dans les résultats de la présente étude, le nombre total de piqûres a progressivement augmenté avec l'évolution du calibre, du poids et du volume dans le temps pour toutes les variétés. Les olives de Sévillane étaient les plus grosses par rapport aux autres variétés qui ont été infestées précocement et plus intensément comme cela avait été précédemment trouvé par Burrak et Zalom (2008) en Californie et Hamdan (2016) en Palestine. Les olives de Sigoise, suivies des olives de Dahbia ont été les plus infestées après Sévillane, et la variété Chemlal à petit fruits a été perforée plus tardivement que les autres. Nos résultats concordent avec ceux de Gaouar et Debouzi (1991) qui ont noté que la variété Sigoise avec ses gros fruits est plus infestée que Chemlal.

Dans notre étude, malgré que les olives de Sévillane étaient les plus sphériques et les plus infestées que les autres variétés, les résultats de corrélation ont montré que la forme n'affecte pas toujours la susceptibilité des variétés. Cette constatation est similaire à celle de Burrak et Zalom (2008) qui ont noté que les olives Arbequina étaient généralement sphériques mais qu'elles étaient moins préférées au champ. Cependant, Gümüşay et *al.* (1990) et Rizzo et *al.* (2012) ont révélé que les olives sphériques étaient plus sensibles aux olives plus ovoïdes.

En fin de saison, le niveau d'infestation reste important et inacceptable pour toutes les variétés, y compris la variété Chemlal ayant des petits fruits. Cette dernière, dans la région de Laghouat en 2020 son infestation dépassait 90% en l'absence de contrôle. Ces résultats qui semblent également importants ont été observés par Gaouar et Debouzi (1991). Nous pouvons dire que le chevauchement des générations d'automne et le nombre élevés des individus amenaient les femelles à pondre leurs œufs dans presque tous les fruits non infestés (quel que soit la taille des fruits). Aussi Burrak et *al.* (2011) ont constaté que le niveau d'infestation était élevé en fin de saison, atteignant 80 % à Amador pour la variété Leccino malgré la taille était très petite de leurs fruits.

4. Performance larvaire de *B. oleae* dans la région de Laghouat (Station de Hamda) en 2020

L'étude des performances larvaire de *B. oleae* a démontré que le faible indice de maturité en Septembre pour les trois variétés justifie l'absence de production de pupes. Le nombre total de pupes produites était différent entre les olives des lots d'Octobre et des lots de Novembre en fonction de la différence du nombre de piqûres qui était plus importante en Novembre qu'en Octobre pour les trois variétés. En Novembre, la variété Sigoise était la plus infestée et la plus productive en pupes, suivie de Chemlal. Dahbia était la moins productive,

malgré que son taux d'infestation était similaire à celui de la Sigoise et Chemlal et ses olives étaient plus grosses que Chemlal. Ces résultats étaient similaires à ceux de Burrak et Zalom (2008) qui ont constaté que les deux variétés Arbequina et Leccino produisaient un nombre élevé des pupes, malgré ces variétés avaient des petites olives et des faibles niveaux d'infestation. Garantonakis et *al.* (2017a) ont également remarqué que le poids des olives n'affecte pas le rendement des pupes.

Les différences significatives observées dans le nombre moyen d'individus par olive entre les variétés et le temps ne dépendent pas seulement de la préférence de ponte des femelles de la mouche de l'olivier, mais peuvent être justifiées par les constituants nutritifs de la pulpe (lipides et protéines) (Medjkouh et *al.*, 2018b) qui permettent la vie de plus d'un individu dans la même olive. Iannotta et *al.*, (2007) ont révélé que les composés phénoliques peuvent également affecter le niveau d'attaque, où les cultivars les plus riches en oleuropéine sont les moins attaqués. Parmi les recherches antérieures autour de l'étude des compositions chimiques de certaines variétés d'olives, Belarbi et *al.* (2018) ont conclu que la variété Dahbia était plus riche en oleuropéine que la variété Sigoise au stade de maturité, nos résultats ont démontré que la variété Dahbia possédait le faible nombre moyen d'individus par olive.

Les résultats de l'étude de la nymphose ont montré que cette dernière n'a duré que 15 jours pour les lots d'Octobre alors qu'elle a duré 21 jours pour les lots de Novembre. Ces variations étaient attribuables à la température et non à la variété, puisque les températures étaient le seul facteur qui variait au laboratoire lors de l'incubation des olives (21 ± 1 °C en Octobre, 19 ± 3 °C en Novembre et 17 ± 1 °C en Décembre).

La différence du taux d'émergence des adultes entre les variétés et le temps pourrait être influencée par les conditions climatiques ainsi que par la composition chimique de la pulpe, qui empêchent le développement de stades prématurés.

Concernant le sex-ratio enregistré, il n'a été influencé ni par la variété ni par les variations de température du laboratoire au cours de notre expérience. Mais la fluctuation du développement des larves aux individus mâles ou femelles est probablement influencée par plusieurs facteurs biotiques (par exp. parasitisme), abiotiques (par exp. température) ou certains paramètres chimiques des fruits (Garantonakis 2017a).

Le faible pourcentage de parasitisme dans nos résultats préliminaires a donné une idée sur le manque de contrôle biologique naturel dans cette région aride. En Algérie, elle n'a déjà été détectée par Gaouar et Debouzi (1991) que près de la côte mais elle semble absente dans les sites de l'intérieur. Malgré ce braconide endoparasite était considéré comme le plus connu de la région méditerranéenne mais il est relativement inefficace comme agent de lutte biologique, dont les mauvaises performances peuvent être justifiées par le manque de synchronisation entre les cycles de vie du parasitoïde et de la mouche (Delrio, 2010) ainsi les basses températures hivernales peuvent affecter la survie des parasitoïdes (Jiménez et *al.*, 2002).

- **Conclusion**

L'étude bioécologique de la mouche de l'olivier a montré que ce ravageur est présent durant toute l'année avec cinq générations dans la région semi-aride (Mascara), cependant il est absent en été et il est présent avec quatre générations par ans dans la région aride (Laghouat).

Le taux d'infestation a augmenté progressivement au fil du temps pour toutes les variétés jusqu'à la récolte. La variété Sévillane possédant des grosses olives et murait rapidement a été attaquée précocement et plus intensément par rapport aux autres variétés. Tandis que, les olives Sigoise, suivies des olives Dahbia ont été les plus infestées après Sévillane, et la variété Chemlal à petit fruits a été infestée plus tardivement que les autres.

L'étude des performances larvaire de *B. oleae* en laboratoire a démontré que le nombre total de pupes produites, nombre moyen d'individus par olive et le taux d'émergence des adultes sont influencées par les variétés. La durée de nymphose variait avec les variations des températures de laboratoire. Alors que le sex-ratio n'a été influencé ni par la variété ni par la date d'échantillonnage des olives.

Le taux de parasitisme par *Psytallia (Opius) concolor* était très faible pour toutes les variétés, ce qui pourrait expliquer l'absence de contrôle biologique naturel de *B. oleae* dans la région aride en Algérie.

CHAPITRE II :
ETUDE ET ESSAIS DE
LUTTE BIOLOGIQUE
CONTRE *BACTROCERA*
OLEAE

CHAPITRE II : ESSAIS DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE *BACTROCERA OLEAE*

• Résultats

1. Effet bio-insecticide de l'huile essentielle de L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) vis à vis les adultes de *B. oleae*

1.1. Rendement et composition chimique de l'huile essentielle

Le rendement en huile essentielle était de $0,36 \pm 0,03$ % (p/p). La caractérisation de l'huile essentielle de feuilles d'*E. globulus* par l'analyse GC/MS a conduit à l'identification de 41 composés. Les constituants majeurs de cette huile essentielle étaient : le (-)-spatulénol (32,66 %), l'o-cymène (28,30 %) et la (+)-cryptone (12,13 %). Les autres composés notables identifiés étaient : le terpinène-4-ol (4,60 %), le cuminaldéhyde (3,05 %) et l'oxyde de caryophyllène (2,10 %) (Tab. 14 et Fig. 43).

Tab. 14. Composition chimique de l'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus*.

N°.	composés	R.T	R.I ^{Cal.}	R.I ^{Lit.}	Rend. %
1	α -Thujene	7.311	924	924	0,34
2	α -Pinene	7.578	931	932	0,32
3	Sabinene	9.201	970	969	0,10
4	Myrcene	9.991	990	988	0,06
5	α -Phellandrene	10.623	1004	1003	0,12
6	α -Terpinene	11.236	1015	1014	0,16
7	o-Cymene	11.717	1024	1022	28,30
8	Ocimene <(Z)-, β ->	11.883	1027	1032	1,50
9	1,4-Cineole	11.973	1028	1012	1,33
10	γ -Terpinene	13.470	1056	1054	0,33

11	Linalool	15.822	1099	1095	0,13
12	Thujone	16.752	1114	1112	0,17
13	cis-p-Menth-2-en-1-ol	17.045	1119	1118	1,00
14	trans-p-Menth-2-en-1-ol	18.141	1136	1136	0,66
15	2,6-Nonadienal	18.776	1146	1150	0,24
16	Terpinen-4-ol	20.554	1175	1174	4,60
17	(+)-Cryptone	21.141	1184	1183	12,13
18	α -Terpineol	21.394	1188	1186	0,25
19	cis-p-Menthan-2-one	21.682	1193	1194	0,22
20	cis-Sabinene hydrate acetate	22.466	1205	1219	0,45
21	m-Cumenol	23.831	1227	1224	0,14
22	Cumin aldehyde	24.467	1236	1238	3,05
23	Piperitone	25.365	1250	1249	0,15
24	Nopol	26.509	1268	1278	0,22
25	Z-Thujenol	27.145	1278	-	0,07
26	p-Cymen-7-ol	27.795	1288	1289	0,77
27	Carvacrol	28.613	1301	1298	0,78
28	Silphinene	39.980	1356	1345	0,14
29	Taylorione	44.210	1484	-	0,65
30	(-)-Spathulenol	45.463	1578	1577	32,66
31	Caryophyllene oxide	45.644	1581	1583	2,10
32	β -Copaen-4- α -ol	46.402	1594	1590	0,78
33	(-)-Globulol	46.654	1599	1590	0,65
34	Isospathulenol	47.048	1606	1625	0,92
35	Valeranone	48.669	1635	1674	1,83

36	Alloaromadendrene	49.205	1645	1649	0,40
37	Ledol	49.475	1650	1602	0,84
38	Eudesma-4(15),7-dien-1- β -ol	49.901	1658	1687	0,33
39	Androstan-17-one, 3-ethyl-3-hydroxy-, (5 α)-	50.336	1665	-	0,32
40	Curcumenol	53.799	1730	1733	0,63
41	Cedryl acetate	54.973	1752	1767	0,15
	Total				99,99
	Hydrocarbures monoterpéniques (1-8,10)				31,23
	Monoterpènes oxygénés (9, 11-14, 16-19, 22-27)				25,53
	Hydrocarbures sesquiterpéniques (29)				0,14
	Sesquiterpènes oxygénés (28,30-41)				41,94
	Autre				1,15

RT: temps de rétention

RI^{Cal.}: Indice de rétention calculée

RI^{Lit.}: Indices de rétention de la littérature

Rend. : Rendement

-: Non détecté

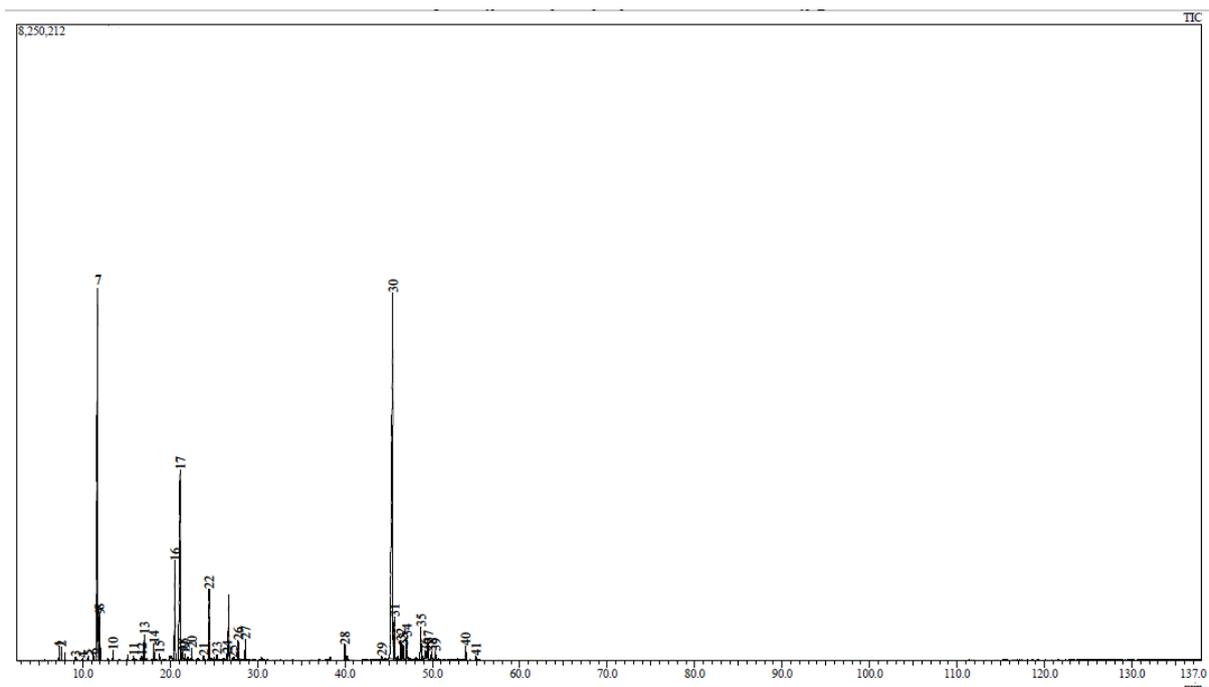


Fig. 43. Chromatogramme GC-MS d'huile essentielle des feuilles d'*Eucalyptus globulus*.

1.2. Effet bio-insecticide d'*E. globulus* vis à vis *B. oleae*

Les résultats des tests biologiques de toxicité par contact et par fumigation ont indiqué que l'huile essentielle d'*E. globulus* présente une propriété insecticide intéressante contre les adultes de *B. oleae*. Le pourcentage de mortalité différait significativement entre les concentrations et au cours du temps d'observation mais leur interaction n'avait pas d'effet significatif sur le taux de mortalité (Tab. 15). Selon nos résultats, la mortalité s'est intensifiée en raison de l'augmentation des concentrations d'huile et au fil du temps (Tab. 5-annexe 4 et Fig. 44 et 45).

Tab. 15. Effets de la concentration de l’huile essentielle et du temps d’observation sur la mortalité des adultes par contact et fumigation.

	Facteur	ddl	F	p
Toxicité par contact	Concentration	2.86	90.60	<0.0001
	Temps d’observation	1	108.76	<0.0001
	Interaction	2.86	1.19	0.33
Toxicité par fumigation	Concentration	1.74	47.01	<0.0001
	Temps d’observation	1	169	<0.0001
	Interaction	1.74	0.68	0.5

1.2.1. Effet bio-insecticide par contact

Dans les essais de toxicité par contact, à la concentration de 0,33 µL/cm², l’huile essentielle exerce des taux de mortalité qui ont atteint 63,33 % en 24h après l’application. Cependant, après 48 h, les taux de mortalité ont atteint plus de 90 % à cette concentration. Le test de toxicité par contact a montré que *E. globulus* était plus toxique après 48 h d’application (Tab. 5-annexe 4 et Fig. 44).

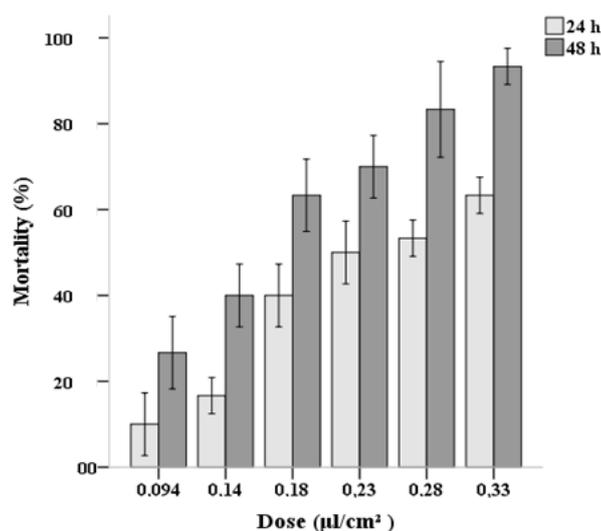


Fig. 44. Mortalité moyenne ± E.S de *B. oleae* exposée à la toxicité de contact de l'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus* à 24 h et 48 h.

- Concentrations létales (LC50 et LC90)

Ces résultats ont été confirmés par les valeurs LC50 et LC90 présentées dans le tableau 17, où les concentrations de 0,15 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ et 0,33 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ étaient suffisantes pour tuer 50 % et 90 % respectivement des adultes après 48 h de traitement. Cependant à 24 h, la toxicité par contact nécessitait 0,24 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ pour tuer 50 % et 0,64 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ pour tuer 90 % des adultes.

1.2.2. Effet bio-insecticide par fumigation

Au cours des essais biologiques de toxicité par fumigation vis à vis *B. oleae* nous avons noté qu'à après 24 h de l'application, le taux de mortalité atteignait plus de 50 % à la concentration de 18,16 $\mu\text{L}/\text{L}$ d'air, mais à 48 h, seuls 6,80 $\mu\text{L}/\text{L}$ d'air de la concentration pouvait tuer plus de 50 %. La concentration de 24,96 $\mu\text{L}/\text{L}$ d'air pourrait tuer plus de 90 % à 48 h après le traitement (Tab. 5-annexe 4 et Fig. 45).

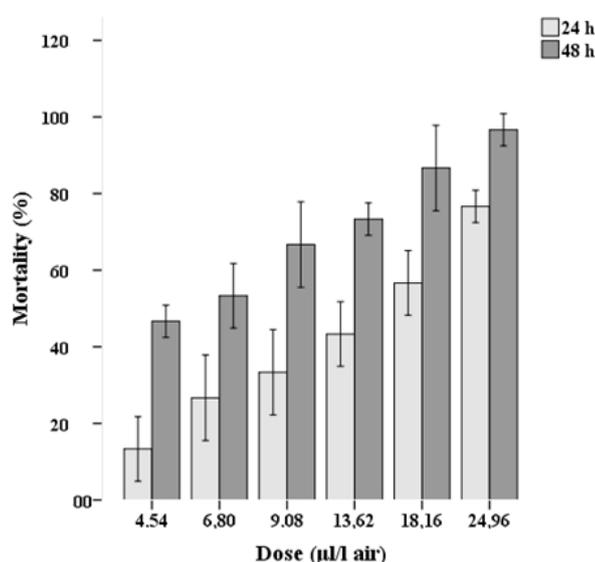


Fig. 45. Mortalité moyenne \pm E.S de *B. oleae* exposée à la toxicité de la fumigation de l'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus* à 24 h et 48 h.

• Concentrations létales (LC50 et LC90)

Selon l'analyse des Probits, les valeurs de concentration létale ont confirmé ces résultats, où les CL50 et CL90 les plus basses ont été obtenues à 48 h par rapport à 24 h (Tab. 16).

Tab. 16. Estimations des concentrations létales (CL50 et CL90) des tests biologiques de contact et de fumigation par l'huile essentielle de feuilles d'*E. globulus* à 24 h et 48 h.

Essai de toxicité	Temps (h)	LC50 (95 % CI) μL/cm ²	LC90 (95 % CI) μL/cm ²	Chi2 (χ ²)	R ² Y = ax + b
Contact	24h	0,24 (0,22-0,27)	0,64 (0,52-0,88)	4,88, ddl=4, p>0,05	R ² = 0,928 y = 232,09x - 9,619
	48h	0,15 (0,13-0,16)	0,33 (0,30-0,39)	5,23, ddl=4, p>0,05	R ² = 0,964 y = 282,85x + 3,66
Fumigation		LC50 (95 % CI) μL/L air	LC90 (95 % CI) μL/L air	Chi2 (χ ²)	R ² Y = ax + b
	24h	14,05 (12,59-15,93)	51,53 (39,50-75,91)	3,45, ddl=4, p>0,05	R ² = 0,987 y = 2,920x + 4,108
	48h	5,71 (4,72-6,57)	21,64 (18,06-28,07)	7,06, ddl=4, p>0,05	R ² = 0,961 y = 2,442x + 39,142

2. Activité entomopathologique de *B. thuringiensis* vis à vis les adultes de *B. oleae*

2.1. Effet de bio-pesticide commercial B-401[®] par ingestion vis à vis *B. oleae*

La figure 46 montre la toxicité du bio-pesticide B-401[®] vis-à-vis les adultes de *B. oleae* dans les conditions de laboratoire. La mortalité moyenne des adultes des mouches a augmenté significativement par l'augmentation de la concentration (F=131,52, ddl=2,54, p<0.0001) et au fil du temps (F=993,30, ddl=5, p<0.0001), ainsi leur interaction avait un effet significatif sur le taux de mortalité (F=13,07, ddl=12,73, p<0.0001).

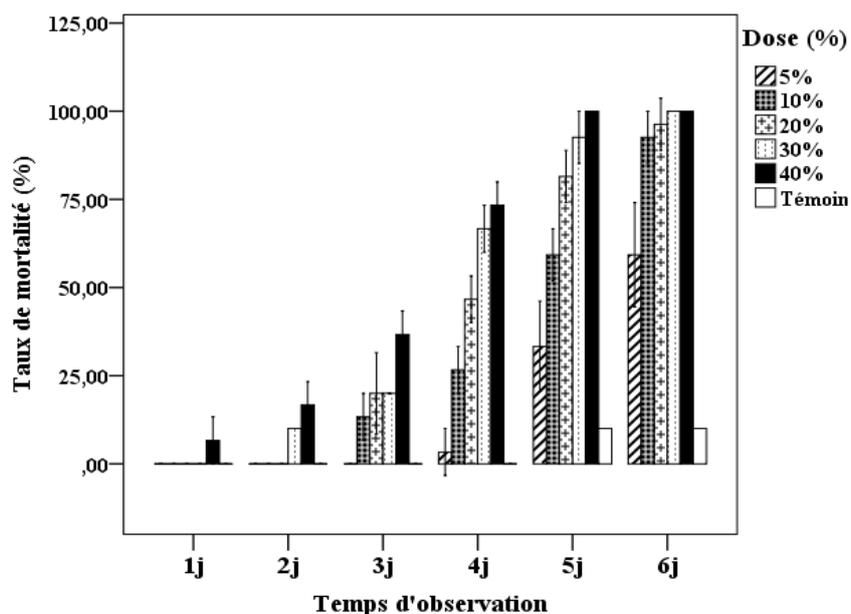


Fig. 46. Mortalité moyenne \pm E.S des adultes de *B. oleae* par l’effet de l’ingestion du bio pesticide B-401[®] à différent temps d’observation.

Au 1^{er} jour d’observation, le taux de mortalité était nulle jusqu’à la concentration de 30%. A partir du 4^{eme} jour de traitement, le bio pesticide commence à exercer son effet insecticide contre les adultes de *B. oleae*, nous avons enregistré une mortalité de 100 % au 5^{eme} jour à la concentration de 40 % et au 6^{eme} jour à la concentration de 30% (Tab. 6-annexe 4).

2.2. Détermination des concentrations et des temps létaux (LC et LT)

Nous pouvons estimer les LC50 et LC90 qu’à partir du 4^{eme} jour d’observation, c.à.d. l’efficacité de pesticide B-401[®] a commencé qu’à partir le 4^{eme} jour d’application. Les valeurs les plus basses des CL50 et LC90 sont obtenues au 6^{eme} jour, dont 6,88 % du B-401[®] était suffisante pour tuer 50 % des adultes de *B. oleae* et seulement 17,50% pour lutter 90% des adultes (Tab. 17).

Les temps létaux TL50 et TL90 ont été estimés à partir de la 3 eme concentration, cela veut dire que le bio pesticide B-401® était efficace à partir de la concentration de 20%.

Tab. 17. Estimations des concentrations et temps létaux (CL50, CL90, LT50 et LT90), de *B. thuringiensis* vis à vis *B. oleae*.

Temps (jour)	LC50 (95 % CI) (%)	LC90 (95 % CI) (%)	Chi² (χ²)	R² Y = ax + b
4j	31,41 (28,93-34,21)	73,61 (62,94-91,49)	0,99, ddl=3, p=0,80	R ² = 0,984 y = 2,298x + 2,148
5j	14,88 (9,35-19,31)	35,96 (27,15-64,19)	8,57, ddl=3, p=0,04	R ² = 0,910 y = 0,038x + 3,080
6j	6,88 (4,88-8,50)	17,50 (15,24-20,50)	2,30, ddl=3, p=0,51	R ² = 0,79 y = 0,055x + 1,516
Concentration (%)	LT50 (95 % CI) (jour)	LT90 (95 % CI) (jour)	Chi² (χ²)	R² Y = ax + b
20 %	3,92 (3,77-4,08)	5,51(5,22-5,90)	4,23, ddl=4, p=0,37	R ² = 0,993 y = 0,029x + 3,506
30%	3,42 (2,83-4,00)	5,01 (4,23-7,25)	23,92, ddl=4, p<0,001	R ² = 0,945 y = 0,035x + 3,313
40%	2,84 (1,31-4,40)	4,90 (3,40-7,59)	70,90, ddl=4, p<0,001	R ² = 0,969 y = 0,042x + 2,871

- **Discussion**

1. **Effet bio-insecticide de l'huile essentielle de L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) vis à vis les adultes de *B. oleae***

Plusieurs huiles essentielles ont une activité insecticide sélective vis-à-vis des ravageurs et n'ont pas ou peu d'effets nocifs contre les organismes non ciblés et l'environnement, elles sont également considérées comme des ressources facilement obtenues de la nature, elles coûtent moins cher et se dégradent rapidement (Ebadollahi et *al.*, 2010). Leur efficacité reste liée à leur profil phytochimique (Sarma et *al.*, 2021) et à la cible entomologique (Regnault-Roger, 2012). Les myrtacées font partie des familles des plantes dont leur huile essentielle a un effet insecticide (Regnault-Roger, 2012), y compris *E. globulus*.

Malgré la majorité des huiles essentielles des feuilles *E. globulus* analysées dans le monde ont montré que le 1,8-cinéole est considéré comme le constituant majeur, parmi eux au Brésil (Mossi et *al.*, 2010), en Argentine (Russo et *al.*, 2015), en Tunisie (Jerbi et *al.*, 2017), au Maroc (Boulamtat et *al.*, 2021) et en Algérie (Daroui-Mokaddem et *al.*, 2010 ; Harkat-Madouri et *al.*, 2015 ; Atmani-Merabet et *al.*, 2018). Mais nos résultats d'analyse GC/MS ont montré que le 1,8-cinéole n'a pas été trouvé dans l'huile des feuilles d'*E. globulus*, ce qui a corroboré avec les résultats de ceux d'Usman et *al.* (2020) au Nigeria, où ils n'ont pas trouvé de 1,8-cinéole dans leurs huiles essentielles extraites des feuilles récoltées pendant les saisons sèches et pluvieuses. D'autre part, ils ont trouvé le D-limonène et le m-cymène comme principaux constituants des huiles essentielles, ce qui impliquait que les huiles essentielles étaient de chémotypes D-limonène et m-cymène. L'absence de 1,8-cinéole est interprétée par l'incapacité à synthétiser en raison des conditions environnementales défavorables (Usman et *al.*, 2020). Ce constituant était également présent en quantité minimale pour l'huile essentielle analysée par Maciel et *al.* (2010) avec 2,93 %, Papachristos et Stamopoulos (2004) entre 0,9-

2,9 % et Djenane *et al.* (2010) avec 2,20 % et avec un pourcentage modéré de 11,30 % à Benabdesslem *et al.* (2020).

Le principal constituant trouvé dans cette recherche est le (-)-spathuléol, ce qui implique que l'huile essentielle est un chémotype (-)-spathuléol, suivi de l'o-cymène avec un pourcentage remarquable (28 %). Ces deux constituants ont également été montrés par Usman *et al.* (2020) lors de l'analyse des huiles essentielles des feuilles récoltées en saison sèche et en saison des pluies avec des pourcentages modérés de 9,9 % et 5,4 % respectivement en o-cymène, et 4,5 % et 8,0 % en spathuléol. Benabdesslem *et al.* (2020) et Papachristos et Stamopoulos (2004) ont trouvé 14,10 % de spathuléol, et respectivement 20,24 % et 37,5 % sous la forme p-cymène. Harkat-Madouri *et al.* (2015) ont trouvé 7,44 % de spathuléol et 1,83 % d'o-cymène. Ces deux constituants également présentés en quantités minimales selon Atmani-Merabet *et al.* (2018). La cryptone est également considérée parmi les principaux constituants dans notre résultat avec 12,13 % cela a été montré par Harkat-Madouri *et al.* (2015) et Benabdesslem *et al.* (2020) en Algérie.

Ces variations qualitatives et quantitatives des compositions d'huile essentielle appartenant à une même espèce botanique dépendent de nombreux facteurs : organe et âge de la plante, état des matières végétales utilisées (séchées ou fraîches), conditions géographiques et environnementales, climat et ensoleillement, composition du sol, saison et moment de la récolte, les techniques d'extraction utilisées et les conditions expérimentales d'extraction (Papachristos et Stamopoulos, 2004 ; Loziene et Venskutonis, 2005 ; Maciel *et al.*, 2010 ; Harkat-Madouri *et al.*, 2015 ; Russo *et al.*, 2015 ; Usman *et al.*, 2020). Ces conditions influencent l'activité des terpènes synthases qui aident et facilitent la biosynthèse des différents types et quantités de terpénoïdes (Trapp et Croteau, 2001).

Les résultats de la présente étude ont démontré que l'huile essentielle *E. globulus* possède un effet létal, en utilisant les applications par contact et par fumigation contre les adultes des mouches *B. oleae*. L'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus* était associée à des activités insecticides contre de nombreux insectes ravageurs. Parmi eux, les insectes des produits stockés sensibles à cette huile, dont Ebadollahi (2011) a conclu que la mortalité de *Tribolium castaneum* augmentait avec les doses d'huile essentielle d'*E. globulus* et les temps d'exposition. Selon Mossi et al. (2010), l'huile essentielle des feuilles *E. globulus* a présenté une toxicité plus élevée avec $LD50 = 0,10 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ sur disques de papier filtre contre *Sitophilus zeamais*. Aussi Russo et al. (2015) ont constaté que l'huile essentielle des jeunes feuilles était la plus efficace contre *Tribolium confusum*, elle était appliquée à la concentration la plus faible ($0,5 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) et présentait une toxicité de 100 % à 4 h d'exposition. Ces résultats peuvent être considérés comme supérieurs à ceux obtenus dans notre travail qui avait une valeur de $CL50$ de $0,26 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ à 24h d'exposition. Cette différence de toxicité a été expliquée par Mossi et al. (2010) qui ont observé que la valeur de la $DL50$ augmentait en fonction du pourcentage de 1,8-cinéole évaluée chez les espèces du genre *Eucalyptus* étudiées, où ce composé était absent dans notre huile testée.

En outre, plusieurs études ont rapporté une bonne efficacité de l'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus* sur de nombreuses espèces de mouches domestiques, que cette huile présentait une puissante activité larvicide et pupicide contre *Musca domestica* dans le test de toxicité par contact et par fumigation (Kumar et al., 2012). Concernant l'activité larvicide dans le test de contact, la $CL50$ observée était de 2,73 à $1,73 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ après 24 et 48 h, respectivement et les valeurs de $CL50$ observées dans le test de fumigation étaient de 66,1 et $50,1 \mu\text{L}/\text{L}$ après 24 et 48 h, respectivement. Ces résultats avaient une efficacité inférieure par rapport à nos résultats. Cette huile a également agi contre les Pucerons *Aphis gossypii* et *Aphis*

fabae (Russo et al., 2018 ; Harizia et al., 2020), ainsi contre les larves de *Lutzomyia longipalpis* et *Aedes aegypti* (Maciel et al., 2010 ; Chantraine et al., 1998).

La majorité des recherches ont démontré que les terpénoïdes avaient des effets sur les insectes, y compris les monoterpènes et les sesquiterpènes. Parmi eux, l'o-cymène et le spathuléol qui étaient considérés comme des insecticides efficaces (Albouchi et al., 2018 ; Cheng et al., 2019 ; Benelli et al., 2020 ; Feng, 2021). Ces composés se sont révélés être les principaux constituants de l'huile testée et considérés comme responsables de la toxicité des *B.oleae*.

Les tests de toxicité par contact et par fumigation des huiles essentielles ont rarement été évalués contre les adultes de mouches *B. oleae*. Seules quelques études menées par essai de fumigation ont été démontrées par Mami et al. (2020) par l'huile essentielle des racines de *Carthamus caeruleus* et Mejdoub et al. (2020) par l'huile essentielle d'*Atractylis gummifera*.

2. Activité entomopathologique de *Bacillus thuringiensis* B-401 ® vis à vis les adultes de *B. oleae*

Au cours de cette recherche, nous avons montré que la formulation commerciale de *B. thuringiensis aizawai* était toxique par ingestion des adultes de *B. oleae*. La mortalité totale survenait au bout de 5 et 6 jours après l'application des plus fortes concentrations de *B.t aizawai* (30% et 40%). *B.t aizawai* est considérée parmi les sérotypes sélectionnées et utilisées commercialement sous formes de bio-insecticides grâce à ses propriétés entomopathogènes (Loudhaief, 2016).

L'activité insecticide de *B.t* contre les adultes de Tephritidae a été étudiée par de nombreux auteurs. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par Ilias et al. (2013), qui ont testé l'activité *B.t* contre les larves de *B. oleae* et les nouveaux adultes émergés. Ces auteurs

ont rapporté que sept souches de *B.t* examinées ont montré les niveaux de toxicité les plus élevés contre les adultes. La majorité des souches de *B.t* ont produit des mortalités à partir de 4ème jour d'exposition, et elles étaient importantes de 49 à 100 % à la concentration de 10^8 UFC/mL après 10 jours d'exposition. Ainsi que, le produit commercial à base de *B.t var. israelensis* (Bti) (Vectobec) a également été testé contre *B. oleae* adultes, ce produit a eu une mortalité importante comprise entre 55% et 89%. Alberola et al. (1999) ont constaté qu'il y avait un plus grand pourcentage d'isolats qui étaient toxiques pour les adultes que pour les larves. Ces auteurs ont rapporté que les deux mélanges spores-cristaux (10^9 /mL) provoquaient 80 % de mortalité pour les mouches adultes en 6 à 10 jours d'application. Selon Navrozidis et al. (2000), des expériences sur le terrain et de laboratoire, il est évident que les spores et les cristaux de *B.t* affectent plusieurs étapes du cycle de vie de l'insecte cible. Ces auteurs ont rapporté que l'ingestion des toxines de *B.t* 114A est efficace sur la mortalité des adultes des deux sexes mâles et femelles, soit du premier jour ou huitième jour de leur vie, ainsi leur fécondité a été réduite, la période de ponte a été raccourcie et des œufs moins nombreux et moins viables ont été produits.

Nos résultats sont également similaires à ceux obtenus par Hassani et Gaouar Benyelles (2008) en Algérie et Aboussaid et al. (2010) en Maroc sur *Ceratitis capitata*. Ces auteurs ont observé que les larves et les adultes de ravageur sont très sensibles à différentes souches de *B.t*.

La mouche de l'olivier (*B. oleae*) peut également sensible aux autres souches de genre *Bacillus*. Mostakim et al. (2012) ont rapporté que la souche bactérienne *Bacillus subtilis* (Abs3b) présentait une activité larvicide contre *B. oleae*.

La propriété entomopathogène de *B.t* est liée à la production des inclusions cristallines (toxines Cry). L'activité insecticide de ces toxines sont très spécifique de l'insecte cible : par

exemple, les toxines Cry4 sont actives sur des espèces de Diptères (Bravo et *al.*, 2011; Palma et *al.*, 2014). En plus des toxines Cry, les toxines Cyt aux propriétés cytolytiques ont une activité insecticide spécifique contre certains diptères. Ces toxines capables de former des pores dans les membranes des cellules épithéliales intestinales, induisant une paralysie intestinale et la mort de l'insecte (Bravo et *al.*, 2007).

- **Conclusion**

Les analyses de l'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus* par GC/MS ont montré qu'elle est un chémotype (-)-spathuléol. Ainsi que cette huile présente une propriété insecticide intéressante par effet de contact et de fumigation vis-à-vis les adultes de *B. oleae*.

La formulation commerciale de *B. thuringiensis aizawai* B-401[®] est toxique par ingestion des adultes de *B. oleae*. La mortalité totale s'est produit 5 jours d'application.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Au terme de notre thème de recherche s'intitulant « L'étude de la dynamique des populations de la mouche de l'olivier « *Bactrocera oleae* (Gmelin) : Diptera, tephritidae » et proposition d'un programme de lutte », nous avons pu avoir une masse importante de résultats et d'information sur la dynamique de la population de ce ravageur dans deux étages bioclimatiques différentes (semi-aride « Mascara » et aride « Laghouat »), leur influence sur quelque variétés d'olivier cultivées en relation avec quelques paramètres physiques des fruits et la performance de ce ravageur dans le fruit, ainsi nous avons également pu avoir une connaissance sur le parasitisme naturel dans la région aride. Pour contrôler ce ravageur, une méthode de lutte biologique a été entamée par l'étude de l'effet bio-insecticide d'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* et d'un bio-pesticide de B-401® à base de *Bacillus thuringiensis*.

La partie expérimentale a été réalisée dans une oliveraie dans la station d'Oued Taghia dans la région de Mascara (2019-2020) et dans deux autres oliveraies dans la station de Hamda dans la région de Laghouat (2019-2022).

- Le piégeage des adultes de *B. oleae* nous a permis d'estimer la dynamique de leur population et de déterminer le nombre de génération. Ce ravageur est présent durant toute l'année avec cinq générations dans la région semi-aride, cependant il est absent dans la période estivale et présent avec quatre générations par ans dans la région aride saharienne. En effet, l'activité de ce ravageur est limitée par les fortes chaleurs et l'indisponibilité des fruits réceptifs. Dans les deux régions, l'activité de l'insecte commence à prendre de l'ampleur avec le retour des conditions climatiques favorables (température et humidité) et la réceptivité du fruit. Le nombre total des mouches

observées dans la période d'étude comparative (juin 2019 à avril 2020) est plus important à Laghouat (station 2) (1608 adultes), qu'à Mascara (548 adultes). Concernant la différence de l'activité de l'insecte entre les années dans la région de Laghouat, nous avons remarqué que les fluctuations de cette mouche étaient similaires pour toutes les campagnes en termes de la période de l'apparition de la première mouche, nombre de générations, la période de chaque génération et le sex-ratio. La présente étude dans les deux régions démontre que le sex-ratio des mouches capturées était systématiquement en faveur des mâles en raison de la couleur et la nature des pièges.

- L'échantillonnage des olives a permis d'évaluer les taux d'infestation des fruits par *B. oleae*. Les femelles ont commencé à pondre leurs œufs sur les olives en Septembre, dans les deux régions semi-aride et aride et durant les trois campagnes dans la région de Laghouat lorsque les adultes mâles et femelles deviennent sexuellement matures et les olives deviennent réceptives. Le taux d'infestation a augmenté progressivement au fil du temps pour toutes les variétés jusqu'à la récolte. En 2019, à Mascara, l'orientation cardinale Nord de l'arbre est moins attaquée par la mouche. Tandis que dans la région de Laghouat durant toutes les campagnes, nous avons constaté qu'il n'y a pas d'influence de l'orientation cardinale de l'arbre sur le taux d'infestation.
- Lors de l'étude de la préférence de ponte dans la région de Mascara, nous avons noté que le calibre était corrélé positivement avec l'infestation pour la variété Sigoise et la variété Chemlal. Aussi nous avons également enregistré un taux d'infestation qui était plus élevé pour la variété Sigoise de gros calibre (variété de table) que pour la variété Chemlal à petits fruits. A la fin de la campagne (23 Décembre) le degré d'infestation était important pour les deux variétés (84% et 78%, respectivement) malgré que le calibre restait différent entre les deux variétés (18,48 mm et 13,24 mm, respectivement).

En 2020, dans la région de Laghouat, nous avons constaté qu'en début de campagne (Septembre), la petite taille des olives, leur dureté et leur couleur verte ont contribué dans la réduction de l'infestation. Le taux d'infestation a progressivement augmenté avec l'évolution de la maturité, du poids et du volume au fil du temps pour toutes les variétés. En effet, la variété Sévillane avait des olives les plus grosses et mûri rapidement par rapport aux autres variétés, par conséquent cette variété a été infestée précocement et plus intensément. Tandis que, les olives de la variété Sigoise, suivies des olives Dahbia ont été les plus infestées après Sévillane, et la variété Chemlal à petit fruits a été infestée plus tardivement que les autres. Concernant la forme, nous avons remarqué qu'il n'y avait pas de corrélation entre l'indice de la rondeur et l'élongation et le taux d'infestation, les résultats obtenus ont montré que la forme n'affecte pas toujours la susceptibilité des variétés. En fin de toutes les campagnes, toutes les variétés atteignaient un niveau d'infestation plus important et inacceptable, y compris la variété d'huile d'olive (Chemlal) ayant des petits fruits qui dépassait en 2020 les 90% en l'absence de contrôle. Nous pouvons dire que le chevauchement des générations d'automne et le nombre élevés des individus amenaient les femelles à pondre leurs œufs dans presque tous les fruits non infestés (quel que soit la taille des fruits)

- L'étude des performances larvaire de *B. oleae* au laboratoire a démontré que les fruits durs et non mûres en Septembre pour les trois variétés justifient l'absence de production des pupes. Pour les lots d'Octobre, le nombre total des pupes produites était similaire entre les variétés, tandis que dans les lots de Novembre, les olives de la variété Sigoise ont produit le plus grand nombre des pupes, suivies de Chemlal et de Dahbia. Nos résultats ont démontré que la variété Dahbia possédait le faible nombre moyen d'individus par olive en Octobre et en Novembre. La durée de nymphose n'a montré aucune différence entre les variétés, tandis que les pupes se sont développées

rapidement en 15 jours pour les olives des lots d'Octobre que celles de Novembre en 21 jours pour toutes les variétés. Le taux d'émergence des adultes était supérieur à 90 % pour toutes les variétés dans les lots d'Octobre et de Novembre. Concernant le sex-ratio calculé, il n'a été influencé ni par la variété ni par le temps, il variait entre 0,48 et 0,55.

- *Psytallia (Opius) concolor* était la seule espèce parasitoïde de *B. oleae* qui émergeait lors de l'élevage mis en laboratoire. Le taux de parasitisme était très faible pour toutes les variétés et ne dépassait pas 0,047 %. Ces résultats préliminaires ont donné une idée sur le manque de contrôle biologique naturel dans cette région aride.
- Les résultats du rendement de l'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus* était de 0,36%. L'identification de cette huile par GC/MS a montré qu'elle est un chémotype (-)-spathuléol. Les tests biologiques de toxicité par contact et par fumigation ont démontré que l'huile essentielle d'*E. globulus* présente une propriété insecticide intéressante vis-à-vis les adultes de *B. oleae* (jusqu'à 93,33% par contact et 96,66% par fumigation).
- Les résultats de l'effet de toxicité de B-401[®] par ingestion contre *B. oleae* dans les conditions de laboratoire ont montré qu'à partir du 4^{ème} jour d'observation, le bio-pesticide possédait une efficacité importante, où la mortalité atteignait 100 % au 5^{ème} jour à la concentration de 40 % et au 6^{ème} jour à la concentration de 30%. Les valeurs les plus basses des CL50 et LC90 sont obtenues au 6^{ème} jour, dont 6,88 % du B-401[®] était suffisante pour tuer 50 % des adultes de *B. oleae* et seulement 17,50% pour lutter 90% des adultes.

En perspectives, d'autres points peuvent être abordés afin de compléter cette étude :

- Il faudra approfondir l'étude de la dynamique des populations de la mouche de l'olivier dans d'autres régions aux étages bioclimatiques différentes afin d'établir un calendrier qui identifie la densité, la période d'apparition et le nombre de génération de ce parasite.

CONCLUSION GENERALE

- Des travaux supplémentaires sont donc nécessaires pour vérifier l'influence du parasite par les paramètres chimiques des fruits de l'olive.
- Dans le cadre de la lutte contre ce ravageur, l'étude doit être élargie. Il serait intéressant d'étudier l'effet biologique des plusieurs extraits et huiles essentielles des plantes médicinales, ainsi des activités entomopathogènes par des champignons contre les différents stades de vie de *B. oleae* in vitro et in vivo.
- Elaboration d'un plan de gestion de lutte intégrée permettant de lutter contre ce ravageur au moment le plus opportun.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abbott, W-S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-67.

Aboussaid, H., El Aouame, L., El Messoussi, S., Oufdou, K. 2010. Biological Activity of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) Strains on Larvae and Adults of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Environmental Protection.* 1(4): 337- 345.

Adams, R-P. 2007. *Identification of essential oil components by gas chromatography/ mass spectrometry.* 4th Ed. Allured Publishing Co. Carol Stream, Illinois. 804pp.

Ahmadi, M., Salehi, B., Abd-Alla, A-M-M., Babaie, M. 2018. Feasibility of using the radiation-based sterile insect technique (SIT) to control the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* Gmelin (Diptera: Tephritidae) in Iran. *Applied Radiation and Isotopes.* 139: 279-284. doi:10.1016/j.apradiso.2018.05.032.

Aillaud, G-J. 1985. L'olivier et l'huile d'olive, le point de vue des botanistes. In : L'huile d'olive en Méditerranée. Institut de recherches et d'études sur le monde arabe et musulman : Aix-en-Provence. 167p. (Généré le 21 mars 2017). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/iremam/664>>.

Ait-Mansour, A., Kahim, K., Chemseddine, M., Boumezzough, A. 2015. Study of the Population Dynamics of the Olive Fly *Bactrocera oleae* Rossi. (Diptera, Tephritidae) in the Region of Essaouira. *Open Journal of Ecology.* 5: 174-186.

Alberola, T-M., Aptosoglou, S., Arsenakis, M., Bel, Y., Delrio, G., Ellar, D-J., Ferre, J., Gash, S-P., Granero, F., Koliais, S., Martinez-Sebastian, M-J., Prota, R., Rubino, S., Satta, A., Scarpellini, G., Sivropoulou A., Vasara, E. 1999. Insecticidal activity of strains of *Bacillus thuringiensis* on larvae and adults of *Bactrocera oleae* Gmelin (Dipt. Tephritidae). *Journal of Invertebrate Pathology.* 74: 127-136.

Albertini, A. Marchi, S. Ratti, C. Burgio, G. Petacchi, R. Magagnoli, S. 2018. *Bactrocera oleae* pupae predation by *Ocypus olens* detected by molecular gut content analysis. *BioControl.* 63:227–239. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9860-6>.

Albouchi, F., Ghazouani, N., Souissi, R., Abderrabba, M., Boukhris-Bouhachem, S. 2018. Aphidicidal activities of *Melaleuca styphelioides* Sm. essential oils on three citrus aphids: *Aphis gossypii* Glover; *Aphis spiraecola* Patch and *Myzus persicae* (Sulzer). *S. Afr. J. Bot.* 117: 149–154.

Algérie presse service. 2018. Oléiculture : une production 6.844.606 quintaux (qx) en 2017. [10-04-2020]. <https://www.aps.dz/economie/76300-oleiculture-une-production-6-844-606-quintaux-qx-en-2017>.

- AL-Zaghal, K., Mustapha, T. 1987.** Studies on the pupation of the olive fruit fly *Dacus oleae* Gmel. (Diptera, Tephritidae) in Jordan. *Journal of Applied Entomology*. 103: 452- 456.
- Arambourg, Y. 1986.** *Traité d'entomologie oléicole*. Madrid : Conseil Oléicole International. 330p.
- Arambourg, Y., Pralavorio, R. 1970.** Survie hibernale de *Dacus oleae* Gmel. *Ann. Zool. Ecol. Anim.* 2: 659–662.
- Athar, M. 2005.** Infestation of olive fruit fly, *Bactrocera oleae*, in California and taxonomy of its host trees. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 70 (4): 135-138.
- Atmani-Merabet, G., Belkhiri, A., Dems, M-A., Lalaouna1, A., Khalfaoui, Z., Mosbah, B. 2018.** Chemical composition, toxicity, and acaricidal activity of *Eucalyptus globules* essential oil from Algeria. *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*. 31 (2): 89–93.
- Augustinos, A-A., Stratikopoulos, E-E., Zacharopoulou, A., Mathiopoulos, K-D. 2002.** Polymorphic microsatellite markers in the olive fruit fly, *Bactrocera oleae*. *Mol. Ecol. Notes*. 2: 278–80.
- Ayling, G-P. 1989.** The Queensland fruit fly eradication campaign. *Journal of the Department of Agriculture, Western Australia*. 30 (4): 159-162. https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/journal_agriculture4/vol30/iss4/8.
- Babushok, V.I., Linstrom, P.J., Zenkevich, I.G. 2011.** Retention Indices for Frequently Reported Compounds of Plant Essential Oils. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. 40 (4): 45p.
- Bachouche, N., Kellouche, A., Lamine, S. 2018.** Effects of soil texture and burial depth on the biological parameters of overwintering pupae of *Bactrocera oleae* (Diptera:Tephritidae). *Journal by innovative scientific information and services network*. 15 (2): 663-671.
- Bagnouls, F., Gaussen, H. 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Hist. Nat. Toulouse*. 88: 193-239.
- Barry, J., Blessinger, T., Morse, J. 2004.** Recapture of sterile Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae) in California's preventative release program. *Journal of Economic Entomology*. 97: 1554-1562.
- Başkurt, S., Doğaç, E., Taşkın, V., Taşkın, B-G. 2011.** Frequencies of organophosphate resistance-associated mutations in the acetylcholinesterase gene of field-collected olive fly (*Bactrocera oleae*) populations under different insecticide regimes. *Acta Biologica Hungarica*. 62: 22–33
- Baumhover, A-H., Graham, A-J., Bitter, B-A., Hopkins, D-E., New, W-D., Dudleyandr, F-H., Bushland, C. 1955.** Screwworm control through release of sterilized flies. *J. Econ. Entomol.* 48 : 462–466.

Bekkoussa, S., Bekkoussa, B., Azzaz, H. 2016. La crise de l'eau dans la Wilaya de Mascara (Nord-Ouest Algérien) : diagnostic et perspectives. *Larhyss Journal*. 28: 121-133.

Benabdesslem, Y., Hachem, K., Mébarki, M. 2020. Chemical Composition of the Essential Oil from the Leaves of *Eucalyptus globulus* Labill. Growing in Southwest Algeria, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 23 (5): 1154-1160. DOI: 10.1080/0972060X.2020.1843549.

Benelli, G., Canale, A., Flamini, G., Cioni, P.L., Demi, F., Ceccarini, L., Macchia, M., Conti, B., 2013. Biototoxicity of *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae) essential oil against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), and its parasitoid *Psytalia concolor* (Hymenoptera: Braconidae). *Ind. Crop Prod.* 50: 596–603.

Benelli, G., Flamini, G., Canale, A., Cioni, P.L., Conti, B. 2012. Toxicity of some essential oil formulations against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae). *Crop Prot.* 42: 223–229.

Benelli, G., Pavela, R., Drenaggi, E., Desneux, N., Maggi, F. 2020. Phytol, (*E*)-nerolidol and spathulenol from *Stevia rebaudiana* leaf essential oil as effective and eco-friendly botanical insecticides against *Metopolophium dirhodum*. *Industrial Crops & Products*. 155: 112844. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112844>.

Benhayoun, G., Lazzeri, Y. 2007. *L'olivier en Méditerranée: Du symbole à l'économie*. L'Harmattan: Paris. 137p.

Benlarbi, F., Stoker, P., Yousfi, M. 2018. Investigation of antioxidant and antihemolytic activities of Algerian defatted olive fruits (*olea europaea* L.) at two ripening stages. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. 11: 217–233.

Bigler, F., Neuenschwander, P., Delucchi, V., Michelakis, S. 1986. Natural enemies of preimaginal stages of *Dacus oleae* Gmel. (Dipt., Tephritidae) in Western Crete II: Impact on olive fly populations. *Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria Filippo Silvestri*. 43: 79-96.

Botineau, M. 2010. *Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*. Lavoisier : Paris. 1335 p.

Boulamtat, R., Mesfioui, A., El-Fakhouri, K., Oubayoucef, A., Sabraoui, A., Aasfar, A., El-Bouhssini, M. 2021. Chemical composition and insecticidal activities of four plant essential oils from Morocco against larvae of *Helicoverpa armigera* (Hub.) under field and laboratory conditions. *Crop Protection*. 144: 105607. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105607>.

Boulekbache-Makhlouf, L., Meudec, E., Chibane, M., Mazauric, J-P., Cheynier, V., Slimani, S., Henry, M., Madani, K. 2010. Analysis of phenolic compounds in fruit of *Eucalyptus globulus* cultivated in Algeria by high-performance liquid chromatography diode array detection mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 58: 12615-12624.

- Bourakna, Z., Righi, K., Assia-Righi, F. 2022a.** GC/MS analysis of *Eucalyptus globulus* L. (Myrtaceae) leaves essential oil from Algeria and their insecticidal activity against adults of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae). *J. Essent. Oil Bearing Pl.*, 25: 876-887. DOI: [10.1080/0972060X.2022.2129459](https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2129459).
- Bourakna, Z., Righi, K., Assia-Righi, F. 2022b.** First study of ovipositional preference and developmental performance of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) in an arid zone (Laghouat: Algeria). *J. Entom. Research.* 46 (4): 816-823. DOI: [10.5958/0974-4576.2022.00140.2](https://doi.org/10.5958/0974-4576.2022.00140.2).
- Bravo, A., Gill, S-S., Soberon, M. 2007.** Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon.* 49: 423–435.
- Bravo, A., Likitvivanavong, S., Gill, S-S., Soberón, M. 2011.** *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 41 : 423–431.
- Brezani, V., Smejkal, K. 2013.** Secondary metabolites isolated from the genus *Eucalyptus*, *Trends Heat Mass Transfer*, 7: 65-95.
- Brochard, D., Prat, J-Y. 2007.** *Le traité Rustica des arbres fruitiers maîtriser les techniques, créer un petit verger, protéger et soigner, connaître et cultiver toutes les espèces fruitières.* Rustica : Paris. 455p.
- Broufas, G-D., Pappas, M-L., Koveos, D-S. 2009.** Effect of relative humidity on longevity, ovarian maturation, and egg production in the olive fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America.* 102: 70–75. <https://doi.org/10.1603/008.102.0107>.
- Broumas, T., Haniotakis, G., Liaropoulos, C., Tomazou, T., Ragoussis, N. 2002.** The efficacy of an improved form of the mass-trapping method, for the control of the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Dipt., Tephritidae): Pilotscale feasibility studies. *Journal of Applied Entomology.* 126 (5): 217–223.
- Burrack, H-J., Bingham, R., Price, R., Connell, J-H., Phillips, P-P., Wunderlich, L., Vossen, P-M., O'Connell, N-V., Ferguson, L., Zalom, F-G. 2011.** Understanding the Seasonal and Reproductive Biology of Olive Fruit Fly Is Critical to Its Management. *California Agriculture.* 65: 14-20. <http://dx.doi.org/10.3733/ca.v065n01p14>.
- Burrack, H-J., Connell, J-H., Zalom, F-G. 2008.** Comparison of olive fruit fly (*Bactrocera oleae* (Gmelin)) (Diptera: Tephritidae) captures in several commercial traps in California', *International Journal of Pest Management*, 54 (3): 227 — 234. DOI: 10.1080/09670870801975174.
- Burrack, H-J., Zalom, F-G. 2008.** Olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) ovipositional preference and larval performance in several commercially important olive varieties in California. *Journal of Economic Entomology.* 101 (3):750–758.

- C.C.I Mascara. 2022.** Rapport représentatif. [05-06-2022]. <https://www.cci-mascara.com/mascara/>.
- C.D.F Laghouat. 2013.** Biographie de la région de Laghouat. Rapport. 5p.
- C.O.I. 2011.** Guide pour la détermination des caractéristiques des olives à huile. COI/OH/Doc. n° 1. 34 p.
- C.O.I. 2020.** [19/02/2022]. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2020/12/HO-W901-23-11-2020-P.pdf>.
<https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2020/12/OT-W901-23-11-2020-P.pdf>.
- C.O.I. 2021.** Newsletter. *Conseil Oléicole International*. N° 160 : 23 p. [19/02/2022]. https://onagrihome.files.wordpress.com/2021/03/newsletter_ioc-160_fr.pdf.
- C.O.I. 2022.** The world of olive oil. [16/09/2022]. <https://www.internationaloliveoil.org/the-world-of-olive-oil/?lang=fr>.
- Caleca, V., Rizzo, R. 2007.** Tests on the effectiveness of kaolin and copper hydroxide in the control of *Bactrocera oleae* (Gmelin). *Integrated Protection of Olive Crops IOBC/wprs Bull.* 30 (9) : 111-117.
- Canale, A., Benelli, G., Conti, B., Lenzi, G., Flamini, G., Francini, A., Cioni, P.L. 2013.** Ingestion toxicity of three Lamiaceae essential oils incorporated in protein baits against the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae). *Nat. Prod. Res.* 27 (22) : 2091–2099.
- Cavalloro, R. 1984.** Integrated Pest Control in olive groves, Proceeding of the CEC/FAO/IOBC International Joint Meeting, Pisa, 3-4 April 1984.
- Chantraine, J-M., Laurent, D., Ballivian, C., Saavedra, G., Ibañez, R., Vilaseca, L-A. 1998.** Insecticidal activity of essential oils on *Aedes aegypti* larvae. *Phytother. Res.* 12: 350–354.
- Cheng, L., Dongliang, L., Yang, W., Shanshan, G., Di, Z., Shushan, D. 2019.** Chemical Composition and Insecticide Efficacy of Essential Oils from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle Against *Tribolium castaneum* Herbst in Stored Medicinal Materials, *Journal of Essential Oil Bearing Plants.* 22(5): 1182-1194. DOI: 10.1080/0972060X.2019.1685914.
- Cherubini, P., Humbel, T., Beckman, H., Gärtner, H., Mannes, D., Pearson, C., Schoch, W., Tgnetti, R., Lev-Yadum, S. 2013.** Olive Tree-Ring Problematic Dating: A Comparative Analysis on Santorini (Greece). *PLOS ONE.* 8 (1) : 1-5. [doi:10.1371/journal.pone.0054730](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054730).

- Chevalier, A. 1948.** L'origine de l'Olivier cultivé et ses variations. *Revue internationale de botanique appliquée & d'agriculture tropicale*. 28 (303-304) : 1-25p. Document généré le 30/03/2016. http://www.persee.fr/doc/jatba_0370-5412_1948_num_28_303_2098.
- Civantos, M. 1999.** *Olive pest and disease management*. International Olive Oil Council. Collection Practical Handbooks. 207 pp.
- Courboulex, M. 2005.** *Les oliviers*. Rustica : Paris. 119p.
- D.P.A.T. 2010.** Présentation de la Wilaya de Laghouat. Monographie DPAT. 15-20 p.
- D.S.A Laghouat. 2021.** Monographie : secteur Agriculture. Laghouat.
- D.S.A. 2022.** Rapport statistique. Laghouat.
- D.S.A. 2022.** Rapport statistique. Mascara.
- Daane, K-M., Johnson, M-W. 2010.** Olive fruit fly: Managing an ancient pest in modern times. *Annual Review of Entomology*. 55(1): 151–169. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090553>.
- Daroui-Mokaddem, H., Kabouche, A., Bouacha, M., Soumati, B., El-Azzouny, A., Bruneau, C., Kabouch, Z. 2010.** GC/MS Analysis and Antimicrobial Activity of the Essential Oil of Fresh Leaves of *Eucalyptus globulus*, and Leaves and Stems of *Smyrniololus atrum* from Constantine (Algeria). *Natural Product Communications* 5 (10) : 1669 – 1672.
- Delimi, A., Taibi, F., Fissah, A., Gherib, S., Bouhkari, M., Cheffrou, A. 2013.** Bio-activité des huiles essentielles de l'Armoise blanche *Artemisia herba alba* : effet sur la reproduction et la mortalité des adultes d'un ravageur des denrées stockées *Ephesia kuehniella* (Lepidoptera). *Afrique SCIENCE*. 09 (3) : 82 – 90.
- Delrio G. 2010.** Biological control of olive pests in the Mediterranean region. *Integrated Protection of Olive Crops IOBC/wprs Bull.* 53: 85-92.
- Dinis, A-M., Pereira, J-A., Pimenta, M-C., Oliveira, J., Benhadi-Marin, J., Santos, S-A-P. 2016.** Suppression of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) pupae by soil arthropods in the olive grove. *J. Appl. Entomol.* 140: 677–687.
- Djellouli, R., Hamel, L., Chadli, A., Latreche, A. et Mesri, N. 2007.** Analyse et évaluation des ressources hydriques dans la wilaya de Mascara. *Revue des Energies Renouvelables ICRES D.* 07 : 35 – 40.
- Djenane, D., Yangüela, J., Amrouche, T., Boubrit, S., Boussad, N., Roncalés, P. 2010.** Chemical composition and antimicrobial effects of essential oils of *Eucalyptus globulus*, *Myrtus communis* and *Satureja hortensis* against *Escherichia coli* O157:H7 and

Staphylococcus aureus in minced beef. *Food Science and Technology International*. 17(6): 505–515. DOI: 10.1177/1082013211398803.

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., Safaralizadeh, M.H., Pourmirza, A.A., Ghosta, Y. 2010. Contact and fumigant toxicity of essential oils of *Lavandula stoechas* L. and *Eucalyptus globulus* Labill grown in Iran against *Lasioderma serricornis* F. *Biharean Biologist*. 4(1): 31-36.

Economopoulos, A-P. 1977. Gamma-ray sterilization of *Dacus oleae* (Gmelin) Effect of nitrogen on the competitiveness of irradiated males. *Z. Angew. Ent.* 83: 86–95. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0418.1977.tb02377.x>.

El Haidani, A., Chakri, M., Mostakim, M., El Mzibri, M., Boudouma, J., El Hassouni, M., Haggoud, A., Iraqui, M-H., Houari, A., Ibsouda, S-K. 2008. Isolation and characterisation of yeast strains for the olive fly *Bactrocera oleae* biological control. *Moroccan J Biol*. 2:19–29

Emberger, L. 1955. Une classification biogéographique des climats. *Travaux de l'Institut Botanique. Montpellier*. 7 : 3- 43.

Estes, A-M., Nestel, D., Belcari, A., Jessup, A., Rempoulakis, P., Economopoulos, A-P. 2011. A basis for the renewal of sterile insect technique for the olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi). *Journal of Applied Entomology*. 136: 1–16.

FAO-Stat. 2022. [19/02/2022]. <https://www.fao.org/faostat/fr/#compare>. https://www.fao.org/faostat/fr/#rankings/countries_by_commodity.

Federici, B.A. 1999. A perspective on pathogens as biological control agents for insects pests. In Bellows, T.S., Fisher, T.W. (ed). *Handbook of Biological Control*. 575-593.

Feng, Y-X., Zhang, X., Wang, Y., Chen, Z-Y., Lu, X-X., Du, Y-S., Du, S-S. 2021. The potential contribution of cymene isomers to insecticidal and repellent activities of the essential oil from *Alpinia zerumbet*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 157: 105138. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.105138>.

Finney, D-J. 1978. Statistical Method in Biological Assay. Griffin (3th Ed). London. 505p.

Fletcher, B-S. Kapatos, E-T. 1983. The influence of temperature, diet and olive fruits on the maturation rates of female olive flies at different times of the year. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 33: 244–252. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1983.tb03264.x>.

Fletcher, B-S., Pappas, S. Kapatos, E. 1978. Changes in the ovaries of olive flies (*Dacus oleae* (Gmelin)) during the summer, and their relationship to temperature, humidity and fruit

availability. *Ecological Entomology*. 3: 99–107. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1978.tb00908.x>.

Galanakis, C-M. 2011. Olive fruit dietary fiber: components, recovery and applications. *Trends in Food Science & Technology*. 22 : 175-184.

Gaouar, N. 1996. Apport de la biologie des populations de la mouche de l'olive *Bactrocera* (=Dacus) *oleae* (Gmelin) à l'optimisation de son contrôle dans la région de Tlemcen. Thèse de Doctorat, Institut de Biologie, Université de Tlemcen, Algérie. 116p.

Gaouar, N., Debouzie, D. 1991. Olive Fruit Fly *Dacus oleae* Gmel (Diptera, Tephritidae) Damage in Tlemcen Region Algeria. *Journal of Applied Entomology*. 112: 288-297. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0418.1991.tb01058.x>

Garantonakis, N., Varikou, K., Birouraki, A. 2017a. Influence of olive variety on biological parameters of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Appl Entomol Zool*. 52:189–196.

Garantonakis, N., Varikou, K., Birouraki, A. 2017b. Parasitism of *Psytallia concolor* (Hymenoptera: Braconidae) on *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) infesting different olive varieties. *Phytoparasitica*. 45:461–469.

Genç, H. 2014. Embryonic development of the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* Rossi (Diptera: Tephritidae), in vivo. *Turkish Journal of Zoology*. 38: 598-602. DOI: 10.3906/zoo-1305-19.

Genç, H., Nation, J-L. 2008a. Maintaining *Bactrocera oleae* (Gmelin.) (Diptera: Tephritidae) colony on its natural host in the laboratory. *J. Pest Sci*. 81 (3) : 167–174.

Genç, H., Nation, J-L. 2008b. Survival and development of *Bactrocera oleae* Gmelin (Diptera: Tephritidae) immature stages at four temperatures in the laboratory. *Afr. J. Biotechnol*. 7: 2495–500.

Gonçalves, F-M., Rodrigues, M-C., Pereira, J-A., Thistlewood, H., Torres, L-M. 2012a. Natural mortality of immature stages of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) in traditional olive groves from north-eastern Portugal. *Biocontrol Science and Technology*. 22: 837–854. <https://doi.org/10.1080/09583157.2012.691959>.

Gonçalves, M-F., Malheiro, R., Casal, S., Torres, L., & Pereira, J-A. 2012b. Influence of fruit traits on oviposition preference of the olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae), on three Portuguese olive varieties (Cobrançosa, Madural and Verdeal Transmontana). *Scientia Horticulturae*. 145: 127-135.

Grbovic, S., Orcic, D., Couladis, M., Jovin, E., Bugarin, D., Balog, K., Mimica-Dukic, N. 2010. Variation of essential oil composition of *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae) from the Montengero coastline. *Acta. Period. Technol*. 41: 151-158.

- Gümusay, B., Ozilbey, U., Ertem, G., Otkar, A. 1990.** Studies on the susceptibility of some important table and oil olive cultivars of Aegean region to olive fly (*Dacus oleae* Gmel.) in Turkey. *Acta Hortic.* 286: 359–361.
- Hamdan, A-J. 2016.** Bionomics of Olive Fruit Fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) [Diptera: Tephritidae] Infesting Ten Olive Cultivars in the Southern Highlands of West-Bank, Palestine. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*. 27 (3): 194-203.
- Hamiche, A. 2015.** Impact de la mouche de l'olive sur la qualité des huiles issues des oliviers cultivés en Kabylie. Thèse de Doctorat. Ecole normale supérieure agronomique. Alger (Algérie). 251p.
- Haniotakis, G-E., Voyadjoglou, A. 1978.** Oviposition regulation in *Dacus oleae* by various olive fruit characters. *Entomol. Exp. Appl.* 24: 187–192.
- Harizia, A., Benguerai, A., Boukhari, Y. 2020.** Toxicity and repellency of *Eucalyptus globulus* L. essential oil against *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) (Homoptera : Aphididae). *Journal of Entomological Research*. 44 (1) : 147-152.
- Harkat-Madouri, L., Asma, B., Madani, K., Bey-Ould Si Said, Z., Grenier, D., Allalou, H., Remini, H., Adjaoud, A., Boulekbache-Makhloufa, L. 2015.** Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of *Eucalyptus globulus* from Algeria. *Ind. Crop. Prod.* 78: 148-153.
- Hassani, F., Gaouar-Benyelles, N. 2008.** Application of *Bacillus thuringiensis* (Bti) struggling microbiological control of the fruit fly *Ceratitidis capitata* (wied) (Diptera: Tephritidae). *IBSCientific Journal of Science*. 3 (1): 10-13.
- Henry, S. 2003.** L'huile d'olive : son intérêt nutritionnel, ses utilisations en pharmacie et en cosmétique. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine : Franc. 91pp.
- Hoelmer, K-A., Kirk, A-A., Pickett, C-H., Daane, K-M., Johnson, M-W. 2011.** Prospects for improving biological control of olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae), with introduced parasitoids (Hymenoptera), *Biocontrol Science and Technology*. 21: 1005-1025.
- Hofte, H., Whitely, H-R. 1989.** Insecticidal Crystal Proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiological Reviews*. 53 (2): 242-255.
- Iannotta N, Perri L, Tocci C, Zaffina F. 1999.** The behavior of different olive cultivars following attacks by *Bactrocera oleae* (Gmel.). *Acta Hortic.* 474: 545–548.
- Iannotta, N. Noce, M-E. Ripa, V. Scalercio, S. Vizzarri, V. 2007.** Assessment of susceptibility of olive cultivars to the *Bactrocera oleae* (Gmelin, 1790) and *Camarosporium*

dalmaticum (Thum.) Zachos & Tzav.-Klon. Attacks in Calabria (Southern Italy). *J Environ Sci Health*. 42: 789-793.

Ilias, F., Gaouar, N., Medjdoub, K., Kallassy-Awad, M. 2013. Insecticidal Activity of *Bacillus thuringiensis* on Larvae and Adults of *Bactrocera oleae* Gmelin (Diptera:Tephritidae). *Journal of Environmental Protection*. 4: 480-485
<http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.45056>.

Isman, M-B. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Ann. Rev. Entomol*. 51: 45–66.

Jerbi, A., Derbali, A., Elfeki, A., Kammoun, M. 2017. Essential oil composition and biological activities of *Eucalyptus globulus* leaves extracts from Tunisia. *J. Essent. Oil-Bear. Plants*. 20 (2): 438-448.

Jiménez, A., Esteban, J-R., Castillo, E., Melero, F-J., Avileés, M. 2002. Lucha integrada en el olivar: ensayos en condiciones reales y nuevas metodologías. Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva; April 23–24; Madrid (España).

Kakani, E-G., Mathiopoulos, K-D. 2008. Organophosphate resistance-related mutations in the acetylcholinesterase gene of Tephritidae. *J. Appl. Entomol*. 132:762–71

Katsoyannos, B-I., Kouloussis, N-A. 2001. Captures of the olive fruit fly *Bactrocera oleae* on spheres of different colours. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 100: 165–172.

Khadraoui, A. 2004. *Eaux et sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement)*. Ouargla : Houma. 393p.

Kombargi, W-S., Michelakis, S-E., Petrakis, C-A. 1998. Effect of olive surface waxes on oviposition by *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol*. 91: 993-998.

Konstantopoulou, M-A., Mazomenos, B-E. 2005. Evaluation of *Beauveria bassiana* and *B. brongniarti* Strains and Four Wild-Type Fungal Species against Adults of *Bactrocera oleae* and *Ceratitis capitata*, *BioControl*. 50: 293-305.

Konstantopoulou, M-A., Milonas, P., Mazomenos, B-E. 2006. Partial purification and insecticidal activity of toxic metabolites secreted by a *Mucor hiemalis* strain (SMU-21) against adults of *Bactrocera oleae* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol*. 99: 1657-1664.

Kuba, H., Kohama, T., Kakinohana, H., Yamagishi, M., Kinjo, K., Sokei, Y., Nakasone, T., Nakamoto, Y. 1996. The successful eradication programs of the melon fly in Okinawa. In: Fruit fly pests: a world assessment of their biology and management, B. McPherson, and G. Steck. Delray Beach, Florida, St Lucie Press. 543-550p.

- Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., Satya, S. 2012.** Compositional analysis and insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* (Family: Myrtaceae) essential oil against housefly (*Musca domestica*). *Acta trop.* 122: 212-218.
- Lespinasse, J-M., Leterme, E. 2005.** *De la taille à la conduite des arbres fruitiers.* Rouergue : Bordeaux. 328p.
- Loudhaief, R. 2016.** Effets des bioinsecticides à base de *Bacillus thuringiensis* sur la physiologie intestinale de la Drosophile. Thèse de Doctorat. Sciences agricoles. Université Nice Sophia Antipolis. Français.
- Loussert, R., Brousse, G. 1978.** *L'olivier technique agricole et production méditerranéenne.* Maisonneuve et larose : Paris. 437p.
- Loziene, K., Venskutonis, P.R. 2005.** Influence of environmental and genetic factors on the stability of essential oil composition of *Thymus pulegioides*. *Biochem. Syst. Ecol.* 33: 517-525.
- Maciel, M-V., Morais, S-M., Bevilaqua, C-M-L., Silva, R-A., Barros, R-S., Sousa, R-N. 2010.** Chemical composition of *Eucalyptus spp.* Essential oils and their insecticidal effects on *Lutzomyia longipalpis*. *Vet. Parasitol.* 167: 1-7.
- Mahmoud, M-F. 2009.** Pathogenicity of three commercial products of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Lecanicillium lecanii* against adults of olive fly, *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Diptera: Tephritidae) in the laboratory. *Plant Prot. Sci.* 45: 98-102.
- Malheiro, R, Casal, S, Baptista, P, Pereira, J-A. 2015.** A review of *Bactrocera oleae* (Rossi) impact in olive products :From the tree to the table. *Trends in Food Science and Technology*, 44: 226-242.
- Mami, I-R., Belabbes, R., Dib, M-E-A., Tabti, B., Costa, J., Muselli, A. 2020.** Biological Activities of Carlina Oxide Isolated from the Roots of *Carthamus caeruleus*. *The Natural Products Journal*, 10(2): 145-152.
- Marchi, S., Guidotti, D., Ricciolini, M., Petacchi, R. 2016.** Towards understanding temporal and spatial dynamics of *Bactrocera oleae* (Rossi) infestations using decadelong agrometeorological time series. *International journal of biometeorology.* 60 (11) : 1681-1694. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1159-2>.
- Marchini, D., Petacchi, R., Marchi, S. 2017.** *Bactrocera oleae* reproductive biology: new evidence on wintering wild populations in olive groves of Tuscany (Italy). *Bulletin of Insectology.* 70 (1): 121-128.

- Margaritopoulos, J-T., Skavdis, G., Kalogiannis, N., Nikou, D., Morou, E. 2008.** Efficacy of the pyrethroid alpha-cypermethrin against *Bactrocera oleae* populations from Greece, and improved diagnostic for an iAChE mutation. *Pest Manage. Sci.* 64: 900–908.
- Mavraganis, V-G. Papadopoulos, N-T. Kouloussis, N-A. 2010.** Extract of olive fruit fly males (Diptera: Tephritidae) attract virgin females. *Entomologia Hellenica.* 19 (1): 14-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.12681/eh.11590>.
- Mavragani-Tsipidou, P. 2002.** Genetic and cytogenetic analysis of the olive fruit fly *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Genetica.* 116: 45–57.
- Medjkouh, L., Costa, A., Tamendjari, A., Bekdouche, F., Bouarroudj, K., Oliveira, M-B-P-P. 2018b.** Susceptibility of eight Algerian olive cultivars to *Bactrocera oleae* infestation –a pomological and nutritional quality perspective. *Phytoparasitica.* 46: 595–605. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0697-z>.
- Medjkouh, L., Tamendjari, A., Alves, C. R., Laribi, R., & Oliveira, B. 2018.** Phenolic profiles of eight olive cultivars from Algeria: Effect of *Bactrocera oleae* attack. *Food & Function.* 9 : 890–897.
- Mejdoub, K., Mami, I-R., Belabbes, R., Dib, M-E A., DJabou, N., Tabti, Boufeldja., Benyelles, N-G., Costa, J., Muselli, A. 2020.** Chemical Variability of *Atractylis gummifera* Essential Oils at Three Developmental Stages and Investigation of Their Antioxidant, Antifungal and Insecticidal Activities. *Current Bioactive Compounds.* 16 (4): 489-497.
- Mendil, M., Sebai, A. 2006.** Catalogue national des variétés d’olivier. Alger : Institut technique de l’arboriculture fruitière et de la vigne (ITAFV). 99p.
- Mossi, A-J., Astolfi, V., Kubiak, G., Lerin, L., Zanella, C., Toniazzo, G., Oliveira, D., Treichel, H., Devilla, I-A, Cansian, R., Restello, R. 2010.** Insecticidal and repellency activity of essential oil of *Eucalyptus* sp. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *J Sci Food Agric.* 91: 273–277. DOI: 10.1002/jsfa.4181.
- Mostakim, M., El abed, S., Iraqui, M., Fikri-Benbrahim, K., Houari, A., Soussi-Gounni, A., Koraichi-Ibnsouda, S. 2012.** Biocontrol potential of a *Bacillus subtilis* strain against *Bactrocera oleae*. *Ann Microbiol.* 62 : 211–216. DOI 10.1007/s13213-011-0248-z.
- Murphy, S-D. 1986.** Toxic effects of pesticides, pp. 519-581. In: *Casarett and Doull’s toxicology: The basic science of poisons.*- MacMillan, New York, USA.
- Navrozidis, E-I., Vasara, E., Karamanlidou, G., Salpiggidis, G-K., Koliais, I. 2000.** Biological Control of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) Using a Greek *Bacillus thuringiensis* Isolate. *J. Econ. Entomol.* 93(6): 1657-1661
- Neuenschwander, P., Bigler, F., Delucchi, V., Michelakis, S. 1983.** Natural enemies of preimaginal stages of *Dacus oleae* Gmel., (Dipt., Tephritidae) in Western Crete. I.

Bionomics and Phenologies. *Bollettino del Laboratorio Entomologia Agraria «F. Silvestri»*. 40: 3-32.

Neuenschwander, P., Michelakis, S. 1978. Infestation of *Dacus oleae* (Gmel.) (Diptera, Tephritidae) at harvest time and its influence on yield and quality of olive oil in Crete. *Journal of Applied Entomology*. 86: 420–33.

Neuenschwander, P., Michelakis, S., Holloway, P., Berchtold, W. 1985. Factors affecting the susceptibility of fruits of different olive varieties to attack by *Dacus oleae* (Gmel.) (Diptera: Tephritidae). *Z Ang Entomol.* 100: 174–188.

Neuenschwander, P., Michelakis, S., Kapatos, E. 1986. *Dacus oleae* (Gmel). In Arambourg, Y. (Ed). *Traite d'entomologie oléicole*. Conseil Oléicole International : Madrid, 115-159.

Noyes, J-S. 2011. Universal Chalcidoidea Database. Available from: <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/chalcidoids/database/index.dsml>.

O.N.M Laghouat. 2022. Bulletin d'information climatique. Station météorologique Kheneg (Laghouat).

O.N.M Mascara. 2022. Bulletin d'information climatique. Station météorologique Ghris (Mascara).

Oliver, J-E. 2005. *ENCYCLOPEDIA of WORLD CLIMATOLOGY. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. ed. Dordrecht, the Netherlands: Springer. 854 p.

Ozenda, P. 1982. *Les végétaux dans la biosphère*. Paris : Doin. 431 p.

Palma, L., Muñoz, D., Berry, C., Murillo, J., Caballero, P. 2014. *Bacillus thuringiensis* Toxins: An Overview of Their Biocidal Activity. *Toxins (Basel)*. 6 : 3296–3325.

Papachristos, D-P., Stamopoulos, D-C. 2004. Toxicity of vapours of three essential oils to the immature stages of *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*. 40: 517–525.

Pappas, M-L. Broufas, G-D. Koufali, N. Pieri, P. Koveos, D-S. 2010. Effect of heat stress on survival and reproduction of the olive fruit fly *Bactocera (Dacus) oleae*. *J. Appl. Entomol.* 135 : 359–366. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2010.01579.x.

Patanita, M.I.; Cardoso, M.; Mexia, A., 1997. Contribuição para a avaliação dos prejuízos causados pela mosca da azeitona – *Bactrocera oleae* (Gmelin) no Alentejo. IV Encontro Nacional de Protecção Integrada, Universidade dos Açores, p397-403.

Pavão, F., Pereira, J.A., Bento, A. 2007. Mass-trapping of the olive fruit fly with Olipe traps in Trás-os-Montes region (Northeast of Portugal). 3rd European Meeting of the IOBC/WPRS Working Group —*Integrated Protection of Olive Crops*. Polytechnic Institute of Bragança.

Pavlidou, V., Karpouhtsis, I., Franzios, G., Zambetaki, A., Scouras, Z., Mavragani-Tsipidou, P. 2004. Insecticidal and genotoxic effects of essential oils of Greek sage, *Salvia fruticosa*, and mint, *Mentha pulegium*, on *Drosophila melanogaster* and *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *J Agr Urban Entomol.* 21:39–49.

Pertíñez, Á-M., Vélez, P-M. 2020. A *Bactrocera oleae* (Rossi) damage estimation model to anticipate pest control strategies in olive production. *Crop Protection.* 137 (2): 105281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105281>.

Prévost, P. 1999. *Les bases de l'agriculture*. Paris: Technique et documentation. 243 p.

Quesada-Moraga, E., Santiago-Álvarez, C., Cubero-González, S., Casado-Mármol, G., Ariza-Fernández, A., Yousef, M. 2018. Field evaluation of the susceptibility of mill and table olive varieties to egg-laying of olive fly. *Journal of Applied Entomology.* 142: 765–774. DOI: 10.1111/jen.12524.

Rapoport, H-F., Fabbari, A., Sebastiani, L. 2016. Olive biology. In: Rugini, E et al. *The Olive Tree Genome*. Springer. 13-25p. (Compendium of Plant Genomes).

Ras, E., Beukeboom, L-W., Càceres, C., Bourtzis, K. 2017. Review of the role of gut microbiota in mass rearing of the olive fruit fly, *Bactrocera oleae*, and its parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata.* 164: 237–256.

Références bibliographiques

Regnault-Roger, C., Vincent, C., Arnason, J-T. 2012. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annu.Rev. Entomol.* 57: 405-424.

Rice, R-E. 2000. Bionomics of olive fruit by *Bactrocera (Dacus) oleae*. *University of California Plant Protection Quarterly.* 10: 1-5.

Rice, R-E., Phillips, P-A., Stewart-Leslie, J., Sibbett, G-S. 2003. Olive fruit fly populations measured in Central and Southern California. *California Agriculture.* 57 (4): 122–7.

Rizzo, R., Caleca, V., Lombardo, A. 2012. Relation of fruit color, elongation, hardness, and volume to the infestation of olive cultivars by the olive fruit fly, *Bactrocera oleae*. *Entomol Exp Appl.* 145 (1): 15–22.

Rizzo, R., Verde, G. L., Sinacori, M., Maggi, F., Cappellacci, L., Petrelli, R., Vittori, S., Morshedloo, M. R., Fofie, N'G. B. Y., Benelli, G. 2020. Developing green insecticides to manage olive fruit flies? Ingestion toxicity of four essential oils in protein baits on *Bactrocera oleae*. *Industrial Crops & Products*, 143: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111884>.

Rugman-Jones, P-F., Wharton, R., Noort, T-V., Stouthamer, R. 2008. Molecular differentiation of the *Psytalia concolor* (Szépligeti) species complex (Hymenoptera: Braconidae) associated with olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae), in Africa. *Biological Control.* 49 : 17–26.

- Russo, S., Cabrera, N., Chludil, H., Yaber-Grass, M., Leicac, H-S. 2015.** Insecticidal activity of young and mature leaves essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill. against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chil. J. Agr. Res.* 75: 375-79.
- Russo, S., Yaber Grass, M-A., Fontana, H-C., Leonelli, E. 2018 .** Actividad insecticida del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* sobre *Aphis nerii* (Boyer) y *Gynaikothrips ficorum* (Marchal). *Agriscientia.* 35: 63-67.
- Salari, M-H., Amine, G., Shirazi, M-H., Hafezi, R., Mohammad, M. 2005.** Antibacterial effects of *Eucalyptus globulus* leaf extract on pathogenic bacteria isolated from specimens of patients with respiratory tract disorders. *Clin. Microbiol. Infect.* 12: 194-196.
- Salem, N., Kefi, S., Tabben, O., Ayed, A., Jallouli, S., Feres, N., Hammami, M., Khammassi, S., Hrigua, I., Nefisi, S., Sghaier, A., Limam, F., Elkahoui, S. 2018.** Variation in the chemical composition of *Eucalyptus globulus* essential oil under phenological stages and evidence synergism with antimicrobial standards. *Ind. Crop. Prod.* 124: 115-125.
- Santedz. 2008.** L'Olivier, l'huile l'olive. [31-01-2022]. <https://www.santedz.com/conseils/2008/6/21/l-olivier-l-huile-l-olive>.
- Santiago-Álvarez, C., Quesada-Moraga, E. 2007.** The olive fruit fly *B. Oleae*. 26: 60–61.
- Sarma, N., Gogoi, R., Loying, R., Begum, T., Munda, S., Pandey, S.K. and Lal, M. 2021.** Phytochemical composition and biological activities of essential oils extracted from leaves and flower parts of *Corymbia citriodora* (Hook.). *J. Environ. Biol.* 42: 552-562. [http://doi.org/10.22438/jeb/42/2\(SI\)/SI-285](http://doi.org/10.22438/jeb/42/2(SI)/SI-285).
- Schoonhoven, L-M., Jermy, T., van Loon, J-J-A. 1998.** Insect-plant biology: from physiology to evolution. Chapman & Hall, New York.
- Semari, K., Benayada, L., Chergui, M., Alam, B. 2012.** État des ressources hydriques de la wilaya de Mascara (Algérie). *Techniques Sciences Méthodes.* 11 : 71-80.
- Sime, K-R., Daane, K-M., Messing, R-H., Johnson, M-W. 2006a.** Comparison of two laboratory cultures of *Psytalia concolor* (Hymenoptera: Braconidae), as a parasitoid of the olive fruit fly. *Biological Control* . 39: 248–255.
- Sime, K-R., Daane, K-M., Nadel, H., Funk, C-S., Messing, R-H., Andrews, J-W., Johnson, M-W., Pickett, C-H. 2006b.** *Diachasmimorpha longicaudata* and *D. kraussii* (Hymenoptera: Braconidae), potential parasitoids of the olive fruit fly. *Biocontrol Science and Technology.* 16(2): 169- 179.
- Sirjani, F-O., Lewis, E-E., Kaya, H-K. 2009.** Evaluation of entomopathogenic nematodes against the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Biological Control.* 48(3): 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.11.002>

- Sivropoulou, A., Haritidou, L., Aptosoglou, S., Koliais, S. 2000.** Correlation of the insecticidal activity of the *Bacillus thuringiensis* A4 strain against *Bactrocera oleae* (Diptera) with the 140-kDa crystal polypeptide. *Curr. Microbiol.* 41(4):262-6.
- Skouras, P-J., Margaritopoulos, J-T., Seraphides, N-A., Ioannides, I-M., Kakani, EG., Mathiopoulos, K-D., Tsitsipis, J-A. 2007.** Organophosphate resistance in olive fruit fly, *Bactrocera oleae*, populations in Greece and Cyprus. *Pest Management Science.* 63(1): 42–48. <https://doi.org/10.1002/ps.1306>.
- Stewart, P. 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord.* Alger. 59-14 p.
- Suthisut D., Fields P.G., Chandrapatya A. 2011.** Contact toxicity, feeding reduction, and repellency of essential oils from three plants from the Ginger Family (Zingiberaceae) and their major components against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *J. Econ. Entomol.* 104 (4): 1445–1454.
- Topuz, H., Durmusoglu, E. 2008.** The effect of early harvest on infestation rate of *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Diptera: Tephritidae) as well as yield, acidity and fatty acid composition of olive oil. *Journal of Plant Diseases and Protection.* 115: 186-191.
- Torrini, G., Mazza, G., Benvenuti, C., Roversi, P-F. 2017.** Susceptibility of olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) pupae to entomopathogenic nematodes. *Journal of Plant Protection Research.* 57(3) : 318–320. <https://doi.org/10.1515/jppr-2017-0030>.
- Torrini, G., Mazza, G., Benvenuti, C., Simoncini, S., Landi, S., Frosinini, R., Rocchini, A., Roversi, P-F. 2020.** Entomopathogenic nematodes as potential biocontrol agents against *Bactrocera oleae* (Diptera:Tephritidae), *Biocontrol Science and Technology.* 30(9): 1-11.
- Trapp, S-C., Croteau, R.B. 2001.** Genomic organization of plant terpene synthases and molecular evolutionary implications. *Genetics.* 158: 811–832.
- Tsitsipis, J-A. 1977.** Effect of constant temperatures on eggs of olive fruit fly, *Dacus oleae* (Diptera: Tephritidae). *Annales de Zoologie Ecologie Animale.* 9: 133–139.
- Tzanakakis, M-E. 2003.** Seasonal development and dormancy of insects and mites feeding on olive: a review. *Neth J Zool.* 52(2–4) : 87–224.
- Usman, L-A., Oguntoye, O-S., Ismaeel, R-O. 2020.** Effect of Seasonal Variation on Chemical Composition, Antidiabetic and Antioxidant Potentials of Leaf Essential Oil of *Eucalyptus globulus* L., *Journal of Essential Oil Bearing Plants.* 23:6, 1314 1323.
- Valentim, P-S-C. 2017.** Integration of different control means against the olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) in sustainable olive growing. Thèse de Doctorat: Institut Supérieur d’Agronomie, Université de Lisboa. 184p.

- Vontas, J-G., Cosmidis, N., Loukas, M., Tsakas, S., Hejazi, J., Ayoutanti, A., Hemingway, J. 2001.** Altered Acetylcholinesterase confers organophosphate resistance in *Bactrocera oleae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 71: 124-132.
- Wang, X.G., Nadel, H., Johnson, M-W., Daane, K-M., Hoelmer, K., Walton, V-M., Pickett, C-H., Sime, K-R., 2008.** Crop domestication relaxes both bottom-up and top-down effects on a specialist herbivore. *Basic and Applied Ecology*. 10(3): 216-227.
- Wang, X-G-H. Nadel, M-W. Johnson, K-M. Daane, K. Hoelmer, V-M. Walton, C-H. Pickett, K. Sime, R. 2009.** Crop domestication relaxes both top-down and bottom-up effects on a specialist herbivore. *Basic Appl. Ecol.* 10: 216–227.
- Yokoyama, V-Y. 2012.** Olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) in California: Longevity, oviposition, and development in canning olives in the laboratory and greenhouse. *J. Econ. Entomol.* 105: 186–195.
- Yokoyama, V-Y. 2015.** Olive Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in California Table Olives, USA: Invasion, Distribution, and Management Implications. *Journal of Integrated Pest Management*. 6 (1): 14. DOI: 10.1093/jipm/pmv014.
- Yokoyama, V-Y., Miller, G-T., Stewart-Leslie, J., Rice, R-E., Phillips, P-A. 2006.** Olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations in relation to region, trap type, season, and availability of fruit. *J Econ Entomol.* 99: 2072–2079.
- Yousef, M., Lozano-Tovar, M-D., Garrido-Jurado, I., Quesada-Moraga, E. 2013.** Biocontrol of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) with *Metarhizium brunneum* and its Extracts. *Journal of Economic Entomology*. 106(3):1118-1125.
- Zalom, F-G., Van Steenwyk, R-A., Burrack, H-J., Johnson, M-W. 2009.** Olive fruit fly. Integrated pest management for home gardeners and landscape professionals. In: ANR, Pest notes. Université de Californie d’Agriculture et Ressources Naturelles. 1-4p.

ANNEXES

Annexe 1

Tab. 1. Taux d'infestation des deux variétés par *B. oleae* en 2019 dans la région de Mascara (station Oued Taghia).

Date d'échantillonnage	Infestations (moyenne \pm E.S%)	
	Sigoise	Chemlal
03-Sep-2019	11,50 \pm 1,66	7,00 \pm 1,27
13-Sep-2019	15,00 \pm 2,11	9,00 \pm 1,76
23-Sep-2019	23,00 \pm 2,52	18,00 \pm 2,67
03-Oct-2019	34,00 \pm 1,83	22,00 \pm 2,57
13-Oct-2019	45,00 \pm 2,94	22,00 \pm 2,57
23-Oct-2019	59,00 \pm 3,54	29,50 \pm 2,94
03-Nov-2019	64,50 \pm 3,11	34,50 \pm 3,20
13-Nov-2019	64,00 \pm 4,25	49,00 \pm 3,90
23-Nov-2019	69,50 \pm 3,87	52,40 \pm 4,33
03-Dec-2019	76,50 \pm 3,50	69,50 \pm 3,58
13-Dec-2019	81,00 \pm 2,98	75,00 \pm 2,94
23-Dec-2019	84,00 \pm 2,65	78,00 \pm 2,57

Tab. 2. Taux d'infestation (%) à Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia en 2019, 2020 et 2021 dans la région de Laghouat (station Hamda).

Date d'échantillonnage	Infestations (moyenne \pm E.S%)			
	Campagne 1 (2019)			
	Sévillane	Sigoise	Chemlal	Dahbia
04- Sep-2019	/	/	/	16,50 \pm 2,83
14-Sep-2019	/	/	/	23,00 \pm 2,30
25-Sep-2019	/	/	/	26,00 \pm 1,97
05-Oct-2019	/	/	/	33,50 \pm 2,20
15-Oct-2019	/	/	/	37,50 \pm 2,03
26-Oct-2019	/	/	/	51,00 \pm 2,06
06-Nov-2019	/	/	/	68,42 \pm 2,67
16-Nov-2019	/	/	/	74,50 \pm 2,23

27-Nov-2019	/	/	/	79,04±2,17
	Campagne 2 (2020)			
	Sévilane	Sigoise	Chemlal	Dahbia
04- Sep-2020	34,50±1,69	21,50±1,31	15,00±1,72	20,00±3,55
14-Sep-2020	39,50±2,23	28,50±2,54	19,50±2,34	25,50±2,11
25-Sep-2020	52,50±1,23	25,50±2,85	17,00±2,18	27,50±1,60
05-Oct-2020	52,00±2,00	39,00±1,60	25,00±1,70	35,50±1,84
15-Oct-2020	53,00±1,63	40,00±2,71	35,00±1,53	30,00±2,05
26-Oct-2020	55,00±2,35	48,5±1,66	45,50±1,53	52,00±3,21
06-Nov-2020	98,50±0,92	93,50±1,09	76,50±3,34	77,89±1,63
16-Nov-2020	99,50±0,50	98,50±0,82	97,00±1,01	98,00±0,91
27-Nov-2020	100,00±00	99,00±0,68	97,00±1,05	97,50±0,99
	Campagne 3 (2021)			
	Sévilane	Sigoise	Chemlal	Dahbia
04- Sep-2021	31,00±1,76	21,00±1,43	10,00±1,25	17,00±3,33
14-Sep-2021	37,00±2,18	27,00±1,79	16,00±1,86	24,00±2,22
25-Sep-2021	51,00±2,39	35,50±2,66	20,00±2,40	29,00±2,80
05-Oct-2021	57,00±2,06	42,50±2,03	23,50±2,08	34,50±2,11
15-Oct-2021	51,50±2,92	38,00±2,24	32,50±2,60	39,50±1,69
26-Oct-2021	53,50±2,83	50,50±2,66	46,50±2,32	46,25±3,41
06-Nov-2021	80,00±1,77	66,50±1,31	54,50±2,56	61,05±2,63
16-Nov-2021	98,00±0,91	78,50±1,50	75,50±1,14	80,00±1,45
27-Nov-2021	100,00±00	81,50±1,81	61,50±2,54	75,71±1,10

Annexe 2

Tab. 3. Calibre moyen des fruits des deux variétés en 2019 dans la région de Mascara (station Oued Taghia).

Date d'échantillonnage	Calibre (moyenne \pm E.S mm)	
	Sigoise	Chemlal
03-Sep-2019	10,78 \pm 0,18	9,32 \pm 0,28
13-Sep-2019	10,76 \pm 0,18	9,90 \pm 0,20
23-Sep-2019	11,74 \pm 0,12	10,12 \pm 0,17
03-Oct-2019	11,36 \pm 0,18	10,60 \pm 0,11
13-Oct-2019	13,50 \pm 0,17	10,68 \pm 0,16
23-Oct-2019	14,76 \pm 0,14	11,28 \pm 0,11
03-Nov-2019	15,18 \pm 0,18	11,98 \pm 0,15
13-Nov-2019	15,32 \pm 0,14	12,10 \pm 0,12
23-Nov-2019	18,02 \pm 0,23	12,30 \pm 0,15
03-Dec-2019	17,90 \pm 0,23	13,02 \pm 0,13
13-Dec-2019	18,10 \pm 0,23	12,92 \pm 0,16
23-Dec-2019	18,48 \pm 0,24	13,24 \pm 0,19

Tab. 4. Moyenne \pm SE, indice de maturité (MI), poids (g), volume (cm³) et indice de la rondeur et l'élongation (RL) des olives en 2020 à Sévillane, Sigoise, Chemlal et Dahbia, dans la région de Laghouat (station Hamda).

Date d'échantillonnage	Indice de maturité (MI)			
	Sévillane	Sigoise	Chemlal	Dahbia
04- Sep-2020	0,98 \pm 0,07	0,10 \pm 0,04	0,92 \pm 0,04	0,16 \pm 0,05
14-Sep-2020	2,06 \pm 0,14	0,42 \pm 0,09	0,86 \pm 0,05	0,68 \pm 0,11
25-Sep-2020	2,96 \pm 0,11	0,70 \pm 0,09	1,16 \pm 0,07	1,08 \pm 0,10
05-Oct-2020	3,54 \pm 0,14	2,44 \pm 0,19	1,94 \pm 0,15	2,60 \pm 0,14
15-Oct-2020	4,02 \pm 0,05	2,56 \pm 0,15	2,32 \pm 0,15	3,40 \pm 0,10
26-Oct-2020	4,18 \pm 0,10	2,82 \pm 0,16	2,58 \pm 0,16	3,26 \pm 0,12
06-Nov-2020	4,20 \pm 0,10	3,50 \pm 0,10	2,96 \pm 0,12	3,76 \pm 0,07
16-Nov-2020	4,21 \pm 0,05	3,58 \pm 0,11	3,54 \pm 0,13	3,96 \pm 0,02
27-Nov-2020	4,24 \pm 0,10	3,83 \pm 0,10	3,60 \pm 0,07	4,08 \pm 0,06

	Poids (g)			
	Séville	Sigoise	Chemlal	Dahbia
04- Sep-2020	7,80±0,18	3,46±0,08	1,91±0,05	2,94±0,09
14-Sep-2020	9,08±0,15	3,48±0,09	1,96±0,04	2,99±0,07
25-Sep-2020	9,32±0,19	3,65±0,07	1,96±0,04	3,21±0,06
05-Oct-2020	10,11±0,22	3,49±0,08	1,96±0,03	3,42±0,08
15-Oct-2020	10,37±0,19	4,14±0,07	2,16±0,04	3,44±0,08
26-Oct-2020	10,31±0,22	4,15±0,08	2,22±0,03	4,02±0,09
06-Nov-2020	10,31±0,22	4,36±0,08	2,16±0,05	3,60±0,05
16-Nov-2020	10,42±0,10	4,21±0,10	2,53±0,05	4,09±0,05
27-Nov-2020	10,51±0,22	4,57±0,09	2,36±0,05	4,46±0,10
	Volume (cm³)			
	Séville	Sigoise	Chemlal	Dahbia
04- Sep-2021	8,27±0,17	3,14±0,07	1,67±0,04	2,62±0,09
14-Sep-2021	8,80±0,21	3,28±0,12	1,71±0,03	2,68±0,07
25-Sep-2021	8,74±0,19	3,45±0,07	1,64±0,03	2,81±0,06
05-Oct-2021	9,32±0,22	3,22±0,10	1,72±0,03	3,09±0,08
15-Oct-2021	9,90±0,19	3,83±0,09	1,86±0,04	3,09±0,10
26-Oct-2021	10,27±0,23	3,71±0,09	1,91±0,03	3,60±0,09
06-Nov-2021	10,41±0,24	3,91±0,07	1,88±0,05	3,25±0,05
16-Nov-2021	10,22±0,23	3,68±0,10	2,24±0,05	3,63±0,05
27-Nov-2021	10,30±0,27	4,18±0,09	2,06±0,05	3,95±0,10
	Indice de la rondeur et l'élongation (RL)			
	Séville	Sigoise	Chemlal	Dahbia
04- Sep-2020	0,82±0,00	0,74±0,00	0,72±0,00	0,72±0,00
14-Sep-2020	0,82±0,00	0,70±0,00	0,75±0,00	0,71±0,00
25-Sep-2020	0,84±0,00	0,72±0,00	0,74±0,00	0,69±0,00
05-Oct-2020	0,85±0,00	0,71±0,00	0,71±0,00	0,70±0,00
15-Oct-2020	0,82±0,00	0,73±0,00	0,75±0,00	0,72±0,00
26-Oct-2020	0,83±0,00	0,70±0,00	0,72±0,00	0,72±0,00
06-Nov-2020	0,82±0,00	0,74±0,00	0,73±0,00	0,74±0,00
16-Nov-2020	0,85±0,00	0,73±0,00	0,72±0,00	0,75±0,00
27-Nov-2020	0,84±0,00	0,73±0,00	0,74±0,00	0,73±0,00

Annexe 3

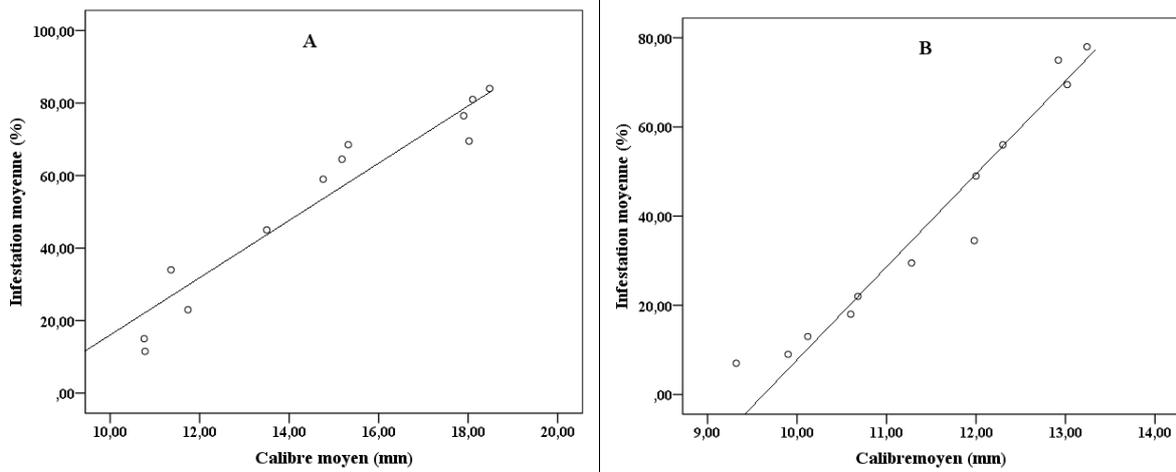


Fig. 1. Relation entre le taux d'infestation et le calibre des olives (A : Sigoise, B : Chemlal).

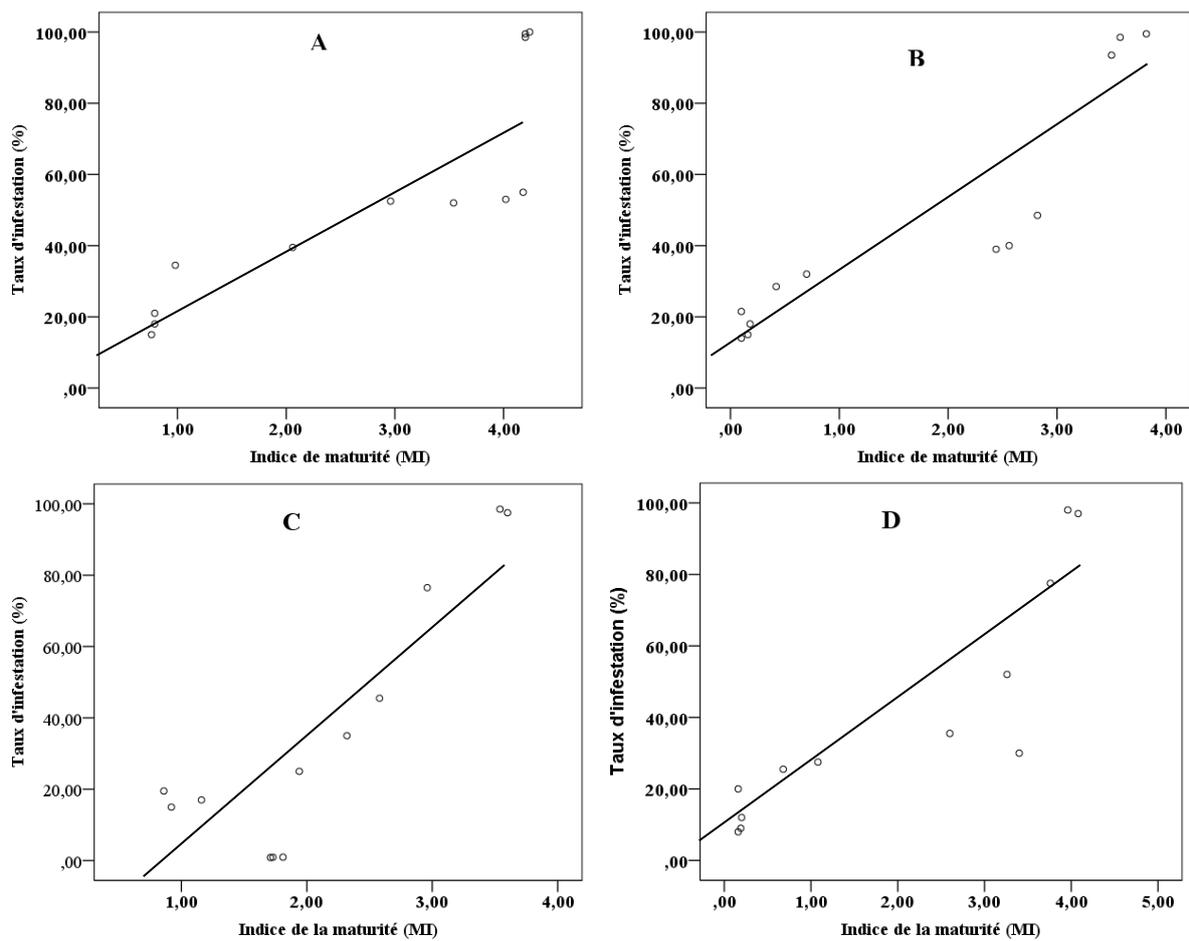


Fig. 2. Relation entre le taux d'infestation et l'indice de maturité (A : Séville, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).

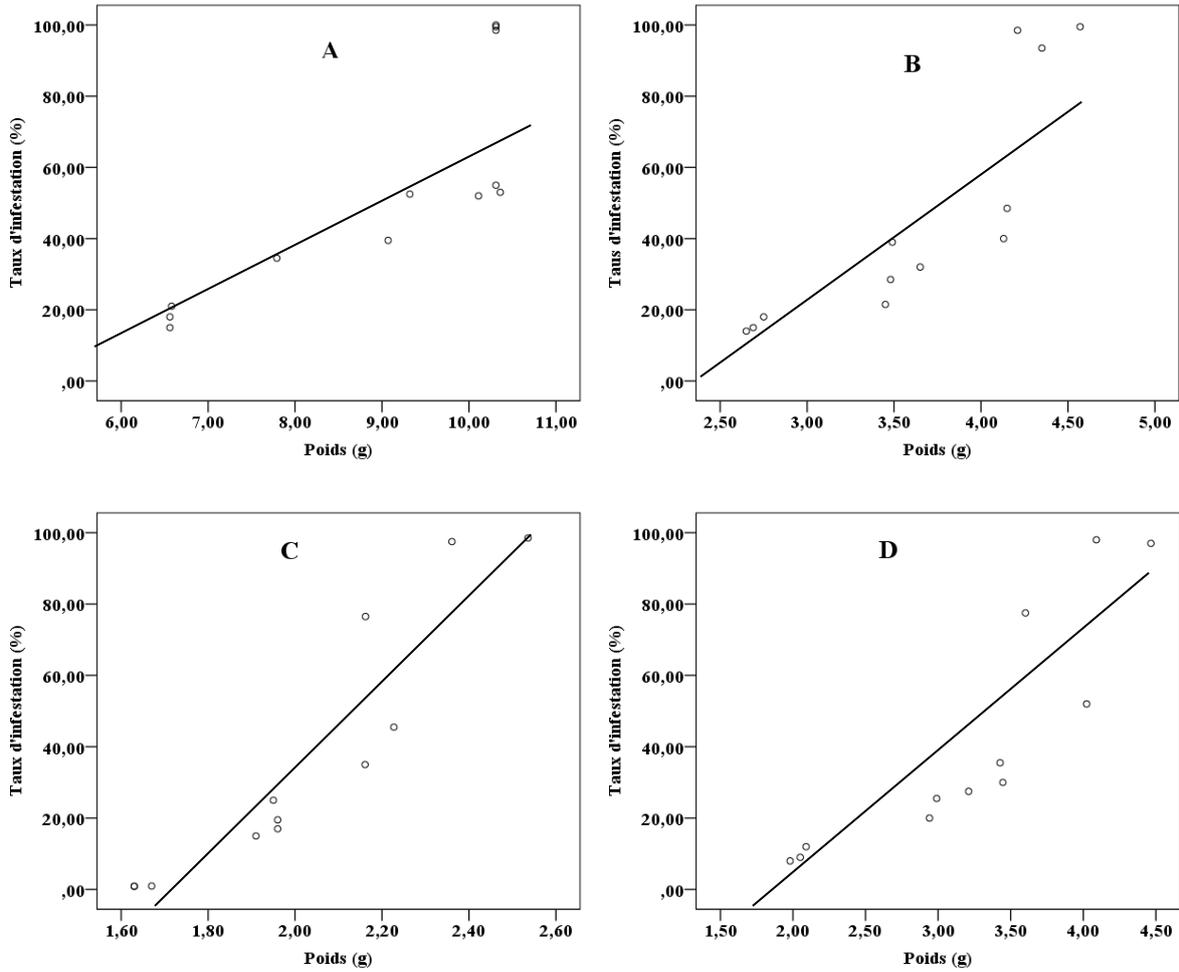


Fig. 3. Relation entre le taux d'infestation et le poids (g) (A : Sévellane, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).

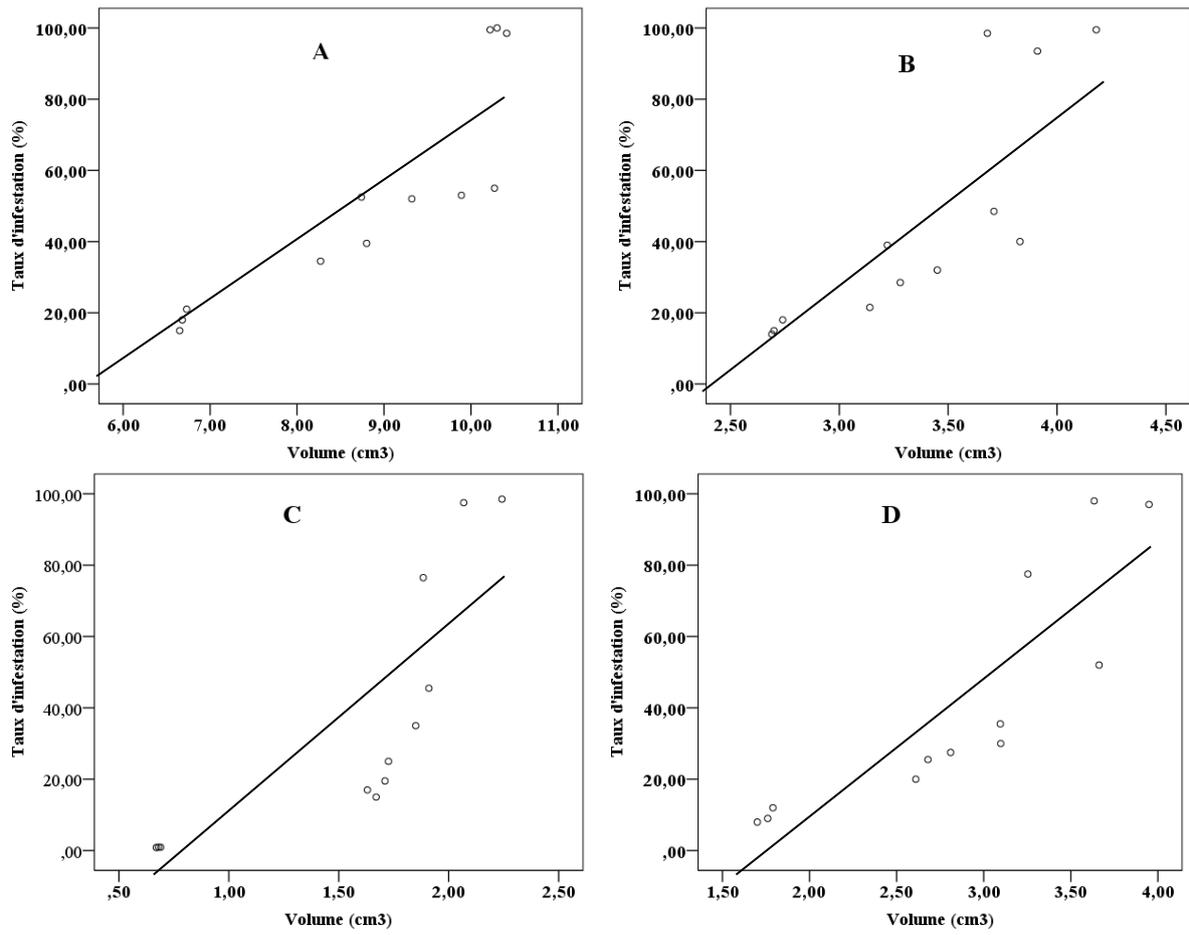


Fig. 4. Relation entre le taux d'infestation et le volume (cm3) (A : Sévilane, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).

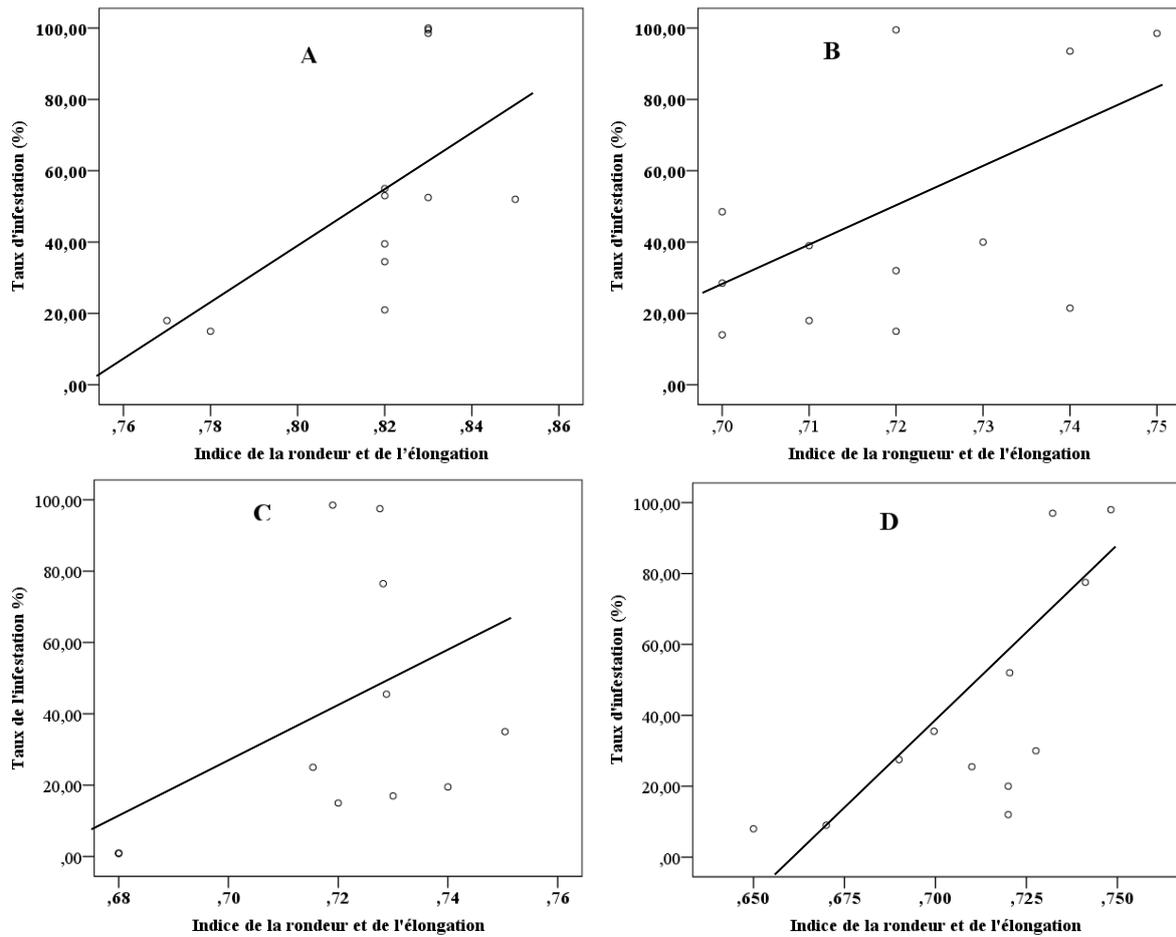


Fig. 5. Relation entre le taux d'infestation et l'indice de la rondeur et de l'élongation (A : Sévillane, B : Sigoise, C : Chemlal, D : Dahbia).

Annexe 4

Tab. 5. La toxicité par contact et par fumigation (%) de l'huile essentielle des feuilles d'*E globulus* vis-à-vis les adultes de *B. oleae*.

Contact						
Concentration (µL/cm²)	0,094	0,14	0,18	0,23	0,28	0,33
Temps						
24 h	10,00±3,65	16,66±2,10	40,00±3,65	50,00±3,65	53,33±2,10	63,33±2,10
48 h	26,66±4,21	40,00±3,65	63,33±4,21	70,00±3,65	80,33±5,57	93,33±2,10
Fumigation						
Concentration (µL/L)	4,54	6,80	9,08	13,62	18,16	24,96
Temps						
24 h	13,33±4,21	26,66±5,57	33,33±5,57	43,33±4,21	56,66±4,21	76,66±2,10
48h	46,66±2,10	53,33±4,21	66,66±5,57	73,33±2,10	86,66±5,57	96,66±2,10

Tab. 6. La toxicité par ingestion (%) du bio pesticide B-401[®] vis-à-vis les adultes de *B. oleae*.

Concentration	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	Témoin
Temps						
1 jour	0	0	0	0	6,66±3,33	0
2 jours	0	0	0	10,00±00	16,66±3,33	0
3 jours	0	13,33±3,33	20,00±5,77	20,00±00	36,66±3,33	0
4 jours	3,33±3,33	26,66±3,33	46,66±3,33	66,66±3,33	73,33±3,33	0
5 jours	33,33±6,41	59,25±3,70	81,47±3,70	93,58±3,70	100±00,00	10
6 jours	59,25±7,40	92,58±3,70	96,29±3,70	100±00,00	100±00,00	10

Annexe 5

1. Communications nationales et internationales

1.1. Communication nationales

1- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2019). L'influence variétale sur le taux d'infestation de l'olivier par la mouche d'olive *BACTROCERA OLEAE* GMELIN et ROSSI, 1788 (DIPTERA : TEPHRITIDAE) dans le Sud de la Wilaya de MASCARA. *First National Day of Biotoxicology and Bioactivity 27 November 2019. Oran.*

2- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2019). Evaluation de l'infestation par la mouche d'olive *Bactrocera oleae* Gmelin et Rossi (Diptera : Tephritidae) sous un climat saharien. *Premier Séminaire National de l'Appart des Biotechnologies sur la Protection de l'Environnement. 15-16 Decembre 2019. Msila.*

3- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2019). Estimation des dégâts sur l'olivier par la mouche d'olive *Bactrocera oleae* Gmelin et Rossi (Diptera : Tephritidae) dans la Wilaya de Laghouat. *First National Science Day of Nature and Life 17 Decembre 2019. Laghouat.*

4- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2020). Suivi des dégâts de la mouche d'olive *BACTROCERA OLEAE* GMELIN et ROSSI (DIPTERA : TEPHRITIDAE) sur deux variétés d'oliviers dans la wilaya de Mascara. *La Conférence Nationale sur l'Environnement et le Développement Durable 22-23 Janvier 2020. Mascara.*

5- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2020). Approche bioécologique de la mouche de l'olivier *BACTROCERA OLEAE* GMELIN ET ROSSI (DIPTERA : TEPHRITIDAE) dans le Nord-Ouest Algérien. *1^{ere} Journée Nationale d'Entomologie et de Parasitologie 11 Mars 2020. Mascara.*

1.2. Communications internationales

1- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2020). Etude de la dynamique des populations de la mouche d'olive *BACTROCERA OLEAE* « cas de la variété Dahbia » dans la région de Laghouat (sud Algérien). *Séminaire National de l'Olivier, Symbole de Paix et de Développement 12 Mars 2020. INRAA Alger.*

2- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2021). Quelques paramètres biologiques de la mouche de l'olivier *BACTROCERA OLEAE* GMELIN ET ROSSI (DIPTERA : TEPHRITIDAE) dans la région de Taghia (wilaya de Mascara). *International Seminar on Biodiversity, Valorization and Conservation of Urban and Forest Ecosystems 29-30 March 2021. Msila.*

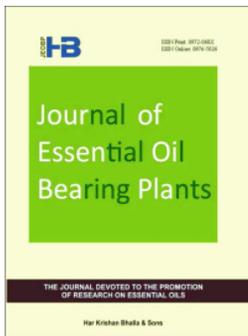
3- Bourakna Z, Assia Righi F, Righi K. (2022). Activité Insecticide de *Bacillus thurengiensis* B401 contre les Adultes de *Bactrocera oleae* (Diptera, Tephritidae). *First International Webinar of Animal Biodiversity, Protection and Environment " WIBAPE2022 ". 26 to 27 May 2022. ENSA Alger.*

2. Publications internationales

1- Bourakna, Z., Righi, K., Assia-Righi, F. 2022. GC/MS analysis of *Eucalyptus globulus* L. (Myrtaceae) leaves essential oil from Algeria and their insecticidal activity against adults of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptira; Tephritidae). *J. Essent. Oil Bearing Pl.*, 25: 876-887. DOI: [10.1080/0972060X.2022.2129459](https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2129459).

2- Bourakna, Z., Righi, K., Assia, F. and Elouissi, A. 2022. Flight activity of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptira; Tephritidae) infesting two Algerian olive varieties in North-West Algeria. *Acta Agriculturae Slovenica*. 118 (3): 1-8. [10.14720/aas.2022.118.3.2599](https://doi.org/10.14720/aas.2022.118.3.2599)

- 3- Bourakna, Z., Righi, K., Assia-Righi, F. 2022. First study of ovipositional preference and developmental performance of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) in an arid zone (Laghouat: Algeria). *J. Entom. Research*. 46 (4): 816-823.



GC/MS Analysis of *Eucalyptus globulus* L. (Myrtaceae) Leaves Essential Oil from Algeria and their Insecticidal Activity Against Adults of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera; Tephritidae)

Zineb Bourakna, Kada Righi & Fatiha Assia Righi

To cite this article: Zineb Bourakna, Kada Righi & Fatiha Assia Righi (2022): GC/MS Analysis of *Eucalyptus globulus* L. (Myrtaceae) Leaves Essential Oil from Algeria and their Insecticidal Activity Against Adults of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera; Tephritidae), Journal of Essential Oil Bearing Plants, DOI: [10.1080/0972060X.2022.2129459](https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2129459)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2129459>



Published online: 03 Oct 2022.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Article

GC/MS Analysis of *Eucalyptus globulus* L. (Myrtaceae) Leaves Essential Oil from Algeria and their Insecticidal Activity Against Adults of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera; Tephritidae)

Zineb Bourakna *, Kada Righi and Fatiha Assia Righi

Biology Systems and Geomatics Laboratory, Faculty of Natural Sciences and Life, Agronomy Department, Mascara University, Algeria

* Corresponding Author: zineb.bourakna@univ-mascara.dz (Zineb Bourakna)

Received 11 March 2022; Received in revised form 22 September 2022; Accepted 22 September 2022

Abstract: In this study, the essential oil of leaves *Eucalyptus globulus* (Myrtales: Myrtaceae) was analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) and their potential insecticidal against the olive fruit fly *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) was investigated. The essential oil yield was $0.36 \pm 0.03\%$ (w/w). A total of 41 compounds (99.99%) were identified. (-)-spathulenol (32.66%), o-cymene (28.30%) and (+)-cryptone (12.13%) were major constituents. The toxic impact of essential oil of *E. globulus* was assessed against *B. oleae* adults through two toxicity tests (contact and fumigation). *B. oleae* was more susceptible to *E. globulus* and adult mortality increased according to concentration and exposure time. In the contact toxicity, the lethal concentration LC_{50} values were $0.24 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ and $0.15 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ in 24 h and 48 h, respectively and LC_{90} values of $0.64 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ and $0.33 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ were obtained in 24 h and 48 h, respectively. In fumigation assay on olive fruit fly adults, LC_{50} values were $14.05 \mu\text{L}/\text{L}$ air and $5.71 \mu\text{L}/\text{L}$ air at 24 h and 48 h, respectively and LC_{90} values of $51.53 \mu\text{L}/\text{L}$ air and $21.64 \mu\text{L}/\text{L}$ air at 24 h and 48 h, respectively. The findings of current study show that use of essential oil of leaves of *E. globulus* against *B. oleae* is considered as an eco-friendly alternative natural insecticide.

Keywords: *Eucalyptus globulus*, *Bactrocera oleae*, Essential oil, Contact, Fumigation

Introduction

Olive is one of the most important crops worldwide. The presence of pest insects seriously affects the production of table olives and olive oil. Among them, the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Rossi), is the major pest of commercial olives worldwide including the Mediterranean countries^{1,2}. This pest causes serious damages with economic importance³, which is mainly due to the premature olive drop, as well as the pulp destruction that reduce fruit quality for table olive and a decrease in oil content and quality^{1,4}. Over the last four decades, the predominant

method of control of *Bactrocera oleae* (*B. oleae*) is based on the use of organophosphate insecticides by cover sprays and bait sprays^{1,5}. However, the continued use of insecticides has caused adverse effects, including environmental pollution, destruction of untargeted organisms, development of insect strains with high levels of insecticide resistance and contamination of olive products^{1,6}. Today great efforts have been made to improve nonchemical alternatives, including mass trapping, kaolin or copper sprays, sterile insect techniques (SIT), attracting and killing method, insect natural enemies and insecticides

of microbial or botanical origin^{7,8,1,9}.

Among studies on proposed botanical pesticides, essential oils consist of diverse volatile secondary metabolites mainly including monoterpenes, sesquiterpenes, phenylpropanoids and aromatics with low molecular weight are best known for their antifungal, antimicrobial and insecticidal properties^{10,11} and they may have advantages over chemical pesticides in terms of low mammalian toxicity, rapid degradation and local availability^{12,13}. Plant essential oils were found to be a safer and effective method for controlling insects¹⁴, because they are rich in substances which can directly kill insects, for instance by inhibiting the acetylcholinesterase activity on their nervous system¹⁵.

Insecticidal properties of essential oils against tephritid have previously been demonstrated by several studies, mostly against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann)¹⁶⁻²² as well as on other *Bactrocera* fly^{18,23,24} but the studies remain rare against *B. oleae*^{23,25-28}.

Among the Myrtaceae family, *Eucalyptus globulus* Labillardière (*E. globulus*) is indigenous to Australia. *E. globulus* essential oil gains remarkable interest in recent years, due to its biological activities²⁹⁻³³ and can act as insecticidal activity either ovicidal, larvicidal or adulticidal through fumigant, contact, ingestion or repellent against stored product pests^{13,34,35}, against *Musca domestica*³⁶, against Aphids^{37,38} also on *Cydia pomonella*^{34,39}, etc. However, the insecticidal activity of essential oil remains linked by its chemical constituents³⁶ which in turn differ from one plant to another belonging of the same botanical species (chemotype)⁴¹.

The objectives of our research are to study and evaluate the insecticidal property through contact and fumigation toxicity bioassays of essential oil of leaves *E. globulus* against *B. oleae* adults. The essential oil chemical composition has been analyzed by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC/MS) to identify the major compounds and search for new chemotypes of this plant. This work enhances the knowledge on composition and insecticidal properties of essential oil of leaves *E. globulus* in the domain of plant protection.

Materials and methods

Plant material and essential oil extraction

E. globulus leaves (about 2 kg) were obtained from the trees cultivated at the borders of the olive cultivation in the experimental farm of Mascara University (35°22'31"N, 0°11'08"E). The plant material was identified by Dr K. RIGHI (Agronomy Department, Mascara University) and a voucher specimen was deposited in the Herbarium of the University of Mascara with the code HAM0279. Plant leaves were collected during winter 2020, immediately rinsed in water and dried at room temperature and in the dark during 10 days. Essential oils were extracted from 100g dried and crushed leaves by hydrodistillation for 3 h in a Clevenger-type apparatus (ISOLAB, Germany). The obtained essential oils were dried by anhydrous sodium sulfate, weighed and stored at -4°C in an amber bottle until bioassay and chromatographic analysis. Essential oil content was expressed as percentage (w/w) and calculated for each repetition.

Gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) Analysis

The analysis of the essential oil was carried out in the Technical Platform of Physico-Chemical Analysis (PTAPC-CRAPC)-Laghouat-Algeria, using a SHIMADZU GC/MS-QP2020 Instruments, equipped with a fused Rxi®-5ms capillary column (Phase: Crossbond® 5% diphenyl/ 95% dimethyl polysiloxane) its dimensions are: 30 m × 0.25 mm and 0.25 µm film thickness. A volume of 0.5 µL solution prepared by 10% volume of the sample dilution in n-hexane, was injected in split mode (80:1). Injector and detector temperatures were maintained at 250°C and 310°C, respectively the column temperature was programmed at: 60°C fixed for 3 min then increased to 310°C with an increasing increment of 2°C/min, and then maintained at 310°C for 10 min. The carrier gas used was helium (99.995% purity) with a flow rate of 1 mL/min. The mass spectrometer conditions were as follow: ionization voltage 70 eV, ion source temperature 200°C, and electron ionization mass spectra were acquired over the mass range of 45-600 m/z.

Identification of essential oil components

Linear retention indices (LRI) were calculated for separate compounds relative to a homologous *n*-alkanes serial (*n*-C7-C20). To identify the components, their calculated (LRI) were compared with those of literature^{42,43} as well as their mass spectra with those recorded by the NIST (National Institute of Standards and Technology) and Wiley libraries “NIST17.lib, W11N17MAI and FFNSC1.2.lib”.

B. oleae rearing conditions

Olive fruit fly (*B. oleae*) was identified by Prof. F. RIGHI-ASSIA (Agronomy Department, Mascara University). Olive fruit flies used originated from the olives infested which were collected from the olive groves located in Laghouat region (33°51'55"N, 2°51'19"E, 33°50'40"N 2°45'49"E and 33°53'17"N, 2°28'10"E). The stung olives were incubated to allow the fly to complete their development cycle. The olives were deposited on strainer a large enough mesh to allow larvae and pupae to pass, the strainer is placed on a plastic bowl containing a layer of sterile sand to serve as a pupation substrate⁴⁴. The pupae were collected daily by sieving and stored in plastic transparent cylindrical containers (10 cm diameter, 20 cm height) covered by tulle. The rearing was maintained under controlled laboratory conditions at temperature 23±2°C, relative humidity 65±5% and photoperiod 12:12 [L : D] hours to promote a gradual emergence of adults. The flies were provided with diet of a solution of protein hydrolysate (chickpea powder): sugar (1: 3) until bioassay⁴⁵. Randomly selected adults (unsexed) used in bioassays were 5-10 days old.

Contact toxicity bioassay

Contact toxicity bioassay by the essential oil of leaves *E. globulus* was performed in a Petri dish of the following dimensions: 9 cm diameter, 1.5 cm height, containing filter paper (PRATE DUMAS, France) which covered entire surface. Tested solutions were adjusted by a dilution of 10, 15, 20, 25, 30 and 35 µL of essential oil in 1 mL of acetone (purity 99.8%, VWR CHEMICALS, France) providing corresponding

concentrations of 0.094, 0.14, 0.18, 0.23, 0.28 and 0.33 µL/cm². All volume of each dilution was applied uniformly on the total of filter paper using a micropipette (SCIOLOGEX, LLS. Berlin, USA). Control Petri dish was treated with 1 mL of acetone alone. All filter papers and control were air-dried for 10 min before introduction of 10 adults to each Petri dish. All Petri dish were covered with a tulle cover in the middle. Six replicates were conducted for each treatment. Treated insects were maintained under rearing conditions in laboratory. Adults' mortalities were determined after 24 h and 48 h. The adults were considered dead when they showed no appendage movement after we tried to stimulate them by a needle several times.

Fumigation toxicity bioassay

Fumigation toxicity bioassay was performed in the airtight plastic jars (88.11 mL) with the screw caps. Filter papers were attached to the under surface of caps which were treated with different doses of essential oil, but the control was acetone alone. Tested solutions were adjusted by a dilution of 0.4, 0.6, 0.8, 1.2, 1.6 and 2.2 µL of essential oil in 0.5 mL of acetone providing corresponding concentrations of 4.54, 6.80, 9.08, 13.62, 18.16 and 24.96 µL/L air. The treated filter paper was protected by a thin layer of sterile gauze to prevent direct contact between oil and insect²¹. After 10 min, once acetone had been evaporated, 10 adults were deposited into each jar and tightly sealed and maintained under rearing conditions in laboratory. Six replicates were conducted for each treatment. After 24 h and 48 h, the adults' mortality was determined when they showed no appendage movement.

Statistical analysis

In contact and fumigation toxicity bioassay, *B. oleae* control mortality was zero. Therefore, the mortalities were not corrected by Abbott formula. The effect of dose, observation time and their interaction on adults mortality were analyzed using Repeated Measures ANOVA for contact and fumigation toxicity separately. The LSD post-hoc test was applied to compare the mortality rate between different concentrations

and different observation times at $P = 0.05$. The values of the lethal concentration (both LC_{50} and LC_{90}), chi-square and 95% confidence intervals (CI) were calculated using Probit analysis ⁴⁶. All statistical analyses were processed using the statistical software SPSS version 21.0.

Results

Yield and chemical composition of essential oil

The essential oil yield was $0.36 \pm 0.03\%$ (w/w). Characterization of *E. globulus* leaves essential oil by the GC/MS analysis led to the identification of 41 compounds. The major constituents of this essential oil were: (-)-spathulenol (32.66%), o-cymene (28.30%) and (+)-cryptone (12.13%). Other notable compounds identified were: terpinen-4-ol (4.60%), cuminaldehyde (3.05%) and caryophyllene oxide (2.10%) (Table 1).

Laboratory bioassay

The results of contact and fumigation toxicity bioassay indicated that essential oil of *E. globulus* showed interesting insecticidal property against of *B. oleae* adults. The mortality percentage differed significantly between doses and across the hour of observation but their interaction had not a significant effect on the mortality rate (Table 2). In which the mortality intensified due to excess of oil concentrations and across time (Fig. 1 and 2).

In contact toxicity trials, at the dosage of $0.33 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ exerted, mortality rates reached 63.33% in 24 h after application. However, in 48 h, the mortality rates reached higher than 90% at this dosage. The contact toxicity test showed that *E. globulus* was more toxic except after

Table 1. GC/MS table showing chemical composition of *E. globulus* leaves essential oil

No.	Compounds	RT (min)	RI ^{Cal.}	RI ^{Lit.}	Area %
1	α -Thujene	7.311	924	924	0.34
2	α -Pinene	7.578	931	932	0.32
3	Sabinene	9.201	970	969	0.10
4	Myrcene	9.991	990	988	0.06
5	α -Phellandrene	10.623	1004	1003	0.12
6	α -Terpinene	11.236	1015	1014	0.16
7	o-Cymene	11.717	1024	1022	28.30
8	Ocimene <(Z)-, β ->	11.883	1027	1032	1.50
9	1,4-Cineole	11.973	1028	1012	1.33
10	γ -Terpinene	13.470	1056	1054	0.33
11	Linalool	15.822	1099	1095	0.13
12	Thujone	16.752	1114	1112	0.17
13	cis-p-Menth-2-en-1-ol	17.045	1119	1118	1.00
14	trans-p-Menth-2-en-1-ol	18.141	1136	1136	0.66
15	2,6-Nonadienal	18.776	1146	1150	0.24
16	Terpinen-4-ol	20.554	1175	1174	4.60
17	(+)-Cryptone	21.141	1184	1183	12.13
18	α -Terpineol	21.394	1188	1186	0.25
19	cis-p-Menthan-2-one	21.682	1193	1194	0.22
20	cis-Sabinene hydrate acetate	22.466	1205	1219	0.45
21	m-Cumenol	23.831	1227	1224	0.14
22	Cumin aldehyde	24.467	1236	1238	3.05
23	Piperitone	25.365	1250	1249	0.15
24	Nopol	26.509	1268	1278	0.22
25	Z-Thujenol	27.145	1278	-	0.07

Table 1 cont.

No.	Compounds	RT (min)	RI ^{Cal.}	RI ^{Lit.}	Area %
26	p-Cymen-7-ol	27.795	1288	1289	0.77
27	Carvacrol	28.613	1301	1298	0.78
28	Silphinene	39.980	1356	1345	0.14
29	Taylorione	44.210	1484	-	0.65
30	(-)-Spathulenol	45.463	1578	1577	32.66
31	Caryophyllene oxide	45.644	1581	1583	2.10
32	β -Copaen-4- α -ol	46.402	1594	1590	0.78
33	(-)-Globulol	46.654	1599	1590	0.65
34	Isospathulenol	47.048	1606	1625	0.92
35	Valeranone	48.669	1635	1674	1.83
36	Alloaromadendrene	49.205	1645	1649	0.40
37	Ledol	49.475	1650	1602	0.84
38	Eudesma-4(15),7-dien-1- β -ol	49.901	1658	1687	0.33
39	Androstan-17-one, 3-ethyl-3-hydroxy-, (5 α)-	50.336	1665	-	0.32
40	Curcumenol	53.799	1730	1733	0.63
41	Cedryl acetate	54.973	1752	1767	0.15
	Total				99.99
	Monoterpene hydrocarbons (1-8, 10)				31.23
	Oxygenated monoterpenes (9, 11-14, 16-19, 22-27)				25.53
	Sesquiterpene hydrocarbons (29)				0.14
	Oxygenated sesquiterpenes (28, 30-41)				41.94
	Other				1.15

RI^{Cal.}: Calculated retention indices; RI^{Lit.}: Literature retention indices; -: Not detected

Table 2. Effects of dose and observation time on the adult mortality by toxicity bioassay from contact and fumigation

	Factor	df	F	p
Contact toxicity	Dose	2.86	90.60	<0.0001
	Observation time	1	108.76	<0.0001
	Interaction	2.86	1.19	0.33
Fumigation toxicity	Dose	1.74	47.01	<0.0001
	Observation time	1	169	<0.0001
	Interaction	1.74	0.68	0.5

48 h of application (Fig. 1). These results were confirmed by LC₅₀ and LC₉₀ values shown in Table 3, where the dosage of 0.15 μ L/cm² was sufficient to kill 50% and 0.33 μ L/cm² to kill 90% of adults after 48 h of treatment. However, at 24 h, the contact toxicity needed 0.24 μ L/cm² to kill 50% and 0.64 μ L/cm² to kill 90% of adults.

Regarding the fumigation bioassay against *B. oleae*; at 24 h after application, the mortality

rate reached higher than 50% at the dosage of 18.16 μ L/L air exerted, but at 48 h, only 6.80 μ L/L air of the dosage exerted could kill more than 50%. However, the dosage of 24.96 μ L/L air could kill more than 90% at 48 h after treatment (Fig. 2). According to Probit analysis, the values of lethal concentration confirmed these results, where the lowest LC₅₀ and LC₉₀ were obtained at 48 h compared at 24 h (Table 3).

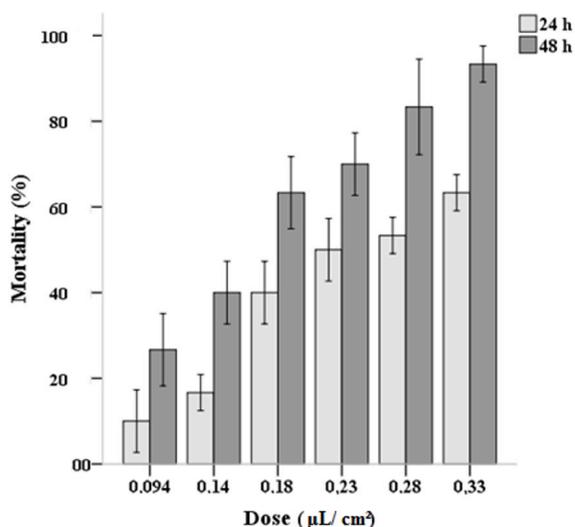


Figure 1. Mean mortality \pm SE of *B. oleae* exposed to contact toxicity of *E. globulus* leaves essential oil at 24 h and 48 h

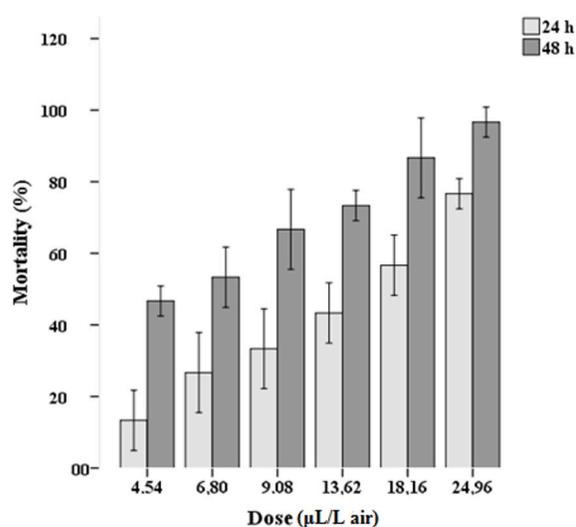


Figure 2. Mean mortality \pm SE of *B. oleae* exposed to fumigation toxicity of *E. globulus* leaves essential oil at 24 h and 48 h

Table 3. Lethal concentrations (LC50 and LC95), chi-square (χ^2) and 95 % confidence intervals (CI) values of contact and fumigation bioassay with *E. globulus* leaves essential oil at 24 h and 48 h

Toxicity bioassay	Time (h)	LC50 (95 % CI) µL/cm ²	LC90 (95 % CI) µL/cm ²	Chi-square (χ^2)
Contact	24h	0.24 (0.22-0.27)	0.64 (0.52-0.88)	4.88, df=4, p>0.05
	48h	0.15 (0.13-0.16)	0.33 (0.30-0.39)	5.23, df=4, p>0.05
		LC50 (95 % CI) µL/L air	LC90 (95 % CI) µL/L air	Chi-square (χ^2)
Fumigation	24h	14.05 (12.59-15.93)	51.53 (39.50-75.91)	3.45, df=4, p>0.05
	48h	5.71 (4.72-6.57)	21.64 (18.06-28.07)	7.06, df=4, p>0.05

Discussion

Several essential oils have insecticidal activity which are selective to pests and has no or little harmful effects against non-target organisms and the environment, also they are considered as resources that are easily obtained from nature, they cost less and they quickly degrade⁴⁷. Their efficacy remains linked to their phytochemical profile⁴⁸ and the entomological target⁴⁹. Myrtaceae is one of the plant families whose essential oil has insecticidal effect⁴⁹, including *E. globulus*.

Despite the majority of essential oil of leaves *E. globulus* analyzed in the world showed that 1,8-cineole is considered to be the major constituent, among them in Brazil³⁴, in Argentina

¹³, in Tunisia³³, in Morocco⁵⁰ and in Algeria^{29,32,51}. But our results of GC/MS analysis showed that 1,8-cineole was not found in the leaves oil of *E. globulus*, which corroborated those of Usman *et al.*⁵² in Nigeria, where they did not find 1,8-cineole in their essential oils extracted from the leaves that harvested during the dry and rainy seasons. On the other hand, they found D-limonene and m-cymene as the major constituents in the essential oils, this implied that the essential oils were of D-limonene and m-cymene chemotypes. The absence of 1,8-cineole is interpreted as the inability to synthesize due to unfavorable environmental conditions⁵². It was present in minimal quantities for the essential oil analyzed by Maciel *et al.*⁵³ with 2.93%, Papachristos

and Stamopoulos⁵⁴ between 0.9-2.9% and Djenane *et al.*³¹ with 2.20% and with moderate percentage of 11.30% to Benabdesslem *et al.*⁵⁵. The major constituent found in this research is (-)-spathulenol which implied that the essential oil is a (-)-spathulenol chemotype, followed by o-cymene with remarkable percentage (28%). These two constituents were also shown by Usman *et al.*⁵² when analyzing the essential oils of the leaves harvested during the dry season and rainy season with moderate percentages of 9.9% and 5.4% respectively to o-cymene and 4.5% and 8.0% to spathulenol. Benabdesslem *et al.*⁵⁵ and Papachristos and Stamopoulos⁵⁴ found 14.10% of spathulenol and respectively 20.24% and 37.5% in the p-cymene form. Harkat-Madouri *et al.*³² found 7.44% of spathulenol and 1.83% of o-cymene. These two constituents also presented in minimal quantities to Atmani-Merabet *et al.*⁵¹. Cryptone is also considered among the main constituents in our result with 12.13% which was shown by Harkat-Madouri *et al.*³² and Benabdesslem *et al.*⁵⁵ in Algeria. These qualitative and quantitative variations in the essential oil compositions belonging to same botanical species depend on many factors: organ and age of the plant, state of the used plant materials (dried or fresh), geographical and environmental conditions, climate and sunlight, soil composition, season and time of harvest, the used extraction techniques and the experimental extraction conditions^{13,32,52-54,56}. These conditions influence the activity of terpene synthases which aid and facilitate the biosynthesis of the different types and quantities of terpenoids⁵⁷.

The results of the current study demonstrated that essential oil *E. globulus* was lethal, using the contact and fumigation applications, against the adults of *B. oleae* flies. However, this essential oil of leaves *E. globulus* was associated with insecticidal activities against numerous insect pests. Among them, stored-product insects that were sensitive of this oil, about which Ebadollahi³⁵ concluded that mortality of *T. castaneum* increased with the doses of *E. globulus* essential oils and exposure times. According to Mossi *et al.*³⁴, the essential oil of leaves *E. globulus* presented higher

toxicity with $LD_{50} = 0.10 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ on filter paper discs against *Sitophilus zeamais*. Also, Russo *et al.*¹³ found that the young leaves essential oil was most effective against *Tribolium confusum*, it was applied at the lowest concentration ($0.5 \mu\text{L}/\text{cm}^2$), exhibited the toxicity 100% at 4 h exposure. These results can be considered higher than those obtained in our work which had LC_{50} value of $0.26 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ at 24h exposure. This difference of toxicity was explained by Mossi *et al.*³⁴ who observed that the LD_{50} value increased according to the concentration of 1,8-cineole evaluated in the species of the genus *Eucalyptus* studied, where this compound was absent in our oil tested. In addition, several studies have reported good efficacy of essential oil of leaves *E. globulus* on numerous housefly species, that this oil exhibited potent larvicidal and pupicidal activity against *Musca domestica* in contact and fumigation toxicity assay³⁶. Regarding larvicidal activity, in the contact assay, the observed LC_{50} were 2.73 to $1.73 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ after 24 and 48 h, respectively and the observed LC_{50} values in the fumigation test were 66.1 and $50.1 \mu\text{L}/\text{L}$ after 24 and 48 h, respectively. These findings had a lower efficiency compared to our results. This oil also acted against *Aphids Aphis gossypii* and *Aphis fabae*^{37,38}, also against *Lutzomyia longipalpis* and *Aedes aegypti* larvae^{53,58}.

The majority of the researches demonstrated that the terpenoids had effects on insects including monoterpenes and sesquiterpenes. Among them, o-cymene and spathulenol were considered to be effective insecticides^{11,59-61}. These compounds were found to be the major constituents of the oil tested and considered to be responsible of the toxicity of *B. oleae*. However, contact and fumigation toxicity assay of essential oils had rarely been evaluated against the adults of *B. oleae* flies. Only a few studies conducted by fumigation essay were demonstrated by Mami *et al.*²⁶ by the essential oil of roots of *Carthamus caeruleus* as well as Mejdoub *et al.*²⁷ by the essential oils of *Atractylis gummifera* extracted at the beginning of the vegetative cycle (Mars) and at the beginning of the flowering stage (April).

Conclusion

Results of the present work confirmed the importance of using essential oil of leaves *E. globulus* of (-)-Spathulenol chemotype as a promising alternative for controlling insects of *B. olea* adults which is considered as the major pest of olives through toxicity effect of contact and fumigation. This chemotype could be recommended as a promising natural source to improve olive growing safety, expedite the building of environmental friendly alternatives and ensure better consumers health protection. However, for practical use of this essential oil, further studies should be conducted in the field conditions and the side-effects on non-target organisms should also be evaluated. Additional studies are also necessary to improve the efficacy and chemical stability of this essential oil.

Acknowledgements

The authors would like to thank the General Directorate of Scientific Research and Technological Development (D.G.R.S.D.T) of Algeria and Technical Platform of Physico-Chemical Analysis (PTAPC-CRAPC)-Laghouat-Algeria. We would also like to thank all authors contributed in the manuscript.

References

1. **Daane, K.M. and Johnson, M.W. (2010).** Olive fruit fly: Managing an ancient pest in modern times. *Annu. Rev. Entomol.* 55(1): 151-169.
2. **Pertíñez, Á.M. and Vélez, P.M. (2020).** A *Bactrocera oleae* (Rossi) damage estimation model to anticipate pest control strategies in olive production. *Crop Prot.* 137(2): 105281.
3. **Valentim, P.S.C. (2017).** Integration of different control means against the olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) in sustainable olive growing. Ph D Thesis. Institute Superior of Agronomy, Lisboa University. pp 184.
4. **Medjkouh, L., Costa, A., Tamendjari, A., Bekdouche, F., Bouarroudj, K. and Oliveira, M.B.P.P. (2018).** Susceptibility of eight Algerian olive cultivars to *Bactrocera oleae* infestation - a pomological and nutritional quality perspective. *Phytoparasitica.* 46: 595-605.
5. **Torrini, G., Mazza, G., Benvenuti, C., Simoncini, S., Landi, S., Frosinini, R., Rocchini, A. and Roversi, P.F. (2020).** Entomopathogenic nematodes as potential biocontrol agents against *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Biocontrol. Sci. Technol.* 30(1): 1-11.
6. **Genç, H. (2016).** Screening of organophosphate resistance in the acetylcholinesterase gene of field collected olive fruit fly, *Bactrocera Oleae* Rossi (Diptera: Tephritidae). *Rom. Biotechnol. Lett.* 21: 11209- 11216.
7. **Phillips, T.W. and Throne, J.E. (2010).** Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annu. Rev. Entomol.* 55: 375-397.
8. **Broumas, T., Haniotakis, G., Liaropoulos, C., Tomazou, T. and Ragoussis, N. (2002).** The efficacy of an improved form of the mass-trapping method, for the control of the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Dipt., Tephritidae): Pilotscale feasibility studies. *J. Appl. Entomol.* 126(5): 217-223.
9. **Varikou, K., Garantonakis, N., Birouraki, A., Gkilpathi, D. and Kapogia, E. (2017).** Refreshing bait spots in an olive orchard for the control of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Crop Prot.* 92: 153-159.
10. **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. and Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils-a review. *Food Chem. Toxicol.* 46(2) : 446-475.
11. **Cheng, L., Dongliang, L., Yang, W., Shanshan, G., Di, Z. and Shushan, D. (2019).** Chemical Composition and Insecticide Efficacy of Essential Oils from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle Against *Tribolium castaneum* Herbst in Stored Medicinal Materials, *J. Essent. Oil Bear. Plants.* 22(5): 1182-1194.
12. **Batish, D.R., Singh, H.P., Kohli, R.K. and Kaur, S. (2008).** Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *For. Ecol. Manage.* 256: 2166-2174.
13. **Russo, S., Cabrera, N., Chludil, H., Yaber-Grass, M. and Leicac, H.S. (2015).**

- Insecticidal activity of young and mature leaves essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill. against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chil. J. Agr. Res.* 75: 375-79.
14. **Righi-Assia, F., Righi, K., Khelil, M.A. and Juli, P.V. (2014).** Biological control against the cowpea weevil (*Callosobruchus chinensis* L., Coleoptera: Bruchidae) using essential oils of some medicinal plants. *J. Plant Prot. Res.* 54(3): 211-217.
 15. **Houghton, P.J., Ren, Y. and Howes, M.J. (2006).** Acetylcholinesterase inhibitors from plants and fungi. *Nat. Prod. Rep.* 23: 181-199.
 16. **Moretti, M.D., Bazzoni, E., Passino, G.S. and Prota, R. (1998).** Antifeedant effects of some essential oils on *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera, Tephritidae). *J. Essent. Oil Res.* 10(4): 405-412.
 17. **Sanna-Passino, G., Bazzoni, E., Moretti, L. and Prota, R. (1999).** Effects of essential oil formulations on *Ceratitis capitata* Wied. (Dipt., Tephritidae) adult flies. *J. Appl. Entomol.* 123(3): 145-149.
 18. **Chang, C.L., Cho, I.K. and Li, Q.X. (2009).** Insecticidal activity of basil oil, trans-anethole, estragole, and linalool to adult fruit flies of *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae*. *J. Econ. Entomol.* 102(1): 203-209.
 19. **Papachristos, D.P., Kimbaris, A.C., Papadopoulos, N.T. and Polissou, M.G. (2009).** Toxicity of citrus essential oils against *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) larvae. *Ann. Appl. Biol.* 155: 381-389.
 20. **Faraone, N., De Cristofaro, A., Maltese, M., Vitagliano, S. and Caleca, V. (2012).** First data on the repellent activity of essential oils of *Citrus limon* towards medfly (*Ceratitis capitata*). *New Medit.* 11(4): 31-34.
 21. **Benelli, G., Flamini, G., Canale, A., Cioni, P.L. and Conti, B. (2012).** Toxicity of some essential oil formulations against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae). *Crop Prot.* 42: 223-229.
 22. **Benelli, G., Canale, A., Flamini, G., Cioni, P.L., Demi, F., Ceccarini, L., Macchia, M. and Conti, B. (2013).** Biototoxicity of *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae) essential oil against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), and its parasitoid *Psytalia concolor* (Hymenoptera: Braconidae). *Ind. Crop Prod.* 50: 596-603.
 23. **Pavlidou, V., Karpouhtsis, I., Franzios, G., Zambetaki, A., Scouras, Z. and Mavragani-Tsipidou, P. (2004).** Insecticidal and genotoxic effects of essential oils of Greek sage, *Salvia fruticosa*, and mint, *Mentha pulegium*, on *Drosophila melanogaster* and *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *J. Agr. Urban Entomol.* 21: 39-49.
 24. **El-Minshawy, A.M., Abdelgaleil, S.A., Gadelhak, G.G., AL-Eryan, M.A. and Rabab, R.A. (2018).** Effects of monoterpenes on mortality, growth, fecundity, and ovarian development of *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera: Tephritidae). *Environ. Sci. Pollut. R.* 25: 15671-15679.
 25. **Canale, A., Benelli, G., Conti, B., Lenzi, G., Flamini, G., Francini, A. and Cioni, P.L. (2013).** Ingestion toxicity of three Lamiaceae essential oils incorporated in protein baits against the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae). *Nat. Prod. Res.* 27(22): 2091-2099.
 26. **Mami, I.R., Belabbes, R., Dib, M.E., Djabou, A., Tabti Boufeldja, N., Costa, J. and Muselli, A. (2020).** Biological activities of carlina oxide isolate from the roots of *Carthamus caeruleus*. *Nat. Prod. J.* 10(2): 145-152.
 27. **Medjdoub, K., Mami, I.R., Belabbes, R., Dib, M.E., Djabou, A., Tabti Boufeldja, N., Benyelles Gaouar, N., Costa, J. and Muselli, A. (2020).** Chemical variability of *Atractylis gummifera* essential oils at three developmental stages and investigation of their antioxidant, antifungal and insecticidal activities. *Curr. Bioact. Compd.* 16(4): 489-497.
 28. **Rizzo, R., Verde, G.L., Sinacori, M.,**

- Maggi, F., Cappellacci, L., Petrelli, R., Vittori, S., Morshedloo, M.R., Fofie, N'G. B.Y. and Benelli, G. (2020).** Developing green insecticides to manage olive fruit flies? Ingestion toxicity of four essential oils in protein baits on *Bactrocera oleae*. *Ind. Crops Prod.* 143: 1-7.
29. **Daroui-Mokaddem, H., Kabouche, A., Bouacha, M., Soumati, B., El-Azzouny, A., Bruneau, C. and Kabouch, Z. (2010).** GC/MS Analysis and Antimicrobial Activity of the Essential Oil of Fresh Leaves of *Eucalyptus globulus*, and Leaves and Stems of *Smyrniium olusatrum* from Constantine (Algeria). *Nat. Prod. Commun.* 5(10): 1669-1672.
30. **Ait-Ouazzou, A., Lorán, S., Bakkali, M., Laglaoui, A., Rota, C., Herrera, A., Pagána, R. and Conchello, P. (2011).** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Thymus algeriensis*, *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* from Morocco. *J. Sci. Food.* 91: 2643-2651
31. **Djenane, D., Yangüela, J., Amrouche, T., Boubrit, S., Boussad, N. and Roncalés, P. (2010).** Chemical composition and antimicrobial effects of essential oils of *Eucalyptus globulus*, *Myrtus communis* and *Satureja hortensis* against *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* in minced beef. *Food Sci. Technol. Int.* 17(6): 505-515.
32. **Harkat-Madouri, L., Asma, B., Madani, K., Bey-Ould Si Said, Z., Grenier, D., Allalou, H., Remini, H., Adjaoud, A., Boulekbache-Makhloufa, L. (2015).** Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of *Eucalyptus globulus* from Algeria. *Ind. Crops Prod.* 78: 148-153.
33. **Jerbi, A., Derbali, A., Elfeki, A. and Kammoun, M. (2017).** Essential oil composition and biological activities of *Eucalyptus globulus* leaves extracts from Tunisia. *J. Essent. Oil Bear. Plants.* 20(2): 438-448.
34. **Mossi, A.J., Astolfi, V., Kubiak, G., Lerin, L., Zanella, C., Toniazzo, G., Oliveira, D., Treichel, H., Devilla, I.A., Cansian, R. and Restello, R. (2010).** Insecticidal and repellency activity of essential oil of *Eucalyptus* sp. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *J. Sci. Food Agric.* 91: 273-277.
35. **Ebadollahi, A. (2011).** Antifeedant activity of essential oils from *Eucalyptus globulus* Labill and *Lavandula stoechas* L. on *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biharean Biol.* 5: 8-10.
36. **Kumar, P., Mishra, S., Malik, A. and Satya, S. (2012).** Compositional analysis and insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* (Family: Myrtaceae) essential oil against housefly (*Musca domestica*). *Acta Trop.* 122: 212-218.
37. **Russo, S., Yaber Grass, M.A., Fontana, H.C. and Leonelli, E. (2018).** Insecticidal activity of the essential oil of *Eucalyptus globulus* on *Aphis nerii* (Boyer) and *Gynaikothrips ficorum* (Marchal). *Agriscientia.* 35: 63-67.
38. **Harizia, A., Benguerai, A. and Boukhari, Y. (2020).** Toxicity and repellency of *Eucalyptus globulus* L. essential oil against *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Homoptera: Aphididae). *J. Entomol. Res.* 44(1): 147-152.
39. **Landolt, P.J., Hofstetter, R.W. and Biddick, L.L. (1999).** Plant essential oils as arrestants and repellents for neonate larvae of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ. Entomol.* 28: 954-60.
40. **Trongtokit, Y., Rongsriyam, Y., Komalamisra, N. and Apiwathnasorn, C. (2005).** Comparative repellency of 38 essential oils against mosquito bites. *Phytother. Res.* 19: 303-309.
41. **Keefover-Ring, K., Thompson, J.D. and Linhart, Y.B. (2009).** Beyond six scents: defining a seventh *Thymus vulgaris* chemotype new to southern France by ethanol extraction. *Flavour Fragr. J.* 24: 117-122.
42. **Babushok, V.I., Linstrom, P.J. and Zenkevich, I.G. (2011).** Retention indices

- for frequently reported compounds of plant essential oils. *J. Phys. Chem. Ref. Data.* 40(4): 1-47.
43. **Adams, R.P. (2007).** Identification of essential oil components by gas chromatography/ mass spectrometry. 4th Ed. Allured Publishing Co. Carol Stream, Illinois. 804pp.
 44. **Gaouar, N. (1996).** Contribution of the biology of the populations of the olive fly *Bactrocera (=Dacus) oleae* Gmel. optimizing its control in the Tlemcen region. Ph D thesis, Biology institute, Tlemcen University, Algeria. pp 116.
 45. **Fletcher, B. and Kapatos, E. (1983).** The influence of temperature, diet and olive fruits on the maturation rates of female olive flies at different times of the year. *Entomol. Exp. Appl.* 33: 244-252.
 46. **Finney, D.J. (1978).** Statistical Method in Biological Assay. Charles Griffin & Company (3th Ed). London. pp 508.
 47. **Ebadollahi, A., Safaralizadeh, M.H., Pourmirza, A.A. and Ghosta, Y. (2010).** Contact and fumigant toxicity of essential oils of *Lavandula stoechas* L. and *Eucalyptus globulus* Labill grown in Iran against *Lasioderma serricornis* F. *Biharean Biol.* 4(1): 31-36.
 48. **Sarma, N., Gogoi, R., Loying, R., Begum, T., Munda, S., Pandey, S.K. and Lal, M. (2021).** Phytochemical composition and biological activities of essential oils extracted from leaves and flower parts of *Corymbia citriodora* (Hook.). *J. Environ. Biol.* 42: 552-562.
 49. **Regnault-Roger, C., Vincent, C. and Arnason, J.T. (2012).** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annu. Rev. Entomol.* 57: 405-424.
 50. **Boulamtat, R., Mesfioui, A., El-Fakhouri, K., Oubayoucef, A., Sabraoui, A., Aasfar, A. and El-Bouhssini, M. (2021).** Chemical composition and insecticidal activities of four plant essential oils from Morocco against larvae of *Helicoverpa armigera* (Hub.) under field and laboratory conditions. *Crop Prot.* 144: 105607.
 51. **Atmani-Merabet, G., Belkhir, A., Dems, M-A., Lalaouna1, A., Khalfaoui, Z. and Mosbah, B. (2018).** Chemical composition, toxicity, and acaricidal activity of *Eucalyptus globulus* essential oil from Algeria. *Curr. Iss. Pharm. Med. Sci.* 31(2): 89-93.
 52. **Usman, L.A., Oguntoye, O.S. and Ismaeel, R.O. (2020).** Effect of seasonal variation on chemical composition, antidiabetic and antioxidant potentials of leaf essential oil of *Eucalyptus globulus* L. *J. Essent. Oil Bear. Plants.* 23(6): 1314-1323.
 53. **Maciel, M.V., Morais, S.M., Bevilaqua, C.M.L., Silva, R.A., Barros, R.S. and Sousa, R.N. (2010).** Chemical composition of *Eucalyptus spp.* essential oils and their insecticidal effects on *Lutzomyia longipalpis*. *Vet. Parasitol.* 167: 1-7.
 54. **Papachristos, D.P. and Stamopoulos, D.C. (2004).** Toxicity of vapours of three essential oils to the immature stages of *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.* 40: 517-525.
 55. **Benabdesslem, Y., Hachem, K. and Mébarki, M. (2020).** Chemical composition of the essential oil from the leaves of *Eucalyptus globulus* Labill. growing in Southwest Algeria, *J. Essent. Oil Bear. Plants.* 23(5): 1154-1160.
 56. **Loziene, K. and Venskutonis, P.R. (2005).** Influence of environmental and genetic factors on the stability of essential oil composition of *Thymus pulegioides*. *Biochem. Syst. Ecol.* 33: 517-525.
 57. **Trapp, S.C. and Croteau, R.B. (2001).** Genomic organization of plant terpene synthases and molecular evolutionary implications. *Genetics.* 158: 811-832.
 58. **Chantraine, J.M., Laurent, D., Ballivian, C., Saavedra, G., Ibañez, R. and Vilaseca, L.A. (1998).** Insecticidal activity of essential oils on *Aedes aegypti* larvae. *Phytother. Res.* 12: 350-354.
 59. **Albouchi, F., Ghazouani, N., Souissi, R., Abderrabba, M. and Boukhris-Bouhachem, S. (2018).** Aphidicidal activities of *Melaleuca styphelioides* Sm.

- essential oils on three citrus aphids: *Aphis gossypii* Glover; *Aphis spiraecola* Patch and *Myzus persicae* (Sulzer). S. Afr. J. Bot. 117: 149-154.
60. **Benelli, G., Pavela, R., Drenaggi, E., Desneux, N. and Maggi, F. (2020).** Phytol, (*E*)-nerolidol and spathulenol from *Stevia rebaudiana* leaf essential oil as effective and eco-friendly botanical insecticides against *Metopolophium dirhodum*. Ind. Crops Prod. 155: 112844.
61. **Feng, Y.X., Zhang, X., Wang, Y., Chen, Z.Y., Lu, X.X., Du, Y.S. and Du, S.S. (2021).** The potential contribution of cymene isomers to insecticidal and repellent activities of the essential oil from *Alpinia zerumbet*. Int. Biodeterior. Biodegrad. 157: 105138.

Flight activity of *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790) (Diptera: Tephritidae) infesting two Algerian olive varieties in north-west Algeria

Zineb BOURAKNA^{1,2}, Kada RIGHI¹, Fatiha ASSIA¹, Abdelkader ELOUISSI¹

Received March 08, 2022; accepted September 16, 2022.
Delo je prispelo 8. marca 2022, sprejeto 16. september 2022

Flight activity of *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790) (Diptera: Tephritidae) infesting two Algerian olive varieties in north-west Algeria

Abstract: *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790) (Diptera: Tephritidae) is the most dangerous insect pest of the olive tree in the Mediterranean region. This study was conducted in the Mascara region (North-West Algeria) during 2019-2020 season, in order to monitoring the flight activity of *B. oleae* by using Mc Phail type traps and evaluating the infestation rate on two olive varieties (Sigoise and Chemlal) by fruits sampling. The data obtained indicated that the flight activity of *B. oleae* developed five peaks of the abundance. The General Linear Model (GLM) showed that infestation rate and fruit caliber varied considerably among varieties and across the sampling date, which gradually increased with time. 'Sigoise' having the highest caliber and was more infested than 'Chemlal'. The northern cardinal orientation of the tree was the least attacked by this pest. The GLM function showed that there was relationship between the infestation rate and fruit size.

Key words: *Bactrocera oleae*; flight activity; infestation; caliber; 'Sigoise'; 'Chemlal'

Let oljčne muhe (*Bactrocera oleae* (Rossi, 1790), Diptera: Tephritidae) na dveh alžirskih sortah oljke v severozahodni Alžiriji

Izveček: Oljčna muha (*Bactrocera oleae* (Rossi, 1790), Diptera: Tephritidae) je najškodljivejša žuželčja vrsta na oljkah v Sredozemlju. Raziskava je bila izvedena na območju Mascare (severozahodna Alžirija) v rastni dobi 2019-2020, z namenom načrtnega spremljanja leta oljčne muhe z uporabo Mc Phailovih pasti in ovrednotenja stopnje napada dveh sort oljke ('Sigoise' in 'Chemlal') z vzorčenjem plodov. Pridobljeni podatki nakazujejo, da je imela oljčna muha pet vrhov pojavljanja. Splošni linearni model je pokazal, da sta se stopnja napada in debelina plodov znatno spreminjala glede na sorto in datum vzorčenja in sta s časom naraščali. Sorta Sigoise je imela najdebelejše plodove in je bila bolj napadena kot sorta Chemlal. Na sever orientirani deli krošenj so bili najmanj napadeni. Splošni linearni model je pokazal, da obstaja povezava med stopnjo napada oljčne muhe in debelino plodov oljk.

Ključne besede: *Bactrocera oleae*; aktivnost izletov; napadi; debelina plodov; 'Sigoise'; 'Chemlal'

¹ Biology Systems and Geomatics Laboratory, Department of Agronomy, Faculty of Natural Sciences and Life, Mascara University, Algeria

² Corresponding author, e-mail: Zineb.bourakna@univ-mascara.dz

1 INTRODUCTION

Algeria is one of the main olive (*Olea europaea* L., Oleaceae) producing countries. In 2019 it took the ninth class in world olive production with a production of 868,754 tons on an area of 431,634 ha (FAO Stat, 2021). Algerian olive oil production was 90,000 tons in the 2020/2021 campaign. This crop is attacked by various pests and diseases. The olive fly *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790) (Diptera: Tephritidae), is the most serious and economically harmful insect pest of commercial olive production worldwide (Ras et al., 2017; Torrini et al., 2020). This fly is multivoltine and homodynamic, i.e. their population dynamics, number of generations and the length of their life cycles depend mainly on the climate (temperature and humidity), but also vary according to other factors: geographic regions, availability and quality of olive fruits (Daane & Johnson, 2010; Malheiro et al., 2015; Pertíñez & Vélez, 2020). This pest causes the severe qualitative and quantitative damage, where economic losses can reach 100% due to uncontrolled infestation and oil losses of up to 80% (Rice, 2000; Genç & Nation, 2008; Zalom et al., 2009). Also, the formation of tunnels inside mesocarp and exit holes allowing the introduction of bacteria and fungi that rot the fruit and increase the acidity of the oil (Athar, 2005; Zalom et al., 2009). The infestation of olives caused by *B. oleae* varies greatly between years, regions and olive varieties (Goncalves et al., 2012). Gaouar and Debouzi (1991) found that the level of infestation was quite high near 100% in orchards close to the coast, in the province of Tlemcen (North West Algeria) on two local varieties (Sigoise and Chemlal). Other authors have also shown a fruit infestation level of up to

almost 100% in Portugal (Bento et al., 2009) and in California (Burrak et al., 2011).

The preference and sensitivity of olive cultivars by the *B. oleae* vary by three factors: physical, chemical and molecular. The physical factor remains the most influencing, which includes size, mass, volume, fruit color and hardness of the exocarp (Malheiro et al., 2015). The female of *B. oleae* prefers to oviposit on cultivars with large, unripe olives (Neuenschwander et al., 1985). Several studies (Burrack & Zalom, 2008; Goncalves et al., 2012; Garantonakis et al., 2017; Medjkouh et al., 2018) have confirmed that the oviposition preference by the female *B. oleae* was positively correlated with the maturity index, mass and volume on the other hand oviposition was negatively correlated with the hardness of the exocarp.

The olive varieties studied ‘Sigoise’ and ‘Chemlal’ are two Algerian varieties renowned for their excellence in quality and productivity. In order to preserve the quantity and the marketable quality of these two varieties against the attacks of such a pest, it was imperative to determine its population dynamics and its infestation rates in relation to the size of the fruits than with the four cardinal orientations of the tree in the region of Mascara (North-West Algeria).

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY AREA

This study was carried out in Oued Taghia region at an altitude of 471 m (35° 6' 35" N, 0° 5' 19" E) in the province of Mascara (North-West of Algeria), during the

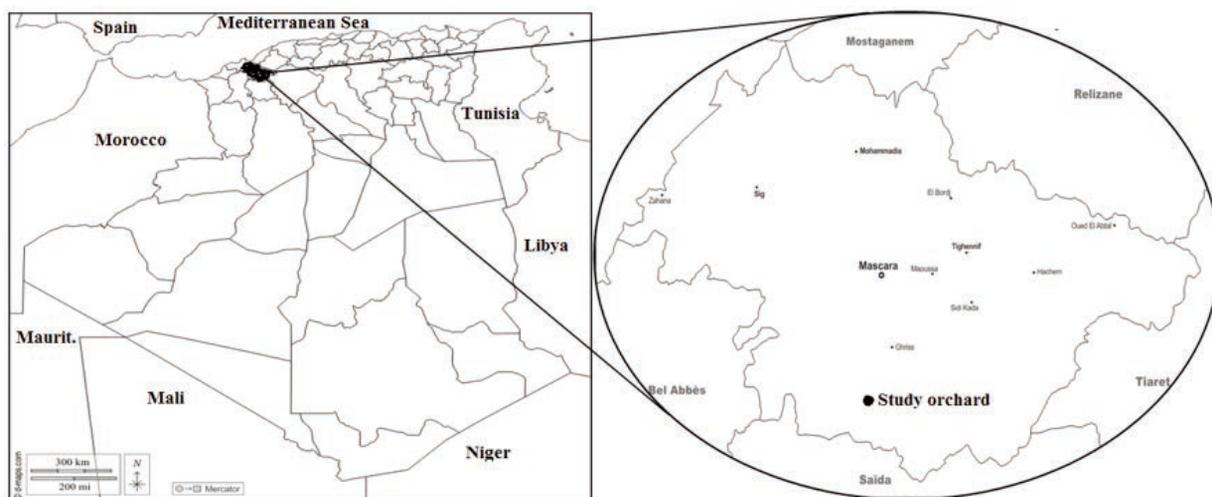


Figure 1: The geographical localization of study area (Mascara: Algeria) and the situation of study orchard



Figure 2: The study orchard (Oued Taghia, Mascara)

period that extends from June 2019 to April 2020. The study region is characterized by a semi-arid, dry and cold climate, far from the sea by a distance of about 120 km (Figure 1). The olive orchard has been planted with two varieties, Sigoise (intended for the production of table olives) and Chemlal (intended for the production of oil). The trees were medium in size, about 16 years old, and were spaced about 10 m × 8 m, being irrigated artificially by gravity and pruned bi-annually. The olive orchard has not received any treatment against diseases and pests for the past three years, but chemical fertilizers are applied every winter (Figure 2).

2.2 SAMPLING METHODOLOGY

The flight activity of adults of *B. oleae* was monitored using 4 plastic Mc Phail traps with a transparent upper half and a yellow lower half, baited with a 3 % aqueous solution of di ammonium phosphate which is attractive to both sexes. The traps are installed at the beginning of June 2019. The solution has been renewed every 10 to 20 days. The traps were tied under the shade of the branches inside the foliar crown in the southwest direction of the tree, at a human height. The traps were distributed randomly in the olive orchard with 50 m distance between them. Which were checked every 10 days and the olive flies were counted, sexed and removed. The total number of individuals captured in the McPhail traps was used to estimate the population index (Pi) which was expressed as the total number of captures per trap per day in each date (Goncalves et al., 2012). Sex ratio was estimated by the ratio (male / total and female / total).

Every 10 days, from the appearance of the first stings (beginning of September which corresponds to the slight drop in temperature and after the setting of the

olives) until the harvest (end of December), fruit samples were taken from 5 trees of each variety of olive tree, to assess the infestation rate of the olive tree and the size of the fruit. 40 olives per tree were harvested at head height from 4 cardinal orientations of each tree (north, south, east, and west), due to 10 olives for each orientation. The olives collected were brought to the laboratory and were observed under a binocular stereo-microscope (EUROMEX, The Netherlands) to check for the presence of oviposition stings and exit holes insect. The *B. oleae* infestation rate was expressed as a percentage of the infested olives relative to the total number of olives collected. According to Burrack et al. (2011), olives with oviposition stings were considered infested.

To estimate the caliber of the fruit, 50 olives were chosen by chance for each variety (10 olives per tree). Using a digital caliper (OEM, China), the widest dimension was measured in mm.

2.3 DATA ANALYSIS

The statistical software SPSS (version 21) was used to analysis the data on infestation rate and fruit caliber with General Linear Model (GLM): Repeated Measures with “variety” and “sampling date” as effects. ANCOVA was used to study the effect of cardinal orientation on infestation rate in both varieties. Tukey post-hoc test was applied to compare the infestation rate of different cardinal orientations. The GLM function in R environment (R Core Team, 2021) was used to build the relation between the infestation rate and the fruits caliber. The significance level for all analyses was 0.05.

3 RESULTS

3.1 POPULATION DYNAMICS OF THE OLIVE FLY AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Olive fly flight activity was distributed throughout the year (Figure 3). The dynamic of adult flights was showed five major peaks, which correspond to the number of generations. The first flies in our study area were captured on 23/06/2019 with a Pi population index of 0.12 flies / trap /day. So that, the first peak appeared on 13/07/2019. From this date, the number of individuals decreased and coincided with the increasing in temperature and the falling in humidity (summer period). In September, the population returns to increase relatively with the decreasing in temperature and the increasing in humidity, forming a succession of 3 autumn-winter generations; September 03 (0.70 flies / traps / day), November 03 (2.4

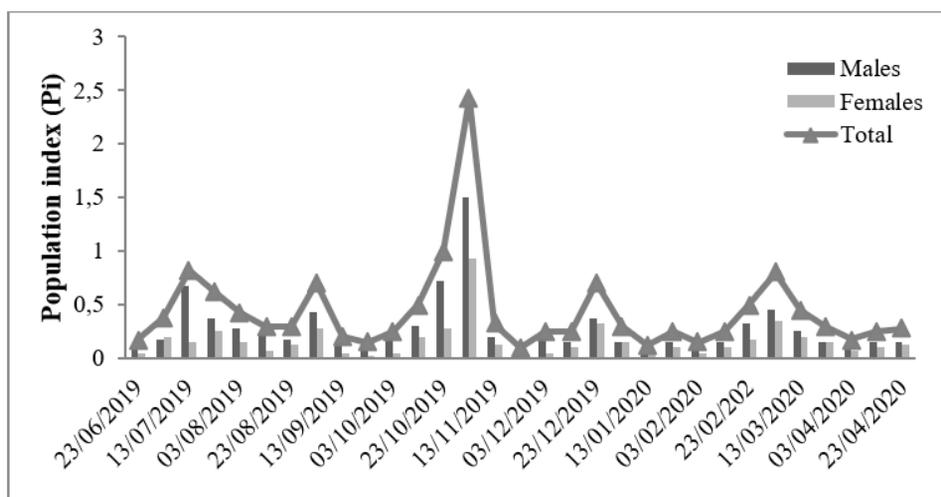


Figure 3: Population indexes Pi (total, male and female), during the study period

flies / traps / day), December 23 (0.70 flies / traps / day) respectively. The value of the population index decreased from the end of December to February, where the temperature in this period is $\leq 10^{\circ}\text{C}$ which corresponds as a limiting factor (Fig 3 and 4). The 5th generation is spring generation that appeared at 03/03/2020 (0.80 flies / traps / day). The sex ratio of captured flies was constantly in favor of males (0.63 males and 0.37 females).

3.2 INFESTATION RATE

Infestation rate differed significantly between varieties and across the sampling date as well as the interaction of them (Table 1). Infestation rate of 'Sigoise' was higher

than that of 'Chemlal' (Figure 5). At the beginning of September, the infestation rate was low ($11.50 \pm 1.66\%$, $7.00 \pm 1.27\%$) respectively for the two varieties Sigoise and Chemlal. As of October 03, the infestation increased for 'Sigoise' variety, while for 'Chemlal', the increase of the infestation was moderate. In December, the infestation in 'Chemlal' was intensified and reached high value at the time of harvest (78%), which is near to 'Sigoise' infestation rate (84%) (Figure 5).

Fruit calibers differed significantly among varieties, the sampling date and the interaction between the two factors (Table 1). The fruit caliber was higher in 'Sigoise' than 'Chemlal' throughout the study period. We noted a rapid increase of caliber in 'Sigoise' variety and a slight increase in 'Chemlal' variety (Figure 6).

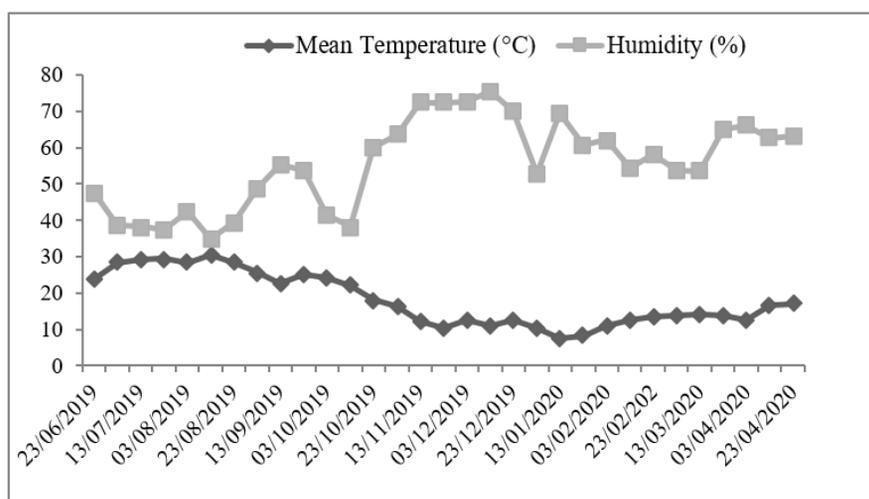


Figure 4: Average daily data of the temperature and relative humidity from June 23, 2019 to April 23, 2020 in the Mascara region

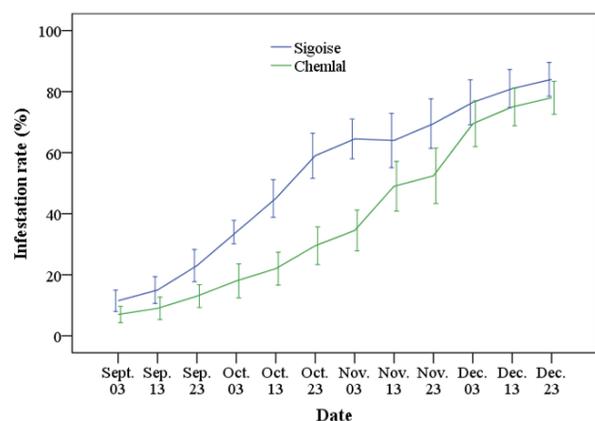
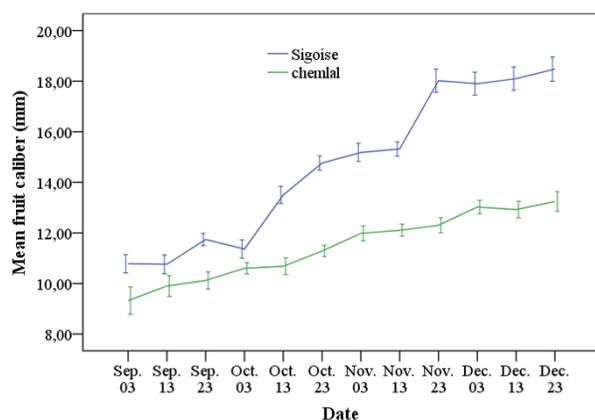
Table 1: Effects of variety and sampling date on infestation rate and fruits caliber for the year 2019 (GLM: Repeated measures)

Variable	Factor	df	F	p
Infestation rate	Sampling date	6.46	238.02	<0.0001
	Variety	1	26.28	<0.0001
	Interaction	6.46	7.79	<0.0001
Fruit caliber	Sampling date	10.16	295.62	<0.0001
	Variety	1	1743.06	<0.0001
	Interaction	10.16	49.87	<0.0001

In order to study the influence of the fruit size factor on both varieties susceptibility to *B. oleae*, a relationship was estimated between the infestation rate and the caliber of the fruits by the GLM function in R (R Core Team, 2021). The results showed that size coefficient is highly significant ($p < 0.001$), while the variety coefficient is not significant ($p = 0.14$). This mean that the infestation rate is not linked to the variety but to the size. The relation is written in the following form:

$$\text{Infestation rate} = -15.414 + -2.32 * \text{Variety} + 5.17 * \text{Size} (1)$$

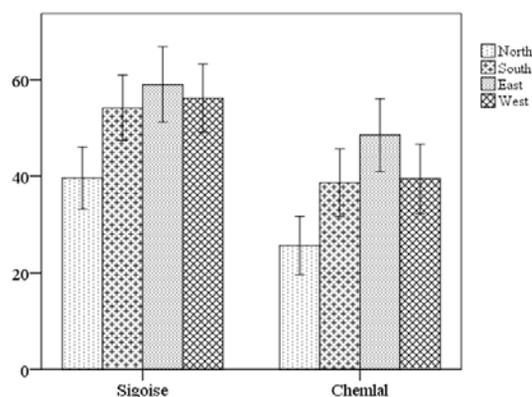
On the other hand, ANCOVA analysis revealed that there is a significant difference of the infestation between the cardinal orientations of the tree throughout the study period ($F = 44.03$, $df = 3$, $p = 0.006$) and between varieties ($F = 111.28$, $df = 1$, $p = 0.002$), while their interaction did not found significant for infestation ($F = 0.29$, $df = 3$, $p = 0.83$). Posthoc tests of Tukey's confirmed that the North direction is the least infested by the olive fly in both varieties, but there is no significant difference between other orientations (East, South and West) (Figure 7).

**Figure 5:** Infestation rate (mean \pm S.E) of the two varieties by the olive flies (September to December 2019)**Figure 6:** Mean fruit caliber (mean \pm S.E) of the two varieties by the olive flies (September to December 2019)

4 DISCUSSION

4.1 STUDY OF THE POPULATION DYNAMICS OF THE OLIVE FLY

The presence and fluctuation of the fly throughout the year are well demonstrated by our results with an important number of generations (five peaks per year), this latter depends on several factors, mainly the climate which is closely linked to the longevity of this pest, fruits

**Figure 7:** Variations in the infestation rate (mean \pm E.S) of olives in relation to cardinal orientation of the tree throughout the study period

damaged which remain after harvest which ensures the maintaining and continuity of the species in the orchards (Jimenez et al., 1994). Daane & Johnson (2010) claim that even if the olive tree is unsuitable for oviposition, adults have the ability to reproduce and survive when their nutrition is available, which constitutes a true danger to olive orchard.

In the study area, the first generation was reported in July. Also, Gaouar (1996) in the Tlemcen region in Algeria, Yokoyama et al. (2006) in southern California, Goncalves et al. (2012) in Portugal, Ait Mansour et al. (2015) in Morocco and Pertíñez & Vélez (2020) in Madrid (Spain) found a generation was marked at the end of June or the beginning of July in the olive orchards close to the sea (fresh and humid), however in inland areas which far of coastline, the summer generation was absent. This can be explained by the hot, arid conditions and the unavailability of fruit. We reported the second generation on September 03, 2019 where the temperature and humidity conditions become ambient also the receptive olives are available and premature. It was followed by the third at the beginning of November and the fourth at the end of December. This succession of three generations in the autumn was similar to the results of Goncalves et al. (2012) and Ait Mansour et al. (2015). However, Gaouar (1996) and Yokoyama et al. (2006) found two generations in this period and Pertíñez & Vélez (2020) found only one generation in the fall. This overlap of generations was explained by the contribution of each generation to the coexistence of the future generation. The fourth generation in our result was absent in most of the studies, this can be explained by the late harvest of the fruits until the end of December. Generally according to several researchers, in most regions, autumn is the season best suited to the development of the olive fly, when its larval food is available (Daane & Johnson, 2010). Besides, Yokoyama et al. (2006) explained that the unusually large number of adults captured from March to April is due to the presence of fruits in the orchard of the previous year, which provides oviposition sites and food for the development of this pest. This ascertainment explains well and justifies the appearance of the fifth generation (March 03, 2020) in our study region. Also, the population density is closely related to climatic conditions (temperature and humidity). According to Marchi et al. (2016), interannual variations of the population are explained by temperature and according to Broufas et al. (2009) Relative humidity can lead to increased longevity of the fly and the fertility of their females. Concerning the study of the sex ratio, it was noticed from the results that the number of catches of males was greater than that of females (0.63 males and 0.37 females), this can be justified by the color yellow traps and nature of bait. This ascertainment is

similar to that of Katsoyannos & Kouloussis (2001) who explain that catches are strongly influenced by the color of the traps, where he reported that males of olive flies are attracted to the yellow, orange and white color traps, while females by the colors red and black. Rice et al. (2003) revealed that traps baited only with ammonium bicarbonate, more male than female flies were collected.

4.2 INFESTATION RATE

The fruit infestation started on September 03, 2019 where the olives reached the fruit enlargement and stone hardening stage, which is considered the receptive stage for oviposition olive fly (Civantos, 1999), thus coinciding with the period of ovarian maturation of females (Tzanakakis, 2003). Our results are similar to those of (Ibnsouda et al., 2004; Goncalves et al., 2012). The significant increase of the infestation over time was justified by the increase in the number of captures. Pertíñez & Vélez (2020) mentioned that the proportional increase of damage was caused by the increase of the population size, while all reductions in population size maintained the total amount of damaged olives. The study of the influence of the cardinal orientation of the tree on the level of infestation revealed that the northern cardinal orientation of the tree is less attacked by the fly, according to Goncalves et al. (2012) the olive fly prefers to oviposit on the coldest areas of the tree. While Gaouar & Debouzi (1991) indicated that the cardinal orientation in olive trees did not influence the infestation.

Not only the number of captures by olive flies is responsible for of the damage importance to the olive tree, but also the different aspects of cultivars play an important role in their susceptibility to oviposition. The olive flies preference for oviposition appears to lie in the interaction and correlation of three aspects: physical, chemical and molecular (Malheiro et al., 2015). Certain physical characteristics of fruits including color, elongation, hardness and volume affect their susceptibility to this pest (Rizzo et al., 2012). Several studies have evaluated a good correlation between fruit size and olive tree infestation (Neuenschwander & Michelakis, 1979; Burrak & Zaloum, 2008; Rizzo et al., 2012; Garantonakis et al., 2017; Medjkouh et al., 2018). We have reported in our case that there is an important relationship between fruit size and infestation rate. The difference between the infestations of the two varieties was justified by the sensitivity of the table variety (Sigoise) which has a larger size than that of the 'Chemlal' variety with small fruits and high oil content, where this latter is less infested. Our results are in agreement with those of Jerraya et al. (1982), Arambourg (1984) and of Gaouar & Debouzi (1991). A

similar infestation rate in the two varieties studied was observed at the end of the season ($84.00 \pm 2.65\%$ 'Sigoise', $78.00 \pm 2.57\%$ 'Chemlal'), despite that the fruits calibers are different (18.48 ± 0.24 mm for the 'Sigoise' and 13.24 ± 0.19 mm for 'Chemlal'). These rates which seem the same important mark the third generation with a number of adults which reaches its maximum (2.4 flies / traps / day), we can say that the adults of this generation could oviposit their eggs in almost all the fruits not infested (regardless of caliber) (Gaouar & Debouzi, 1991).

5 CONCLUSION

The trapping of the olive fly adults allowed us to determine their population dynamic and to evaluate the number of generations in Mascara region, this pest is present throughout the year with five generations. The overlapping of the autumn generations causes important damage to the olives. The evaluation of the infestation rate showed that at the beginning of the season, the olives of the Sigoise variety are more attacked by *B. oleae* than the olives of 'Chemlal'. This difference remain linked to the size of the fruits, where the Sigoise variety had large caliber olives (table variety) compared to the small-fruited Chemlal variety (olive intended for oil). However, at the end of the season, despite the two varieties were different in the size of their olives, but the infestation rate is high for both.

The knowledge the dynamics of *B. oleae* populations and the determination the level of infestation that can inflict on different olive varieties remains the key to obtain better integrated control strategy against such parasites in an area as important as Mascara (Algeria) recognized by its olive vocation and its national and international fame.

6 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to the olive orchard owner who permitted access for this study, and to Professor A. Hammimed (Mascara University) who provided us with climatic data for the study region. My thanks also to my colleague Elhouacine Houcine for his invaluable help during the experiment.

7 REFERENCES

Ait-Mansour, A., Kahime, K., Chemseddine, M. & Boumezough, A. (2015). Study of the population dynamics of the olive fly *Bactrocera oleae* Rossi. (Diptera, Tephritidae) in

- the region of Essaouira. *Open Journal of Ecology*, 5, 174-186. <https://doi.org/10.4236/oje.2015.55015>
- Arambourg, Y. (1984). La faune entomologique de l'olivier. *Olivae*, 4, 14-37.
- Athar, M. (2005). Infestation of olive fruit fly, *Bactrocera oleae*, in California and taxonomy of its host trees. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 70 (4), 135-138.
- Bento, A., Pereira, J. A., Cabanas, J., Pinto, A. & Torres, L. (2009). Sensibility of different olive cultivars to infestations by the olive fly, *Bactrocera oleae*, and the olive moth, *Prays oleae*. *Actas Portuguesas de Horticultura*, 13, 134-140.
- Broufas, G. D., Pappas, M. L. & Koveos, D. S. (2009). Effect of relative humidity on reproduction, longevity and ovarian maturation of the tephritid fly *Bactrocera oleae*. *Annals of the Entomological Society of America*, 102, 70-75. <https://doi.org/10.1603/008.102.0107>
- Burrack, H. J., & Zalom, F. G. (2008). Olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) ovipositional preference and larval performance in several commercially important olive varieties in California. *Journal of Economic Entomology*, 101(3), 750-758. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2008\)101\[750:OFF DTO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[750:OFF DTO]2.0.CO;2)
- Burrack, H. J., Bingham, R., Price, R., Connell, J. H., Phillips, P. P., Wunderlich, L., Vossen, P. M., O'Connell, N. V., Ferguson, L. & Zalom, F. G. (2011). Understanding the seasonal and reproductive biology of olive fruit fly is critical to its management. *California Agriculture*, 65, 14-20. <http://dx.doi.org/10.3733/ca.v065n01p14>
- Civantos, M. L. (1999). *Olive pest and disease management*, Collection: Practical Handbooks. International Olive Oil Council, Madrid, 207 p.
- Daane, K. M., & Johnson, M. W. (2010). Olive fruit fly: Managing an ancient pest in modern times. *Annual Review of Entomology*, 55(1), 151-169. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090553>
- FAO. (2021). consulted [10/10/2021]. http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country
- Gaouar, N. (1996). *Apport de la biologie des populations de la mouche de l'olive Bactrocera (=Dacus) oleae (Gmelin) à l'optimisation de son contrôle dans la région de Tlemcen*. Ph D thesis, Biology institute, Tlemcen University, Algeria.
- Gaouar, N., & Debouzi, D. (1991). Olive fruit fly *Dacus oleae* Gmel (Diptera: Tephritidae) damage in Tlemcen region Algeria. *Journal of Applied Entomology*, 112, 288-297. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0418.1991.tb01058.x>
- Garantonakis, N., Varikou, K. & Birouraki, A. (2017). Influence of olive variety on biological parameters of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Applied Entomology and Zoology*, 52, 189-196. <https://doi.org/10.1007/s13355-016-0467-7>
- Genç, H., & Nation, J. L. (2008). Maintaining *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Diptera: Tephritidae) colony on its natural host in the laboratory. *Journal of Pest Science*, 81, 167-174. <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0203-3>
- Goncalves, M. E., Malheiro, R., Casal, S., Torres, L. & Pereira, J. A. (2012). Influence of fruit traits on oviposition preference of the olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae), on three Portuguese olive varieties (Cobrancosa, Madural and Verdeal Transmontana). *Scientia Horticulturae*, 145, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.002>

- Ibnsouda-Koraichi, S., El-Haidani, A., Khila, A., Houari, A., Haggoud, A. & Vincent, A. (2004). Study of the olive fruits infestation by *Bactrocera oleae* in the area of Fez in Morocco and their fertility in the laboratory. *Moroccan Journal of Biology*, 1, 21-31.
- Jarraya, A., Jardak, T., Khalif, M. & Germazi, T. (1982). La mouche de l'olivier *Dacus oleae* (Gmel) Dipt., Tephritidae) et son impact sur la production oléicole dans la région de Sfax. *Les Annales de l'INRAT*, 55, 5-55.
- Jiméne, A., Castillo, E. & Esteban-Durán, J. R. (1994). Niveles de población larvaria de *Bactrocera (Dacus) oleae* Gmelin, descendientes de hembras en presencia de bajas cantidades de frutos receptivos. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 20(1), 119-130.
- Katsoyannos, B. I., & Kouloussis, N. A. (2001). Captures of the olive fruit fly *Bactrocera oleae* on spheres of different colours. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 100, 165–172. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00860.x>
- Malheiro, R., Casal, S., Baptista, P. & Pereira, J. A. (2015). A review of *Bactrocera oleae* (Rossi) impact in olive products : From the tree to the table. *Trends in Food Science and Technology*, 44, 226-242. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.009>
- Marchi, S., Guidotti, D., Ricciolini, M. v Petacchi, R. (2016). Towards understanding temporal and spatial dynamics of *Bactrocera oleae* (Rossi) infestations using decadelong agrometeorological time series. *International Journal of Biometeorology*, 60(11), 1681-1694. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1159-2>.
- Medjkouh, L., Costa, A., Tamendjari, A., Bekdouche, F., Bouarroudj, K. & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Susceptibility of eight Algerian olive cultivars to *Bactrocera oleae* infestation – a pomological and nutritional quality perspective. *Phytoparasitica*, 46, 595–605. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0697-z>.
- Neuenschwander, P., & Michelakis, S. (1979). McPhail trap captures of *Dacus oleae* (Gmel.) (Diptera: Tephritidae) in comparison to the fly density and population composition as assessed by sondage technique in Crete, Greece. *Bulletin de la Societe Entomologique Suisse*, 52, 343–357.
- Neuenschwander, P., Michelakis, S., Holloway, P. & Berchtold, W. (1985). Factors affecting the susceptibility of fruits of different olive varieties to attack by *Dacus oleae* (Gmel.) (Diptera: Tephritidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 100, 174–188. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1985.tb02770.x>
- Pertíñez, Á. M., & Vélez, P. M. (2020). A *Bactrocera oleae* (Rossi) damage estimation model to anticipate pest control strategies in olive production. *Crop Protection*, 137(2), 105-281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105281>
- Ras, E., Beukeboom, L. W., Cáceres, C. & Bourtzis, K. (2017). Review of the role of gut microbiota in mass rearing of the olive fruit fly, *Bactrocera oleae*, and its parasitoids. *Entomologia*, 164, 237–256. <https://doi.org/10.1111/eea.12609>
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rice, R. E. (2000). Bionomics of olive fruit by *Bactrocera (Dacus) oleae*. *University of California Plant Protection Quarterly*, 10, 1-5.
- Rice, R. E., Phillips, P. A., Stewart-Leslie, J. & Sibbett, G. S. (2003). Olive fruit fly populations measured in Central and Southern California. *California Agriculture*, 57(4), 122–7. <https://doi.org/10.3733/ca.v057n04p122>
- Rizzo, R., Caleca, V. & Lombardo, A. (2012). Relation of fruit color, elongation, hardness, and volume to the infestation of olive cultivars by the olive fruit fly, *Bactrocera oleae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 145(1), 15–22. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01311.x>
- Rizzo, R., Verde, G. L., Sinacori, M., Maggi, F., Cappellacci, L., Petrelli, R., Vittori, S., Morshedloo, M. R., Fofie, N'G. B. Y. & Benelli, G. (2020). Developing green insecticides to manage olive fruit flies? Ingestion toxicity of four essential oils in protein baits on *Bactrocera oleae*. *Industrial Crops & Products*, 143, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111884>
- Sivropoulou, A., Haritidou, L., Vasara, E., Aptosoglou, S. & Kolias, S. (2000). Correlation of the insecticidal activity of the *Bacillus thuringiensis* A4 strain against *Bactrocera oleae* (Diptera) with the 140-kDa crystal polypeptide. *Current Microbiology*, 41, 262–266. <https://doi.org/10.1007/s0028432708>
- Torrini, G., Mazza, G., Benvenuti, C., Simoncini, S., Landi, S., Frosinini, R., Rocchini, A. & Roversi, P. F. (2020). Entomopathogenic nematodes as potential biocontrol agents against *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Biocontrol Science and Technology*, 30(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1775177>
- Tzanakakis, M. E. (2003). Seasonal development and dormancy of insects and mites feeding on olive: a review. *Netherlands Journal of Zoology*, 52(2–4), 87–224. <https://doi.org/10.1163/156854203764817670>
- Yokoyama, V. Y., Miller, G. T., Stewart-Leslie, J., Rice, R. E. & Phillips, P. A. (2006). Olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations in relation to region, trap type, season, and availability of fruit. *Journal of Economic Entomology*, 99, 2072–2079. <https://doi.org/10.1093/jee/99.6.2072>
- Zalom, F. G., Van-Steenwyk, R. A., Burrack, H. J. & Johnson, M. W. (2009). Olive fruit fly: Integrated Pest Management for Home Gardeners and Landscape Professionals. In: *ANR, Pest notes. University of California Agriculture and Natural Resources*, p. 1-4.

First study of ovipositional preference and developmental performance of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) in an arid zone (Laghouat: Algeria)

Bourakna Zineb*, Righi Kada and Righi-Assia Fatiha

Biology Systems and Geomatics Laboratory, Department of Agronomy, Faculty of Natural Sciences and Life, Mascara University, Algeria

ABSTRACT

The present study evaluated the susceptibility of varieties (Sevillano, Sigoise, Chemlal and Dahbia) to *Bactrocera oleae* and their infestation rates by studying some physical characteristics of fruits and evaluated the performance of *B. oleae* in these varieties in an arid zone (Algeria). Results showed that Dahbia variety, the recorded more infestation in 2020 than in 2019. While Sevillano showed maximum infestation in 2020 with highest MI and larger olives, and Chemlal with smaller olives showed minimum infestation. Maturity, weight, volume having a positive correlation with the infestation for all varieties, while roundness at length was significantly and positively correlated with infestation only for Dahbia. Dahbia has had the poor performance to the total number of pupae produced and the mean number of individuals per olive. The pupation time varied by temperature but not with varieties. The percentage of emerged adults was high for all varieties. Sex ratio and parasitism rate was no significant difference between varieties or lots. Finally, the susceptibility of varieties to *B. oleae* contributes to the invasion of this pest in the arid zone in Algeria.

Key words : *Bactrocera oleae*, development performances, olive infestation, ovipositional preference, physical characteristics.

INTRODUCTION

Olive production in Algeria is took in the sixth among the ten major producing countries in the world during 2020 with a production of 1,079,508 tons (FAOStat, 2022). All fruits of different subspecies of *Olea europaea* L. (cultivated and wild) are susceptible to the attack of different insect pests and diseases. Among them, the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) is considered the major carpophagous pest of olives in the Mediterranean basin (Daane and Johnson, 2010).

The abundance of population and the duration of the life cycle of this fly depend mainly on climatic factors (temperature and humidity), but also on the availability and quality of the olive fruit (Daane and Johnson, 2010). The cultivar characteristics may influence the ovipositional preference that include physical stimuli (size, weight, volume, fruit color and hardness of the epicarp) and chemical stimuli (Malheiro *et al.*, 2015). In the field, *B. oleae*

female prefers to lay eggs in varieties with ripe, large, not hard and spherical fruits with high water content (Burrak and Zalom, 2008; Gonçalves *et al.*, 2012; Garantonakis *et al.*, 2017a; Medjkouh *et al.*, 2018). Also these characteristics influence larval development and performance, such as proportion pupated, weight of pupa, percentage of emergence, sex ratio, adult size as well as the ovarian maturity of the adult females (Burrak et Zalom, 2008; Garantonakis *et al.*, 2017a).

The females lay their eggs just below the surface of the olive fruits by forming oviposition stings, thus the larval stages development feed the olive mesocarp by excavating galleries (Daane and Johnson, 2010), which results in quantitative and qualitative losses of table olives and oil. These losses are due to premature drop the infested fruits, a decrease in oil content and its quality (modifies the quantitative profile of phenolic compounds and increase in level of acidity) and affecting to the nutritional value of the attacked olives (lipid and protein contents) (Daane and Johnson, 2010; Medjkouh *et al.*, 2018). Besides this, secondary infestation results by the introduction

*Corresponding author's E-mail : zainebagro@gmail.com, zineb.bourakna@univ-mascara.dz; ORCID: 0000-0002-9340-0171

of bacteria and fungi that rot the fruit (Athar, 2005). According to some studies, a level of infestation of fruits that can reach almost 100% if control measures are not applied (Gaouar and Debouzi, 1991; Burrak *et al.*, 2011). But, it remains linked to the altitude, climatic conditions and cultivated olive varieties.

Control strategies of *B. oleae* have relied mainly on chemical treatments, as bait or cover sprays. However, the continuous application of these treatments led to the occurrence of resistant populations of *B. oleae*, causing also side effects on environment and consumers health (Daane and Johnson, 2010). In the last decades, alternative control methods for the olive fruit fly are more environmentally friendly as they include: mass trapping programs, attracting and killing method, sterile insect techniques (SIT), kaolin or copper sprays and natural products (bio insecticides) (Daane and Johnson, 2010; Bourakna *et al.*, 2022a). Also the parasitoids in the family Braconidae are considered natural enemies attacking olive fruit fly in its native range (Daane and Johnson, 2010). Among them, *Psytallia (Opus) concolor* (Szépliget) (Hymenoptera: Braconidae) is a koinobiont endoparasitoid which has been used in Mediterranean areas for biological control of olive fruit fly by inundative release (Garantonakis, 2017b). It was considered as the only parasitoid of the olive fly detected in Algeria by Gaouar et Debouzi (1991).

The goals of the present work were to study the oviposition preference of *B. oleae* by assessing the infestation of four cultivars of olive tree (Sevillano, Sigoise, Chemlal and Dahbia) in relationship with its physical characteristics (maturity index, weight, volume and roundness at length), as well as to evaluate some biological parameters of this pest (Total number of pupae, Number of individuals per olive, duration from pupation, emergence rate, sex ratio and parasitism rate) in each variety.

MATERIALS AND METHODS

Experimental area : This study was conducted in two very neighbouring olive groves in the Hamda site. This site is located near the province of Laghouat (arid zone which is located in the southern foothills of the Saharan Atlas, situated at 400 Km south center of Algiers, Algeria) (33°48'28"N 2°51'46"W, elevation 793 m) during 2019, 2020 and 2021 on four olive cultivars recognized for their better productivities (Dahbia, Sigoise, Chemlal and Sevillano). The two

orchards had similar geographical, climatic and other characteristics: orchards age (between 23 and 27 years old); being irrigated and unsprayed; being pruned each year; trees were of medium size with a distance between trees (10 × 10 m). The first orchard was cultivated by only the Dahbia variety on a superficies of 8 ha and the second by Sevillano, Sigoise and Chemlal on a total superficies of 11 ha.

Olive fruit sampling : Every ten days, from September to November (Dahbia variety in 2019 and 2020, Sevillano, Sigoise and Chemlal in 2020), 5 trees were randomly selected for each variety, 40 olives were randomly harvested at head height for each tree from 4 cardinal orientations (north, south, east, and west); thus, 200 drupes were sampled for each variety and sampling date, to evaluate the proportion of olives infested, the physical characteristics of fruits and the biological parameters of the insect. The sampled olives were transported separate in plastic bags depending on the tree and orientation to the laboratory. The possible presence of oviposition punctures and exit holes were determined using a binocular stereo-microscope.

Tracking olive infestations : Proportion of olives infested was expressed as the percentage of punctured fruits out all sampled fruits. Olives bearing oviposition stings were considered infested (Burrak *et al.*, 2011).

Physical characteristics of fruits : In 2020, the physical characteristics of the fruits were evaluated in 50 fruits which were randomly chosen for each cultivar in order to estimate:

The maturity index (MI) of the olives : it was evaluated according to the method described by the COI (2011). Formula is based on a punctuation system assigning to each staining step of the skin and pulp of the olives a value ranging between 0 and 7. MI was calculated as follows: $MI = (a \times 0 + b \times 1 + c \times 2 + d \times 3 + e \times 4 + f \times 5 + g \times 6 + h \times 7) / n$. Where a, b, c, d, e, f, g and h are the number of fruits of classes 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 respectively, and n is the total number of observed fruits.

The weight of each olive : it was obtained by a precision scale of 0.01 g.

The volume of each fruit : it was determined by using the formula for an ellipsoid shape as: $V = (4 / 3\pi) (l / 2) (w / 2) (h / 2)$ (Burrack *et al.*, 2011). Therefore, three dimensions were measured using a digital caliper with an accuracy of 0.01 mm. The

length, that is to say the distance between the apex and the base of the olive (l), the width is the widest point (w) and 90° of the widest dimension (h).

The roundness at length (RL) : it was calculated as follows: $RL = (h + w/2) / l$. High roundness at length values indicates more spherical olives (Burrack and Zalom, 2008).

Biological Parameters of olive fruit fly : In 2020, the development parameters of the olive fly were studied only for the Sigoise, Dahbia and Chemlal varieties. Sevillano was not possible to be studied because their fruits are very sensitive to the development of fungal molds during their incubation.

The olives infested were incubated under laboratory conditions of mean temperature about ($21 \pm 1^\circ\text{C}$ in October, $19 \pm 3^\circ\text{C}$ in November and $17 \pm 1^\circ\text{C}$ in December), humidity $60 \pm 5\%$ RH and approximately light regime 12 : 12 (L : D).

The olives were deposited on strainer of a large enough mesh to allow larvae and pupae to pass. The strainer was placed on a plastic bowl containing a layer of sterile sand to serve as a pupation substrate. The whole device was covered with tulle to avoid future adults from flying away (Gaouar, 1996). The pupae were collected each evening, placed separately in Petri dishes, which were labelled according to the pupation day and the variety, and incubated until adult emergence (fly or parasitoid).

Total number of pupae, mean number of individuals per olive (total number of exit holes before and after incubation per total number of punctured olives), duration from pupation to adult emergence, the emergence rate, sex ratio and parasitism rate were determined.

Data statistics : Data on proportion of olives infested and physical characteristics (maturity index, weight, volume and roundness at length) were analyzed using Repeated Measures ANOVA with "variety" and "sampling date" as effects. Two-way ANOVA was used to study the effect of "year" and "sampling date" thus the effect of "cardinal orientation" and "varieties" on proportion of olives infested. For each biologic parameter, the analysis of variance ANOVA is used. All means were separated using the Tukey's honestly significant difference (HSD) test or independent t-test ($p = 0.05$). Pearson's correlation were applied to measure the degree of relationship between the proportions of olives infested with the physical characteristics (maturity index, weight,

volume and roundness at length) for each variety. All the statistical analysis were carried out using the software SPSS (version 21).

RESULTS AND DISCUSSION

Proportion of olives infested and physical characteristics of fruits : During 2019 for Dahbia cultivar (Fig. 1) and 2020 for (Sevillano, Sigoise, Chemlal and Dahbia) (Fig. 2), the infestation started early September and it increased gradually until harvest time (end of November), when reached its maximum (Dahbia, 2019: $79 \pm 1.77\%$; Dahbia, 2020: $97.50 \pm 0.99\%$; Sevillano, 2020: $100 \pm 0.00\%$; Sigoise 2020: $99.00 \pm 0.68\%$; Chemlal, 2020: $97.00 \pm 1.05\%$). During the two trial seasons (2019 and 2020), proportion of olives infested for Dahbia variety differed significantly among years ($F = 13.5$, $df = 1$, $p = 0.001$) and across the sampling date ($F = 338.60$, $df = 5.25$, $p < 0.0001$) as well as the interaction of them ($F = 9.72$, $df = 5.25$, $p < 0.0001$). Independent *t-test* statistical analysis showed that there was no significant difference between the two treatments at each sampling date, however in November the significance was less than 0.05 (Fig. 1). Whose, 2020 infestation level in November was greater than that of 2019, which corresponded the population size (total number of flies) in November, 2020 (608 fly) is higher than 2019 (370 fly) (Bourakna *et al.*, unpublished results) during 2020, there were significant differences in proportion of olives infested between varieties ($F = 84.92$, $df = 3$, $p < 0.0001$)

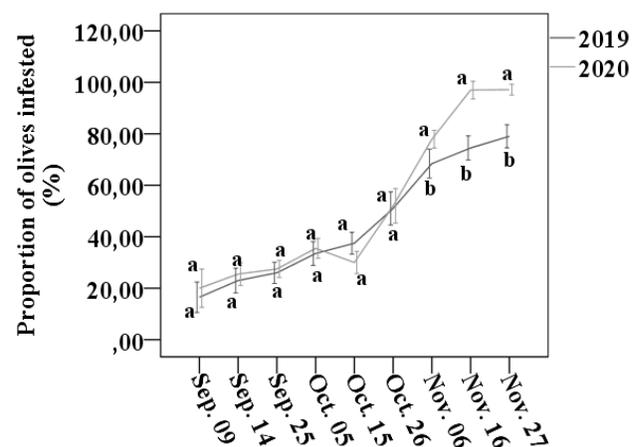


Fig. 1. Proportion of olives infested (%) during 2019 - 2020 in Dahbia. For each date, means (mean \pm SE) followed by same letter are not significantly different at $P < 0.05$ level according to Tukey's HSD test.

and across the sampling date ($F = 1148.33$, $df = 7.05$, $p < 0.0001$) as well as the interaction of them ($F : 8.93$, $df = 21.15$, $p < 0.0001$). During the trial season, the proportion of olives infested remained always higher in the variety Sevillano and lower in the variety Chemlal. In November, the level of infestation had no significant difference between the varieties, however on November 27, there was a slight significant difference between only Sevillano and Chemlal (Fig. 2).

There were no significant differences in the proportion of olives infested between the cardinal orientations of the tree ($F = 1.37$, $df = 3$, $p = 0.25$) nor for the interaction of cardinal orientations \times varieties ($F = 0.06$, $df = 9$, $p = 1$), however the difference was significant between varieties ($F = 10.68$, $df = 3$, $p < 0.0001$).

During 2020, maturity index, weight, volume and roundness at length differed significantly among varieties, the sampling date and the interaction of them (Table 1). At September, 04, Sigoise and Dahbia were similar in maturity index was close to 0 (fruits with green epidermis). Sevillano and Chemlal were similar in maturity index was close to 1 (fruits with yellowish green epidermis). From this date, MI values increased rapidly in Sevillano compared to others varieties that evolved slightly. At November, 27, fruits presented MI values of 4.24 ± 0.10 in Sevillano, 3.82 ± 0.10 in Sigoise, 3.60 ± 0.07 in Chemlal and 4.08 ± 0.06 in Dahbia (Fig. 3A). The weight and the volume increased with time but rapidly in Sevillano. Sevillano olives were significantly larger in volume and weight than all other varieties. Sigoise and

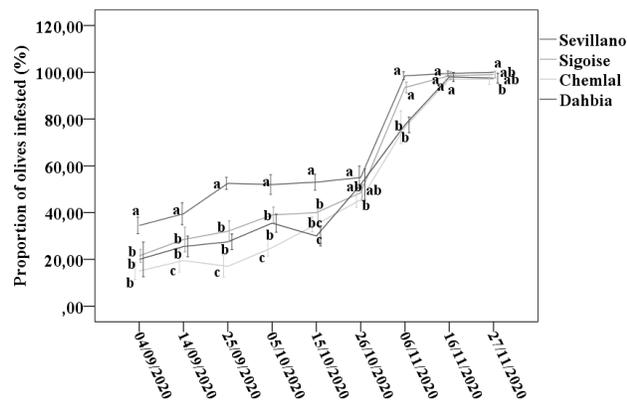


Fig. 2. Proportion of olives infested (%) in Sevillano, Sigoise, Chemlal and Dahbia, 2020. For each date, means (mean \pm SE) followed by same letter are not significantly different at $P < 0.05$ level according to Tukey's HSD test.

Table 1. Effects of variety and sampling date on maturity index, weight, volume and roundness at length during 2020 (ANOVA Repeated measures).

Variable	Factor	df	F	p
Maturity index (MI)	Variety	3	131.49	<0.0001
	Sampling date	6.48	565.61	<0.0001
	Interaction	19.46	11.69	<0.0001
Weight	Variety	3	2646.70	<0.0001
	Sampling date	5.44	75.31	<0.0001
	Interaction	15.61	11.75	<0.0001
Volume	Variety	3	6069.71	<0.0001
	Sampling date	6.86	44.80	<0.0001
	Interaction	20.60	6.06	<0.0001
Roundness at length	Variety	3	472.95	<0.0001
	Sampling date	7.64	4.00	<0.0001
	Interaction	5.98	22.92	<0.0001

Dahbia were medium, whereas Chemlal olives were smaller than all other varieties (Fig. 3B-C). Data on roundness at length showed Sevillano and were the most spherical olives than all other varieties during all the season (Fig. 3D).

A significant positive correlation was found between olives infested and maturity index (MI), fruit weight and volume for all varieties, being this correlation stronger in Chemlal. Roundness at length (RL) was positively correlated than for Dahbia (Table 2).

Biological parameters of the olive fruit fly: The results of the study of the biological parameters of the olive fruit fly started from the samples taken in October and November (Table 3), but those taken in September gave no pupae.

For the October lots, the total number of pupae produced was similar among varieties, while in

Table 2. Pearson's correlations results (R) between proportions of olives infested and physical characteristics (maturity index, weight, volume and roundness at length) in Sevillano, Sigoise, Chemlal and Dahbia.

	Sevillano	Sigoise	Chemlal	Dahbia
Maturity index (MI)	0.72*	0.87**	0.94**	0.81**
Weight (g)	0.65*	0.85**	0.91**	0.87**
Volume (cm ³)	0.80*	0.78*	0.92**	0.86**
Roundness at length (RL)	0.25 ^{NS}	0.44 ^{NS}	-0.20 ^{NS}	0.75*

NS = Non significant, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

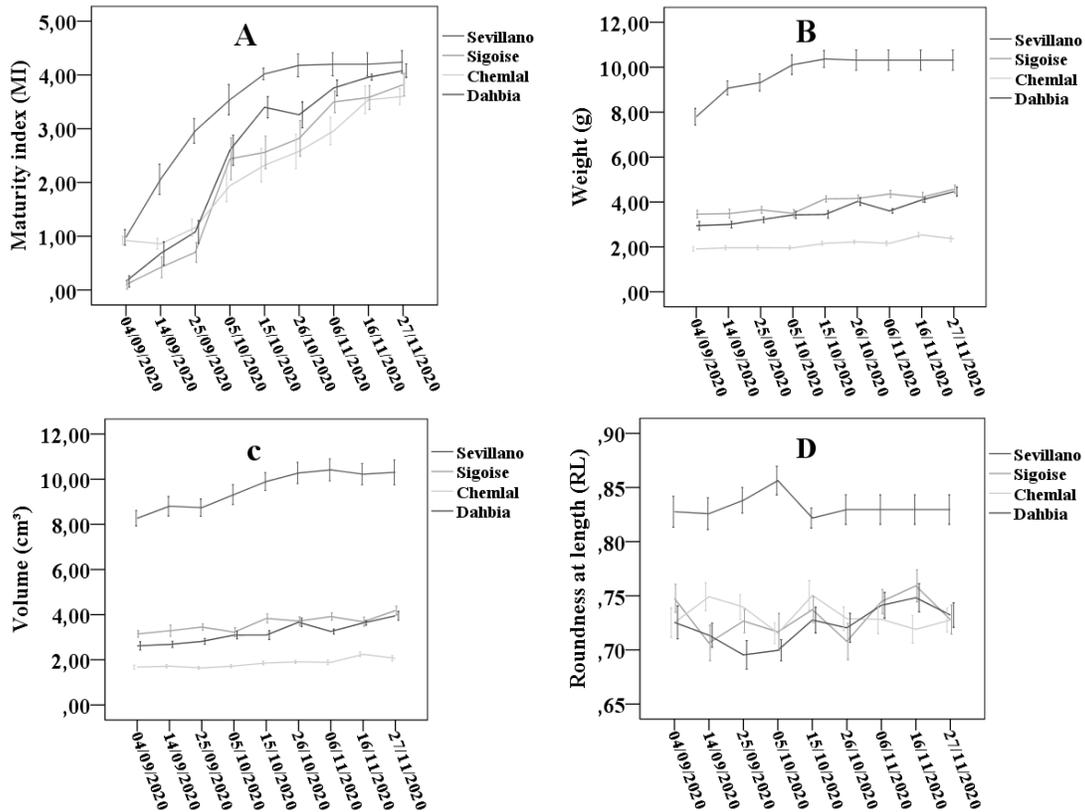


Fig. 3. Mean \pm SE, Maturity index (MI), weight (g), volume (cm³) and roundness at length (RL) of olive fruits in Sevillano, Sigoise, Chemlal and Dahbia, 2020.

November lots, Sigoise olives yielded the highest number of pupae, followed by Chemlal and Dahbia. The mean number of individuals per olive increased significantly from October to November for all varieties. Concerning October lots, Chemlal was significantly higher in mean number of individuals per olive than the other varieties, whereas in November, Sigoise yielded the highest mean number of individuals per fruit. Pupation time showed no difference between varieties, while pupae developed significantly faster for olives from October lots (15 days) than those in November (21 days) for all varieties. The percentage of emerged adults was higher than 90% for all varieties. The emergence rate had a significant difference among October and November lots for Sigoise and Dahbia but for Chemlal the percentage of emerged adults was similar among both lots. There was no significant difference in the proportion of pupae completing development to the adult stage among varieties for olives from November lots, while in October lots, the percentage of emerged adults was weak in Chemlal compared Dahbia. The sex ratio was influenced

neither by the variety nor by time. Proportion of females out of the total adults emerged from pupae represented almost half of the total flies, which varied between 0,48 and 0,55 (Table 3).

During our study we found that *Psytallia concolor* (Hymenoptera: Braconidae) was the only parasitoid species on the olive fruit fly that emerged during rearing put inside the laboratory. Parasitism of *B. oleae* larvae by *P. concolor* was very low for all varieties which did not exceed 0,047 %. There was no significant difference in the parasitism rate among varieties and time (Table 3).

Olive fruit flies begin to lay their eggs on the fruits of the olive tree in September, when the adults of both sexes male and female become sexually mature and the olive fruits become ripe and favorable for laying. A ripe olive fruit having a stimulatory effect on ovarian maturation of female flies (Tzanakakis, 2003). In our results, the annual variations of the infestation rate observed in November for the Dahbia variety related to the number of adults caught this month. There are

Table 3. Biological parameters of olive fruit fly in Sigoise, Chemlal and Dahbia, 2020.

Variety	Total number of pupae		Mean number of individuals per olive		Duration from pupation (days)	
	October	November	October	November	October	November
Sigoise	210	800	0.76 ± 0.11Aa	1.50 ± 0.023Ab	15.57 ± 0.20Aa	21.73 ± 0.12Ab
Chemlal	213	658	1.02 ± 0.10Ba	1.39 ± 0.047Ab	15.13 ± 0.12Aa	21.65 ± 0.12Ab
Dahbia	209	481	0.76 ± 0.11Aa	1.05 ± 0.038Bb	15.81 ± 0.22Aa	21.53 ± 0.15Ab
Cultivar	Emergence rate (%)		Sex ratio (f/t)		Parasitism rate (%)	
	October	November	October	November	October	November
Sigoise	95.95 ± 1.42ABa	90.65 ± 1.15Ab	0.46 ± 0.051Aa	0.49 ± 0.023Aa	0.047 ± 0.022Aa	0.020 ± 0.006Aa
Chemlal	92.58 ± 1.62Ba	90.58 ± 1.27Aa	0.54 ± 0.046 Aa	0.48 ± 0.024Aa	0.027 ± 0.017Aa	0.025 ± 0.009Aa
Dahbia	96.26 ± 1.51Aa	91.11 ± 1.41Ab	0.55 ± 0.051 Aa	0.49 ± 0.030Aa	0.0015 ± 0.0015Aa	0.026 ± 0.007Aa

Means followed by the same upper case letters in a column are not significantly different at the 0.05 level (Tukey's HSD test); while means followed by the same lower case letters a row are not significantly different at the 0.05 level (independent t -test).

similar to that concluded by Pertíñez and Vélez (2020) who found that the increase in the quantity of total damaged olives (QTD) and the quantity of damaged olives with live larvae (QTD) were linearly associated with the increase in McPhail trap catches. Our results during 2020 demonstrated that there is no influence of the cardinal orientation of the tree on the infestation level, this ascertainment is similar to that of Gaouar and Debouzi (1991). While Gonçalves *et al.* (2012) concluded that the coldest area of the tree (north orientation) is the least preferred by the olive fly for oviposition.

During 2020, for all varieties the damage gradually increased not only because of the increase in the number of catches but also by the characteristics of the fruits which affect oviposition of the olive fruit fly. According to Gonçalves *et al.* (2012), the choice of olives by *B. oleae* female depends on available varieties and their phenological stages. In this study, we observed an significant relation between the infestation rate and some physical characteristics of the fruit including maturity, size and shape. At the beginning of the season, the small size of olives and their hardness reduced the infestation; also the latter has become weak when the color of the fruits was green. Oviposition preference was positively correlated with maturity, ie it was positively correlated with color while negatively with hardness. The rapid maturity of the Sevillano variety caused an early infestation compared to the other varieties. The obtained results confirm field studies (Gonçalves *et al.*, 2012; Medjkouh *et al.*, 2018). However, these results are in disagreement with Rizzo *et al.* (2012) who noted that females of olive fruit flies were preferred to oviposit on hard and green olives.

Several authors (Burrak and Zaloum, 2008; Rizzo *et al.*, 2012; Bourakna *et al.*, 2022b) found that varieties with bigger fruits were more attacked than smaller ones, also concluding that within the same variety, size was positively correlated with infestation. In the results of the current study, Sevillano olives were the largest compared to the other varieties that were infested precociously and more intensely as it was previously found by Burrak and Zaloum (2008) in California. Sigoise olives, followed by Dahbia olives were the most infested after Sevillano, and Chemlal variety with important oil content was perforated late than the others. Our results agree with those of Gaouar and Debouzi (1991) and Bourakna *et al.* (2022b) who noted that Sigoise variety with its large fruit and low oil content is more infested than Chemlal. In our study, despite Sevillano olives were the most spherical and the most infested than the other varieties, but the correlation results showed that the shape does not always affect the susceptibility of the varieties. This finding is similar to that of Burrak and Zaloum (2008) who noted that Arbequina olives were generally spherical but they were less preferred in the field. However, Rizzo *et al.* (2012) found that spherical olives were more sensitive to more ovoid olives. At the end season, despite there was a difference in the level of infestation between cultivars but it remains important and unacceptable for all varieties, including the variety of olive oil (Chemlal) having fruits of small de size but it exceeds 90% in the absence of control. These rates which also seem important were observed by Gaouar and Debouzi (1991) and Burrak *et al.* (2011) that females could lay eggs in almost all uninfested fruits despite the size their fruits are very small.

The performance study of *B. oleae* demonstrated that the low MI in September for the three varieties justifies the lack of pupa production. The total number of pupae produced was different between the olives from October and November lots depending on the difference in proportion of olives infested that it was greater in November than October for the three varieties. In November, Sigoise variety was the most infested and the most productive for the pupae, followed by Chemlal. Dahbia was the least productive, despite thier infestation rate was similar than Sigoise and Chemlal and thier olives was biguest than Chemlal. The number of pupae produced did not correspond to ovipositional preferences in the field. Also Burrak and Zalom (2008) and Garantonakis *et al.* (2017a) noticed that the weight of olives does not affect pupal yield.

The significant differences were observed in the mean number of individuals per olive between varieties and months were not only depend on the ovipositional preference of olive fly females, but may be justified by the nutritive constituents of the pulp (Medjkouh *et al.*, 2018). Iannotta *et al.* (2007) revealed that phenolic compounds can also affect the level of attack, where the richest cultivars in oleuropein are the least attacked. Among previous research around the study of the chemical compositions of some olive varieties, Belarbi *et al.* (2018) concluded that Dahbia variety was richer in oleuropein than Sigoise variety in the maturity stage, where our result demonstrated that Dahbia variety possessed the low average number of individuals per olive. Pupation lasted only 15 days for the October lots while it lasted 21 days in November lots. These variations were attributable to the temperature et not to variety, since the temperatures were the only factor that varied in the laboratory during the olives incubation ($21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ in October, $19 \pm 3^{\circ}\text{C}$ in November and $17 \pm 1^{\circ}\text{C}$ in December). The difference of adult emergence rate between varieties and time could be influenced by climatic conditions also by the chemical composition of the pulp, which are prevented the development of premature stages. Concerning the recorded sex ratio, it was influenced neither by the variety nor by the variations of the laboratory temperature during our experiment. But the fluctuation in development from larvae to male or female individuals is probably influenced by several biotic factors (e.g. parasitism), abiotic (e.g. temperature) or some chemical parameters of the fruits (Garantonakis, 2017a).

The low percentage of parasitism in our preliminary results gave an idea on the lack of natural biological control in this arid region. In Algeria, it was already detected by Gaouar and Debouzi (1991) only near the coast but it seems to be absent in inland sites. Despite this endoparasitic braconid was considered to be the best known in the Mediterranean region but it is relatively ineffective as a biological control agent, whose poor performance can be justified by the lack of synchronization between the life cycles of the parasitoid and fly thus the low winter temperatures can affect parasitoid survival (Delrio, 2010).

In conclusion, the interannual variations in olive fruit infestation between 2019 and 2020 were related to the olive fruit fly population which becomes important in 2020 than 2019. Female olive fruit flies prefer to lay on purple or black, large and mature fruits. Amongst which, Sevillano variety was the most sensitive and it was attacked early. While, at the end season, all the varieties reached a more serious damage level, which showed that the protection of orchards in the arid region should not be neglected because all these varieties are of economical interest in the production of table olives and oil. These physical characteristics of the olives do not affect the development of the larvae but more work therefore is needed to verify their influence by chemical parameters. We believe that the use of cultivars with low susceptibility to attack cannot represent a successful strategy for olive producers because we cannot dispense to these varieties of important economic and commercial nature. To attenuate the effects of damage caused by the olive fruit fly, it is necessary to apply an alternative management to the chemical control by physical (e.g. mass trapping) or biological methods especially by improving the population dynamics of *Psyttalia concolor* in the field in this arid region.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Design of the experiments (BZ, RAF, RK); Identification of specimens (RK); Execution of laboratory and field experiments and data analysis, also writing of the manuscript (BZ); Revision of the manuscript (RAF). All authors have read and agreed the manuscript.

DECLARATION

The authors declare that they have no conflict of interests.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank to Mr. Molinari and Mr. Benbrahim olive groves owners who permitted access for this study and also to Doctor Kabache Taieb (ENS Laghouat) for his kind contribution in revising the english of this article.

REFERENCES

- Athar, M. 2005. Infestation of olive fruit fly, *Bactrocera oleae*, in California and taxonomy of its host trees. *Agric. Conspectus Scientificus*, **70**: 135-38.
- Benlarbi, F., Stoker, P. and Yousfi, M. 2018. Investigation of antioxidant and antihemolytic activities of Algerian defatted olive fruits (*olea europaea* L.) at two ripening stages. *Mediterranean J. Nutrition and Metabolism*, **11**: 217-33.
- Bourakna, Z., Righi, K. and Assia-Righi, F. 2022a. GC/MS analysis of *Eucalyptus globulus* L. (Myrtaceae) leaves essential oil from Algeria and their insecticidal activity against adults of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera; Tephritidae). *J. Essent. Oil Bearing Pl.*, **25**: 876-87.
- Bourakna, Z., Righi, K., Assia, F. and Elouissi, A. 2022b. Flight activity of *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera; Tephritidae) infesting two Algerian olive varieties in North-West Algeria. *Acta Agriculturae Slovenica*. **118**: 1-8.
- Burrack, H.J., Bingham, R., Price, R., Connell, J.H., Phillips, P.P., Wunderlich, L., Vossen, .PM., O'Connell, N.V., Ferguson, L. and Zalom, F.G. 2011. Understanding the seasonal and reproductive biology of olive fruit fly is critical to its management. *California Agric.*, **65**: 14-20.
- Burrack, H.J. and Zalom, F.G. 2008. Olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) ovipositional preference and larval performance in several commercially important olive varieties in California. *J. Econ. Ent.*, **101**: 750-58.
- Daane, K.M and Johnson, M.W. 2010. Olive fruit fly: Managing an ancient pest in modern times. *Ann. Rev. Ent.*, **55**: 151-69.
- Delrio, G. 2010. Biological control of olive pests in the Mediterranean region. *Integrated Protection of Olive Crops IOBC/wprs Bull.*, **53**: 85-92.
- FAOStat 2022. Countries by commodity. https://www.fao.org/faostat/fr/#rankings/countries_by_commodity. Accessed 7 January, 2022.
- Gaouar, N. 1996. Apport de la biologie des populations de la mouche de l'olive *Bactrocera (=Dacus) oleae* Gmel. à l'optimisation de son contrôle dans la région de Tlemcen. Ph.D. thesis, Tlemcen University, Biology institute, Algeria. 116 p.
- Gaouar, N. and Debouzie, D. 1991. Olive fruit fly *Dacus oleae* Gmel (Diptera, Tephritidae) damage in Tlemcen region Algeria. *J. Appl. Ent.*, **112**: 288-97.
- Garantonakis, N., Varikou, K. and Birouraki, A. 2017a. Influence of olive variety on biological parameters of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Appl. Ent. Zool.*, **52**: 189-96.
- Garantonakis, N., Varikou, K. and Birouraki, A. 2017b. Parasitism of *Psytallia concolor* (Hymenoptera: Braconidae) on *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) infesting different olive varieties. *Phytoparasitica.*, **45**: 461-69.
- Goncalves, M.F., Malheiro, R., Casal, S., Torres, L. and Pereira, J.A. 2012. Influence of fruit traits on oviposition preference of the olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae), on three Portuguese olive varieties (Cobrancosa, Madural and Verdeal Transmontana). *Scientia Horticulturae*, **145**: 127-35.
- Iannotta, N., Noce, M.E., Ripa, V., Scalercio, S. and Vizzarri, V. 2007. Assessment of susceptibility of olive cultivars to the *Bactrocera oleae* (Gmelin, 1790) and *Camarosporium dalmaticum* (Thum.) Zachos & Tzav.-Klon. Attacks in Calabria (Southern Italy). *J. Environ. Sci. Health*. **42**: 789-93.
- International Olive Council (COI). 2011. Guide for the determination of oil-olives (COI/OH/doc. No 1). 39 p.
- Malheiro, R., Casal, S., Baptista, P. and Pereira, J.A. 2015. A review of *Bactrocera oleae* (Rossi) impact in olive products: From the tree to the table. *Trends in Food Sci. Tech.*, **44**: 226-42.
- Medjkouh, L., Costa, A., Tamendjari, A., Bekdouche, F., Bouarroudj, K and Oliveira, M.B.P.P. 2018. Susceptibility of eight Algerian olive cultivars to *Bactrocera oleae* infestation – a pomological and nutritional quality perspective. *Phytoparasitica*, **46**: 595-605.
- Pertíñez, Á.M. and Vélez, P.M. 2020. A *Bactrocera oleae* (Rossi) damage estimation model to anticipate pest control strategies in olive production. *Crop Prot.*, **137**: 105281.
- Rizzo, R., Caleca, V. and Lombardo, A. 2012. Relation of fruit color, elongation, hardness and volume to the infestation of olive cultivars by the olive fruit fly, *Bactrocera oleae*. *Entomol. Exp. Appl.*, **145**: 15-22.
- Tzanakakis, M.E. 2003. Seasonal development and dormancy of insects and mites feeding on olive: a review. *Netherlands J. Zool.*, **52**: 87-224.

(Received : June 10, 2022; Accepted : October 5, 2022)