

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE MOLOUD MAMMERI TIZI-OUZOU
FACULTE DES SICENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**



Thèse

En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences Biologiques
Spécialité : Biologie et Contrôle des Populations d'Insectes

Présentée par :

Mme AISSAOUI Fatima

Sujet

Biologie et lutte contre trois pyrales des denrées stockées

Soutenue publiquement le 27 / 06 / 2022 devant le Jury composé de :

Présidente	Mme BRAHMI Karima	Professeur	UMMTO
Directrice de thèse	Mme HEDJAL-CHEBHEB Mariam	Professeur	UMMTO
Co-Directrice	Mme MADIOUNI BEN-JEMMA Jouda	Professeur	INRAT
Examinatrice	Mme GOUCEM -KHELFANE Karima	MCA	UMMTO
Examineur	Mr MOULAI Riadh	Professeur	U. BEJAIA
Examinatrice	Mme MOHAND KACI -OULEBSIR Hakima	Professeur U.	BOUMERDES

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce travail de recherche, je tiens à remercier en tout premier lieu Mme HEDJAL CHEBHEB, M. Professeur en Biologie à l'université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou de m'avoir accordé l'honneur de diriger ce travail, pour son soutien et ses conseils m'ont été d'un grand intérêt.

Je remercie également Mme MEDIOUNI BEN-JEMAA, J. Professeur à l'institut national de recherche de la Tunisie, d'avoir accepté de codiriger ce travail pour son soutien, sa disponibilité, son aide précieuse lors de la rédaction de l'article et ses nombreux conseils m'ont été d'un grand intérêt.

Mes sincères remerciements vont aussi à l'adresse de Mme BRAHMI, K. Professeur en Sciences Biologiques à l'UMMTO, pour l'honneur qu'elle me fait en président le jury.

Mme GOUCEM-KHELFANE, K. Maitre de conférence classe A à l'UMMTO, Mme MOHAND KACI-OULEBSIR, H. Maitre de conférence classe A à l'université de Boumerdes. Mr MOULAI, R. Professeur à l'université de Bejaia qui me font l'honneur de participer à l'examen de ce travail. Je les remercie vivement pour avoir accepté de prendre de leur temps pour lire ce manuscrit.

Je tiens à remercier aussi Mr ZIANI, Maitre de recherche classe B, Mr TALHI, O. Maitre de recherche classe A et Mme SAHER, L. Maitre de recherche classe B au centre de recherche d'analyse physico-chimique qui m'ont accueillie dans leurs laboratoires à CRPC, Bousmail-Tipaza et ont mis à ma disposition les meilleures conditions pour réaliser une grande partie de ce travail de thèse.

Un chaleureux merci à Mr Lahmar Ali pour son aide précieuse au cours de mes déplacements dans la wilaya de Biskra et dans la récolte des dattes dans la région de Tolga, sa patience, sa disponibilité m'ont été d'un grand secours. Je le remercie vivement.

Mes remerciements s'adressent aussi à Faci Massinissa pour l'aide qu'il m'a apporté pour l'analyse statistique avec logiciel Minitab 19 et Tinkicht Lynda pour son soutien et son aide dans le laboratoire d'entomologie appliquée.

Je tiens à remercier aussi Samira, Nadjat qui m'ont accueillie dans leurs foyers à Bousmail pendant toute la période de mon stage à CRPC, mes sincères remerciements.

Mes remerciements s'adressent aussi à ma famille et tous les amis qui m'ont encouragé à clôturer ce travail de recherche par leurs conseils précieux, en particulier ma mère et ma grande sœur Lila pour son soutien et encouragement tout le temps.

Dédicaces

Je dédie ce travail

*A la mémoire de mon père Aïssaoui Ramdane, que j'aurais tant aimé
l'avoir à mes côtés. Que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

A

Ma très chère maman qui a été toujours à mes côtés

A

Mes très chères sœurs Lila, Souad et Sabrina

Mon très chère frère Yacine

Mon chère neveux Aylane

Mes nièces Léa, Cerine, Mélina, Katia, Didouche et Sarah

Mon grand frère Mohammed et sa femme Zahia.

Liste des figures

Figure 1 : Le palmier dattier <i>Phoenix dactylifera</i> L (Biskra, Tolga 2020)	6
Figure 2 : Palmeraie de Tolga de Biskra (Originale, 2020)	7
Figure 3 : Pied femelle ou Nakhla (a), Pied mâle ou Dhokkar (b) (Originale ,2020)	8
Figure 4 : Régime de dattes Deglet-Nour (Tolga, 2020)	8
Figure 5 : Fruit de dattes Deglet-Nour (Originale, 2020)	9
Figure 6 : Les œuf d' <i>E. ceratoniae</i> (Originale, 2019)	18
Figure 7 : La chenille d' <i>E. ceratoniae</i> (Originale, 2020)	18
Figure 8 : La chrysalide d' <i>E. ceratoniae</i> (Originale 2019).....	19
Figure 9 : L'adulte d' <i>E. ceratoniae</i> (Originale, 2020).....	19
Figure 10 : Les œufs de <i>P. interpunctella</i> (Originale, 2020).....	21
Figure 11 :La larve de <i>P.interpunctella</i> (Originale , 2020).....	22
Figure 12 : La nymphe de <i>P. interpunctella</i> (Originale, 2020).....	22
Figure 13 : L'adulte de <i>P. interpunctella</i> (Originale 2020).....	23
Figure 14 : Accouplement mâle et femelle de <i>P. interpunctella</i> (Originale, 2020)	24
Figure 15 : Les œufs d' <i>E. kuehniella</i> (Originale, 2020).....	25
Figure 16 : Les chenilles d' <i>E. kuehniella</i> (Originale, 2020).....	25
Figure 17 : La chrysalide d' <i>E. kuehniella</i> (Originale, 2020).....	26
Figure 18 : L'adulte <i>E. kuehniella</i> (Originale, 2020).....	26
Figure 19 : Dégâts causés par <i>E. ceratoniae</i> sur les dattes dans les champs de Tolga (Originale, 2021)	28
Figure 20 : Dattes infestées par les chenilles d' <i>E. ceratoniae</i> (Originale, 2020)	29
Figure 21 : Excréments des larves des pyrales sur les dattes (Originale, 2021)	29
Figure 22 : Semoule avant et après infestation par <i>E. kuehniella</i> (Originale, 2020)	29

Liste des figures

Figure 23 : Dégâts causés par les chenilles de <i>P. interpunctella</i> et <i>E. kuehniella</i> sur la semoule (Originale, 2020).....	30
Figure 24 : Localisation de la région de Boufarik	33
Figure 25 : <i>T. vulgaris</i> (Originale, 2019)	35
Figure 26 : <i>M. spicata</i> (Originale, 2019)	36
Figure 27 : Coupage de la matière végétal et conservation dans des sacs en tissus (Originale, 2019).	37
Figure 28 : Plantes broyées : <i>M. spicata</i> (a), <i>T. vulgaris</i> (b) (Originale, 2019)	38
Figure 29 : Appareil type Clevenger (Originale, 2019)	38
Figure 30 : Ampoule à décanter (Originale, 2019).....	39
Figure 31 : Rendement en huile essentielle lors de l'hydro distillation des feuilles de <i>T. vulgaris</i> au cours de saison.....	44
Figure 32 : Rendement en huile essentielle lors de l'hydro distillation des feuilles de <i>M. spicata</i> au cours de saison.....	44
Figure 33 : Taux d'humidité de <i>T. vulgaris</i> (a) et <i>M. spicata</i> (b) en saison d'été.....	45
Figure 34 : Larve du premier stade d' <i>E. ceratoniae</i> (Originale, 2019)	62
Figure 35 : Cycle de développement d' <i>Ectomyelois ceratoniae</i> sur les dattes (Deglet-Nour) à $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et $70\% \pm 5\%$ d'hygrométrie (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019)	63
Figure 36 : Cycle de développement de <i>Plodia interpunctella</i> sur la datte à $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et $70 \pm 5\%$ de l'humidité relative (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).....	65
Figures 37 : Larves de pyrales des dattes (Originale, 2019)	70
Figure 38 : Test d'inhalation (Originale, 2019).....	71
Figure 39 : Tests d'inhalation effectués sur les larves traitées par différentes doses d'huile essentielle (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019)	71
Figure 40 : Test par contact sur les larves (<i>E. ceratoniae</i> et <i>P. interpunctella</i>) sur les dattes (Originale, 2020)	73

Liste des figures

Figure 41 : Taux de mortalité corrigée des larves de deux pyrales traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> (été).....	74
Figure 42 : Taux de mortalité corrigée des larves de <i>P. interpunctella</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> (été).....	74
Figure 43 : Taux de mortalité corrigée des larves de deux pyrales traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (été).....	75
Figure 44 : Taux de mortalité corrigée des larves de <i>P. interpunctella</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (été).....	75
Figure 45 : Taux de mortalité corrigée des larves d' <i>E. kuehniella</i> , <i>E. ceratoniae</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle <i>T. vulgaris</i> (Automne).....	76
Figure 46 : Taux de mortalité corrigé des larves et <i>P. interpunctella</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle <i>T. vulgaris</i> (Automne).	77
Figure 47 : Taux de mortalité corrigée des larves d' <i>E. kuehniella</i> , <i>E. ceratoniae</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle <i>M. spicata</i> (Automne).....	77
Figure 48 : Taux de mortalité corrigée des larves de <i>P. interpunctella</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle <i>M. spicata</i> (Automne).....	77
Figure 49 : Taux de mortalité corrigée des larves d' <i>E. kuehniella</i> , <i>E. ceratoniae</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> (Hiver).....	78
Figure 50 : Taux de mortalité corrigée des larves de <i>P. interpunctella</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> (Hiver).....	79
Figure 51 : Taux de mortalité corrigée des larves d' <i>E. kuehniella</i> , <i>E. ceratoniae</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (Hiver).....	79
Figure 52 : Taux de mortalité corrigée des larves de <i>P. interpunctella</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (Hiver).....	79
Figure 53 : Taux de mortalité corrigée des larves d' <i>E. kuehniella</i> , <i>E. ceratoniae</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> (Printemps).....	81
Figure 54 : Taux de mortalité corrigée des larves de <i>P. interpunctella</i> traitées par fumigation avec l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> (Printemps).....	81

Liste des figures

- Figure 55 :** Taux de mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella*, *E. ceratoniae* traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *M. spicata* (Printemps).....81
- Figure 56 :** Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l'huile essentielle *M. spicata* (Printemps)..... 82
- Figure 57 :** Taux de mortalité % des larves du troisième stade d'*E.ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites en été.....83
- Figure 58 :** Taux de mortalité des larves du premier stade d'*E.ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites en été..... 83
- Figure 59 :** Taux de mortalité % des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata* extraite en printemps.....84
- Figure 60 :** Taux de mortalité % des larves du premier stade d'*E. ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata* extraite en printemps..... 84
- Figure 61 :** Taux de mortalité % des larves du troisième stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites en été.....86
- Figure 62 :** Taux de mortalité % des larves du premier stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites en été.....86
- Figure 63 :** Taux de mortalité des larves du premier stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites au printemps.....87
- Figure 64 :** Taux de mortalité des larves du troisième stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites au printemps.....87

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition de la pulpe de datte fraiche Deglet-Nour (Devshoney et <i>al.</i> , 1992).	11
Tableau 2 : Les caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle <i>T. vulgaris</i> extraite au cours des saisons de récolte.	47
Tableau 3 : Les caractéristiques organoleptiques de <i>M. spicata</i> au cours des saisons de récolte.....	48
Tableau 4 : Composition (%) en monoterpènes et les sesquiterpènes (%) de l'huile essentielle obtenus à partir des feuilles de <i>T. vulgaris</i> collectées au cours de quatre saisons	50
Tableau 5 : Principaux composés de l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> (%) selon les saisons	51
Tableau 6 : Composition (%) en monoterpènes et les sesquiterpènes (%) de l'huile essentielle obtenus à partir des feuilles de <i>M. spicata</i> collectées au cours de saison.....	52
Tableau 7 : Principaux composés de l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (%) selon les saison.....	53
Tableau 8 : Durée de chaque stade du cycle de développement d' <i>E. ceratoniae</i> sur les dattes (Deglet-Nour)	64
Tableau 9 : Durée de chaque stade du cycle développement de <i>P. interpunctella</i> sur les dattes	66
Tableau 10 : Résultats du test de Tukey concernant l'efficacité de 2 huiles essentielles à l'égard des L3 de <i>P. interpunctella</i> , <i>E. ceratoniae</i> et <i>E. kuehniella</i>	75

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Partie bibliographique

Chapitre I. Plante hôte (Palmier dattier)

1. Introduction	5
2. Origine et répartition géographique	5
3. Position Systématique	5
4. Description de palmier dattier	6
5. Phénologie du palmier dattier.....	7
6. Description du fruit des dattes.....	8
6.1. Différents stades de maturité des dattes	9
7. Exigences écologiques	9
7.1. La température	9
7.2. La lumière.....	10
7.3. L'humidité	10
7.4. Le vent	10
7.5. Le sol	10
7.6. L'eau.....	10
8. Valeurs nutritionnelles	11
9. Intérêt socioéconomique de dattes	11
9.1. Dans le monde	12
9.2. En Algérie.....	12
9.3. Production de dattes dans la région de Tolga.....	12
10. Les maladies du palmier dattier	13

Sommaire

10.1. La pourriture de l'inflorescence ou Khamedj	13
10.2. Maladie des stries	13
10.3. Pourriture du cœur du palmier dattier.....	13
10.4. Maladie à dépérissement	14
10.5. La pourriture du cœur à <i>Thielaviopsis</i>	14
10.6. Le Bayoud ou Trachéomycose du palmier	14
10.7. Le charbon de la datte.....	14
11. Les principaux ravageurs du palmier dattier	15

Chapitre II. Présentation des insectes étudiés

1. Introduction	16
2. Présentation des espèces étudiées	16
2.1. La pyrale de dattes <i>E. ceratoniae</i>	16
2.1.1. Historique.....	16
2.1.2. Origine et répartition géographique	16
2.1.3. Position systématique.....	17
2.1.4. Description.....	17
2.1.4.1. L'œuf.....	17
2.1.4.2. La chenille	18
2.1.4.3. La chrysalide	18
2.1.4.4. L'adulte	19
2.1.5. Biologie d' <i>E. ceratoniae</i>	20
2.2. La pyrale indienne <i>P. interpunctella</i>	20
2.2.1. Position systématiques	20
2.2.2. Origine et répartition géographique	21
2.2.3. Description de l'espèce	21
2.2.3.1. L'œuf.....	21

Sommaire

2.2.3.2. La larve.....	22
2.2.3.3. La nymphe.....	22
2.2.3.4. L'adulte	22
2.2.4. Biologie.....	23
2.3. La pyrale <i>E. kuehniella</i>	24
2.3.1. Position systématique.....	24
2.3.2. Description de l'espèce	25
2.3.2.1. L'œuf.....	25
2.3.2.2. La chenille	25
2.3.2.3. La nymphe.....	26
2.3.2.4. L'adulte	26
2.4. Biologie	27
3. Dégâts et pertes	27
4. Les moyens de lutte.....	30

Parties expérimentales

Chapitre III. Les huiles essentielles

1. Matériel végétal.....	33
1.1. Présentation de la région d'étude.....	33
1.2. Présentation des plantes aromatiques étudiées	34
1.2.1. <i>T. vulgaris</i>	34
1.2.2. <i>M. spicata</i>	35
1.3. Récolte des échantillons des espèces végétales	37
2. Extraction des huiles essentielles	37
2.1. Technique d'hydro distillation.....	37

Sommaire

2.2. Étude de la cinétique de rendement de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> des différentes saisons	39
2.3. Caractérisation physicochimiques des huiles essentielles de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i>	39
2.3.1. Taux d'humidité	40
2.3.2. Densité relative	40
2.3.3. Détermination du pH	40
2.3.4. Indice d'acide	40
2.3.5. Indice d'ester	41
2.4. Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i>	42
2.5. Analyse des huiles essentielles.....	42
2.5.1. Les conditions de la chromatographie à phase gazeuse couplées à la spectrométrie de masse	42
3. Résultats	43
3.1. Étude de la cinétique de rendement de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> en différentes périodes de récolte.....	43
3.2. Détermination des propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i>	45
3.2.1. Taux d'humidité.....	45
3.2.2. Densité relative et le pH.....	45
3.2.3. Indice d'acide et d'ester	46
3.3. Propriétés organoleptiques de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i>	47
3.4. Variations de la composition chimique de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> des différentes saisons	48
3.4.1. Variation de la composition chimique de l'huile essentielle extraite des feuilles de <i>T. vulgaris</i>	48
3.4.2. Variations de la composition chimique de l'huile essentielle extraite à partir des feuilles de <i>M. spicata</i>	51
4. Discussion	54

Sommaire

4.1. Discussion des résultats de rendement, caractères organoleptiques et physicochimiques de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i>	54
4.2. Discussion des résultats des analyses physicochimiques (CG/MS) de <i>Thymus vulgaris</i> et <i>Mentha spicata</i> au cours de saison	57

Chapitre IV. Etude du cycle de développement de *P. interpunctella* et *E. ceratoniae*

1. Matériels et méthodes.....	60
1.1. Matériels biologiques	60
2. Méthodes	60
2.1. Elevage de masse des espèces	60
2.2. Etude du cycle de développement de la pyrale des dattes <i>E. ceratoniae</i> dans les conditions de laboratoire	61
2.3. Etude du cycle de développement de la pyrale <i>P. interpunctella</i> dans les conditions de laboratoire.....	61
3. Résultats	62
3.1. Le cycle de développement de la pyrale de dattes <i>E. ceratoniae</i>	62
4.2. Le cycle de développement de la pyrale <i>P. interpunctella</i>	64
5. Discussion	66

Chapitre V. Tests de toxicité avec les huiles essentielles

1. Matériel et méthodes	70
1.1. Matériel animal.....	70
1.2.1. Traitement par inhalation avec les huiles essentielles de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> à l'égard des larves de <i>P. interpunctella</i> , <i>E. kuehniella</i> et <i>E. ceratoniae</i>	71
1.2.2. Traitement par contact sur le premier et le troisième stade larvaire de deux espèces de <i>P. interpunctella</i> et <i>E. ceratoniae</i>	72
1.3. Analyses statistiques	73
2. Résultats	73

Sommaire

2.1. Tests de toxicité par fumigation de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> (saison d'été) à l'égard des larves du troisième stade d' <i>E. ceratoniae</i> , <i>E. kuehniella</i> et <i>P. interpunctella</i>	73
2.2. Tests de toxicité par fumigation de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> (extraite en automne) à l'égard des larves du troisième stade d' <i>E. ceratoniae</i> , <i>E. kuehniella</i> et <i>P. interpunctella</i>	76
2.3. Tests de toxicité par fumigation de <i>T. vulgaris</i> et de <i>M. spicata</i> (extraite en hiver) à l'égard des larves du troisième stade d' <i>E. ceratoniae</i> , <i>E. kuehniella</i> et <i>P. interpunctella</i>	78
2.4. Tests de toxicité par fumigation avec de <i>T. vulgaris</i> et de <i>M. spicata</i> extraite au printemps à l'égard des larves du troisième stade d' <i>E. ceratoniae</i> , <i>E. kuehniella</i> et <i>P. interpunctella</i>	80
2.5. Tests de toxicité par contact de <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> (extraite en été) et au printemps à l'égard des larves du premier et troisième stade d' <i>E. ceratoniae</i>	82
2.5.1. La saison d'été	82
2.5.2. La saison du printemps	83
2.6. Tests par contact avec <i>T. vulgaris</i> et <i>M. spicata</i> extraite en été et printemps sur les larves du premier et troisième stade de <i>P. interpunctella</i>	85
2.6.1. La saison d'été	85
2.6.2. La saison du printemps	86
3. Discussion	89
Conclusion et perspectives.....	94
Références bibliographiques.....	96
Annexes	120
Publication	

La phoeniciculture est considérée comme le pivot central autour duquel s'articule la vie dans les régions sahariennes. Elle revêt une grande importance socioéconomique et environnementale dans de nombreux pays. En Algérie, cette culture occupe une place de premier rang dans l'agriculture saharienne avec plus de 17 millions de palmiers et plus de 800 variétés. L'Algérie parmi les pays producteurs et exportateurs de dattes dans le monde, elle occupe la première place en terme de qualité grâce à la variété Deglet-Nour (Eddine, 2010).

Selon Abedessalam et *al.* (2020), les oasis algériennes occupent une superficie de plus de 180 000 ha avec une production annuelle de dattes avoisinant un million de tonnes et notre pays compte plus de 1 100 cultivars de palmiers dattiers recensés. Il est à signaler que 53% de dattes produites sont de la variété Deglet-Nour. Aujourd'hui, la filière datte contribue avec une part appréciable dans l'économie du pays.

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est l'un des plus vieilles espèces végétales cultivées et la mieux adaptée aux conditions climatiques difficiles des régions sahariennes. En raison de ses exigences écologiques et la plus convenable économiquement pour investir dans l'agriculture (Sedra, 2003). Les produits et les sous-produits qu'il génère sont utilisés de diverses façons pour la vie oasienne et procurent une richesse et une stabilité socio-économique. Il joue aussi un rôle important en protégeant les oasis contre les influences désertiques.

La production durable de dattes présente certaines difficultés, notamment le contrôle des organismes nuisibles et des maladies. Certains de ces nuisibles appartenant à la famille des vertébrés peuvent causer des dommages importants aux fruits, aussi bien dans les plantations qu'au cours de l'entreposage. Les rats peuvent notamment être responsables de 30% des dommages causés aux fruits entreposés et aux inflorescences. Les chauves-souris frugivores peuvent sérieusement endommager le fruit dattier. En condition d'humidité élevée, les escargots sont également des organismes nuisibles potentiels des jeunes rejets de dattiers (Anonyme, 2020).

Les insectes ravageurs s'attaquent aux denrées stockées appartiennent généralement à l'ordre des Coléoptères et des Lépidoptères et des acariens (Aissata, 2009 ; Waongo et *al.*, 2013 et Cissokho et *al.*, 2015). En effet, parmi les coléoptères nous pouvons citer l'*Apate monachus*, *Carpophilus hemipterus*, *Oryzaephilus surinamensis* et *Cocotrypes dactylipetra*. Les homoptères sont représentés essentiellement par la cochenille blanche du palmier dattier *Parlatoria blanchardi*. Quant aux Lépidoptères ils sont représentés essentiellement par les espèces *Ectomyelois ceratoniae*, *Plodia interpunctella* et *Ephestia kuehniella*. Les dégâts sur les fruits de dattes sont provoqués essentiellement par la chenille qui est localisée entre le

noyau et la pulpe. Le régime phytophage des larves fait des lépidoptères des insectes particulièrement nuisibles aux plantes cultivées (Balachowsky, 1966). En effet, 99% des larves des lépidoptères sont des phytophages, certaines espèces sont des détritivores qui se nourrissent des débris tels que les feuilles mortes (Goto et *al.*, 2021).

La pyrale de dattes *Ectomyelois ceratoniae* Zell est le principal ravageur des dattes. Elle cause des infestations au champ et dans les aires de stockage dépréciant énormément la qualité marchande des dattes et risque de compromettre les exportations notamment la variété Deglet-Nour. Les attaques d'*E. ceratoniae* débutent avant la récolte et continuent dans les lieux de stockage. Ces dattes emmagasinées sont aussi infestées par d'autres chenilles des Lépidoptères telles que *Ephestia kuehniella* et *Plodia interpunctella* (Doumandji et *al.*, 1974).

Plodia interpunctella Hubner est un important déprédateur des produits stockés, les fruits secs et les graines. Cette pyrale, fait partie de la sous famille des Phycitinae (Morère et Le Berre, 1967). C'est un ravageur d'importance économique mondiale des produits stockés et alimentaires transformés, y compris les céréales (Adarkwah et Scholler, 2012). *Ephestia kuehniella* (Lépidoptera, Pyralidea), est un ravageur des denrées stockées provoquant des dégâts principalement sur la farine, les céréales et les dattes (El-Ouar et *al.*, 2010).

Selon Shaaya et *al.* (2006), l'utilisation de la lutte chimique (insecticides) est l'une des méthodes de lutte la plus efficace pour bien protéger les denrées stockées contre toute infestation d'insectes ravageurs.

Les produits chimiques sont largement utilisés comme pesticides, dans la protection des cultures. Ils ont des effets indésirables tels que l'appauvrissement de la couche d'ozone, la pollution de l'environnement, la toxicité pour les organismes non ciblés, les résidus des pesticides et la toxicité directe pour les utilisateurs (Isman, 2006).

La résistance des insectes, les intoxications et les pollutions liées à l'utilisation des pesticides constituent de sérieux problèmes sur l'environnement et sur la santé publique (Cissokho et *al.*, 2015).

La recherche de moyen de lutte alternative de protection des denrées stockées par l'usage des biopesticides d'origine végétale, se présente aujourd'hui comme une méthode très efficace. L'utilisation des plantes végétales dans la conservation a été bien pratiquée bien avant l'apparition des produits chimiques et insecticides de synthèse, certains africains utilisent des plantes qui ont un effet insecticide pour protéger les denrées alimentaires (Huignard et *al.*, 2008).

Les insecticides botaniques sont de bonnes alternatives aux insecticides chimiques et ont prouvé leur efficacité pour lutter contre les insectes ravageurs (Isman, 2000). Les biocides

végétaux ont des effets néfastes sur la physiologie et la biochimie des insectes nuisibles. Les plantes offrent une source alternative de lutte contre les insectes car elles contiennent une gamme de produits chimiques bioactifs dont beaucoup sont sélectifs et ont peu ou pas d'effet nocif sur les organismes non ciblés et l'environnement (Shaaya et al., 2006).

L'efficacité des différentes huiles essentielles contre les insectes ravageurs des denrées stockées a été démontré par les travaux de plusieurs chercheurs (Kellouche et al., 2004 ; Haouel et al., 2010 ; Mediouni et al., 2012 ; Hedjal-Chebheb et al., 2013 ; Toudert-Taleb et al., 2014, Khelfane- Goucem et al., 2014 ; Sabraoui et al., 2016 ; Tia et al., 2019 ; Kheloul et al., 2020 et Aissaoui et al., 2021).

Les huiles essentielles sont des composés volatiles. Chacune possédant sa propre personnalité aromatique, son caractère et son énergie. Elles recèlent des substances odoriférantes sous forme des gouttelettes de l'huile stockée dans diverses parties de la plante comme les fleurs, les tiges et les racines (Schirner, 2004).

Notre travail de thèse s'inscrit dans la recherche de moyen alternatifs et des luttes naturels contre les redoutables ravageurs des dattes *E. ceratoniae*, *P. interpunctella* et *E. kuehniella* dans les entrepôts de stockage par l'utilisation des huiles essentielles. A cet effet, Nous avons étudié la variation de la composition chimique de deux huiles essentielles de la famille des Lamiacées *T. vulgaris* et *M. spicata* au cours de quatre saisons. Il s'agit de déterminer le rendement en huile essentielle extraite par hydro distillation au cours des saisons et de déterminer quelques caractéristiques physicochimiques de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* et *Mentha spicata*.

En deuxième lieu, nous nous sommes intéressées à étudier le cycle de développement de deux ravageurs des dattes *E. ceratoniae* et *P. interpunctella* et ceci dans le but de savoir le moment propice pour les combattre.

En dernier lieu, nous avons réalisé des tests de toxicité par fumigation et contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* afin de déterminer la toxicité de ces huiles essentielles contre les différents stades larvaires des insectes dans les conditions de laboratoire et si nos traitements affectent les trois pyrales des dattes ainsi s'il y'a une différence entre l'effet toxique de deux huiles essentielles au cours de saison.

La thèse est organisée en deux parties dont la première porte sur la synthèse bibliographique relative à la plante hôte et des insectes ravageurs.

La deuxième partie porte sur la partie expérimentale dont le premier chapitre est consacré à une étude sur l'extraction des huiles essentielles et la détermination des rendements en huiles essentielles. Dans le deuxième chapitre nous avons étudié le cycle de

développement de *P. interpunctella* et *E. ceratoniae* sur les dattes. Le dernier chapitre est consacré à l'étude des tests de toxicité avec les huiles essentielles par fumigation sur le troisième stade larvaire de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* et par contact sur le premier et le troisième stade larvaire de *P. interpunctella* et *E. ceratoniae*.

Nous clôturons ce travail de recherche par une conclusion générale et perspectives.

1. Introduction

Dans le Sahara algérien, le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) est un élément clé des écosystèmes oasiens. Il joue un rôle protecteur contre le rayonnement solaire intense pour les cultures sous-jacentes (arbres fruitières, cultures maraichères et céréales) par sa présence dans des zones désertiques. Les diverses formes de vie animales et végétales indispensables pour le maintien et la survie des populations. Le dattier constitue la principale source de vie de la population saharienne (Chema et Longo, 2001). Les palmiers dattiers constituent dans certaines zones du Sahara la principale production économique et le principal moyen de fixation des populations. En Algérie, plus d'un millier des cultivars du palmier dattier a été inventorié sans parler de pieds francs qui poussent au hasard. Les variétés de fruits (Deglet-Nour) sont commercialisées à grande échelle (Fedala et *al.*, 2020).

2. Origine et répartition géographique

Le palmier dattier a été cultivé dans les zones chaudes entre l'Euphrate et le Nil vers 4500 ans avant J.C. Puis, sa culture a été introduite en basse mésopotamie vers l'an 2500 ans avant J.C. Il a été progressé vers le nord du pays et il a atteint la région côtière du plateau Iranien. Depuis l'Égypte, la phoeniciculture a rejoint la Libye puis s'est propagée vers les autres pays du Maghreb comme la Tunisie, l'Algérie et le Sud Marocain pour arriver à l'Adrar Mauritanien (Munier, 1973). Selon Abdennabi et *al.*, 2018, le dattier est un arbre tropical et subtropical qui s'étend couramment de l'Afrique du nord jusqu'au Moyen Orient, tout en jouant un rôle très important sur le plan socioéconomique que sur le plan écologique.

3. Position Systématique

Le palmier dattier appartient à une grande famille d'arbre et produit de dattes. Il existe plusieurs appellations date palm en anglais, nakhil ou tamr en arabe, en afar en somali, il a été dénommé *Phoenix dactylifera L.* Le nom *Phoenix* du palmier dattier dérive de *Phoinixom* du dattier chez les Grecs ou l'arbre des *phoniciens*, *Dactylifera* vient de latin dactylos signifiant doigt en raison de la forme du fruit (Peyron, 2000).

Selon Djerbi (1994), le palmier dattier a été classé comme suit :

Embranchement : Phanérogames

Sous –embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Groupe : Phaenocoides

Ordre : Palmales

Famille : Palmacées

Sous-famille : Coryphoideae

Genre : *Phoenix*

Espèce : *Phoenix dactylifera*. L.

4. Description de palmier dattier

C'est un arbre de 15 à 30 m de hauteur. Son tronc est élevé, régulier. Il porte d'immenses palmes divisées en nombreux segments et de minuscules fleurs blanches en grappes (Fig.1). Ces derniers qui donnent des fruits charnus, de taille, de forme et de saveur très variable selon les variétés, il n'a pas de branches, pas de rameaux avec un faux tronc (pas d'écorce) (Djerbi, 1992). Il est largement cultivé pour sa capacité d'adaptation aux conditions des climats arides les plus sévères (Ben Aïssa et *al.*, 2008) et pour ses multiples usages et ses services écosystémiques, en particulier pour ses fruits comestibles dont des milliers de variétés ont été sélectionnées (Bouguedoura, 1979).



Figure 1 : Le palmier dattier *Phoenix dactylifera* L (Tolga, 2020)



Figure 2 : Palmeraie de Tolga (Biskra, 2020).

5. Phénologie du palmier dattier

Le Palmier dattier est un arbre à feuilles persistantes et portent le nom de palmes, ils ont une durée de vie de 3 à 7 ans, seulement leur formation s'achève en une année. Après une légère période de repos, la période végétative commence par l'apparition de nouvelles palmes de l'année. Au début de la période reproductrice et à l'aisselle des feuilles ou palmes, des bourgeons donnent naissance à des spathes (Achoura et *al.*, 2010).

Les fleurs mâles possèdent six étamines à déhiscence interne. Dans les fleurs femelles, l'ovaire comporte en général trois carpelles libres, un seul ovule par fleur est fécondé et un seul carpelle se développe. Les fleurs mâles ont une odeur caractéristique rappelant un peu l'anis et les fleurs femelles sont inodores (Toutain, 1967).

Le palmier-dattier est une plante dioïque, les organes mâles et femelles sont sur des individus différents, palmier mâles ou palmier femelles (Fig.3). Chaque individu ne porte que des inflorescences d'un même sexe. Il est possible de distinguer les palmes mâles ou femelles par une simple observation des spathes avant l'ouverture. A cette période, les spathes mâles sont courtes. Elles sont longues et étroites chez les femelles (Peyron,1994).



Figure 3 : Pied femelle ou Nakhla (a), Pied mâle ou Dhokkar (b) (Originale, 2020).

6. Description du fruit des dattes

Le fruit des dattiers est une baie qui contient une seule graine appelée communément noyau. Après fécondation, l'ovule évolue pour donner un fruit de couleur vert. Le fruit normal devient mou à maturité et lisse (Sedra, 2003). La datte est portée par une branche à plusieurs tiges appelées régimes (Fig.4). La datte est composée d'un mésocarpe charnu protégé par un fin péricarpe. L'endocarpe se présente sous forme de membrane très fines entourant la graine de forme allongé (Fig.5). Il est lisse et pourvue de protubérances latérales en ailettes avec un sillon ventral assez profond et un embryon dorsal. Ce dernier, il forme un ensemble globulaire de dépression, qui est protégé par un album en dur et corné de nature cellulosique (Maatalah, 1970).



Figure 4 : Régime de dattes Deglet-Nour (Tolga, 2020).



Figure 5 : Fruit de dattes Deglet-Nour (Originale, 2020).

6.1. Différents stades de maturité des dattes

Chaque étape de la maturation de la datte a été identifiée nominalement, ce qui permet de suivre l'évolution du fruit au cours de son développement. Les expressions utilisées sont celles de la nomenclature irakienne : stade Habbabouk suit la pollinisation. Le stade Kimri est caractérisé par le grossissement de dattes (augmentation du poids et du volume), un taux d'humidité élevé, une accumulation des sucres réducteurs et une très forte acidité. Le stade Kalal est marqué par une augmentation rapide de la teneur en sucres totaux, du saccharose et de la matière solide, alors que l'acidité réelle et le taux d'humidité décroissent. Stade routab, la datte devient molle et perd son astringence (les tanins sous la peau précipitent sous forme insoluble). Le stade tamar ou mûr correspond à l'étape finale de la maturation du fruit, la datte a perdu presque toute son eau (Munier, 1973).

7. Exigences écologiques

Le palmier dattier exige un milieu particulier pour se développer et surtout pour murir ses fruits. Les exigences expliquent la répartition géographique de cette espèce fruitière. Il exige des étés chauds et sans pluie ni humidité élevée pour 5 à 7 mois, depuis la pollinisation jusqu'à la récolte. Il tolère bien la sécheresse mais il est très exigeant en eau d'irrigation pour son développement et une production convenable (Sedra, 2003).

7.1. La température

Le palmier dattier est très exigeant vis-à-vis de la température. Cette dernière influe sur le développement et la maturation des fruits. Le manque de chaleur au stade de la maturation

détermine vers le nord la limite de culture de la plante. L'intensité maximale de végétation est atteinte 32°C, elle se stabilise ensuite pour décroître vers 38 à 40°C (Munnier et Djerbi, 1992).

7.2. La lumière

Le dattier est une espèce héliophile, cultivé dans les régions à forte luminosité qui favorise la photosynthèse et la maturité des dattes. Une densité trop forte favorise l'émission des rejets plutôt que la maturation des dattes (Douadi, 1962).

7.3. L'humidité

L'humidité de l'air a une influence importante sur le palmier. Elle influe sur la qualité et la période de la maturation de dattes (maturation rapide en cas de faible humidité avec des vents chauds et secs) (Munnier, 1973).

7.4. Le vent

Le vent a une influence négative et néfaste sur la végétation. Il provoque un dessèchement et une évaporation interne et l'accumulations de sables envahissent peu à peu les palmeraies. En effet, les vents du printemps de mois de mars et juin seront les plus redoutables sur les dattiers (Girard, 1962).

7.5. Le sol

Le palmier dattier est très agréable et accommodant sur la nature du sol. Il vit dans les sols les plus variées, depuis des sables presque purs, jusqu'à des sols à forte teneurs en argile (Munnier, 1973). Les sols perméables qui lui convient et qui produisent les meilleures dattes (Allam, 2008). D'après Sedra (2003), le dattier préfère un sol assez léger et profond avec un pH neutre.

7.6. L'eau

Les palmeraies étant sous la stricte dépendance des ressources hydrauliques locales. Le choix du sol est surtout effectué en fonction des possibilités d'utilisation de celle-ci (Allam, 2008). Elles sont très exigeantes en eau d'irrigation pour son développement (Sedra, 2003).

8. Valeurs nutritionnelles

Le dattier riche en éléments nutritifs, fournit une multitude de produits secondaires et génère des revenus nécessaires à la survie des phoeniciculture et des habitants des oasis (Sedra, 2003). Les dattes sont des aliments très énergétiques, elles sont très riches en sucres totaux et saccharose (Tableau 1). Elles sont recommandées pour cela aux enfants, aux sportifs et aux convalescents. Elles font partie avec les figues, les jugules, les raisins secs et les fruits pectoraux, elles ont un goût très agréable et sont employées contre les maux de gorge.

Les dattes sont des fruits très nutritifs et énergétiques capables de fournir un apport calorique supérieure à celui de la viande. Elles ont un tonique musculaire et nerveux. Elles sont indiquées en cas d'asthénies, de déminéralisation, de tuberculose et d'anémie (Ali-Delille, 2010).

Tableau 1 : Composition de la pulpe de datte fraiche Deglet-Nour (Devshoney et *al.*, 1992).

Constituants	% du poids à l'état frais
Eau	23
Protéines	1,5
Sucres totaux	72
Saccharose	36,1
Glucose	10,4
Fructose	9,6
Cellulose	7,20
Lipides	0,05
Cendres	1,9

9. Intérêt socioéconomique de dattes

Le développement de la phoeniciculture permet de lutter durablement contre l'insécurité alimentaire dans les régions où la désertification est accélérée par les changements climatiques. Il a de plus un rôle socioéconomique majeur pour les populations de ces régions pour lesquelles il fournit d'une part un fruit, la datte dont les qualités alimentaires sont indéniables et qui constitue une source de revenus très appréciable pour plus de 100 000 familles du sud algérien avec 9% des exportations agricoles, d'autres parts une multitude de sous-produits. En effet, le palmier dattier en créant au milieu du désert un microclimat favorable au développement de cultures sous-jacentes. Il constitue l'axe principale de l'agriculture dans les régions désertiques et assure la principale ressource de la vie financière des oasiens (Abdennabi et *al.*, 2018).

9.1. Dans le monde

A l'échelle mondiale, les palmiers dattiers couvrent une superficie de 1 092 104 ha, pour une production de 8 526 218 t. Les dattiers sont cultivés jusqu'en Asie (648 372 ha), en Afrique (435 763 ha), en Europe (947 ha) et en Amérique (7022 ha).

Les principales régions productrices de dattes sont l'Asie et l'Afrique, avec 55,8 % et 43,3% de la récolte mondiale. L'Amérique et l'Europe ont produit 46 493 t et 15061 t des dattes respectivement. La part des pays du conseil de coopération des Etats arabes du Golfe était de 21,04 % avec les contributions suivantes des pays membres : Arabie saoudite (9,24%), Bahreïn (0,13 %), Emirats Arabes Unis (5,82%), Koweït (1,07 %), Oman (4,42 %) et Qatar avec 0,36 % (Anonyme, 2020).

9.2. En Algérie

L'Algérie est un pays phoeniciole classé au sixième rang mondial et au premier rang dans le Maghreb. La superficie majeure est de 160 000 ha. Il existe plus de 2 millions de jardin avec une production annuelles moyennes de dattes de 500 000 t. Le palmier dattier en Algérie est réparti en plusieurs oasis réparties sur le sud du pays ou le climat est chaud et sec (zone saharienne). Sa culture s'étend depuis la frontière Marocaine à l'ouest jusqu'à la frontière Tuniso-Libyenne à l'est et depuis l'Atlas Saharienne au nord jusqu'à Reggan (Sud-ouest), Tamanrasset (centre) et Djanet (Sud-est).

En Algérie, la culture du palmier dattier est essentiellement localisée dans les wilayas sahariennes. Le nombre est de l'ordre de 10 millions de palmiers dattiers, dont 76 % productifs donnant une production annuelle de 270 000 t de dattes dont 45% de la variété Deglet-Nour. Il offre une large gamme de sous-produits exploités par la population saharienne à savoir : le vinaigre ; l'alcool et les levures et les jus de dattes par extraction. L'utilisation des sous-produits du palmier dattier dans l'alimentation du bétail est depuis longtemps pratiqué par les éleveurs locaux d'une façon traditionnelles (Chema et Longo, 2001). Selon Peyron (2002), L'Algérie occupe le cinquième rang des pays producteurs de dattes sur le plan de l'importance de la production et la diversité variétale. Environ 7 millions de palmiers dattier mesurant de 15 à 20 mètres, sont cultivés en Algérie produisant 100 000 tonnes de dattes dont 40% de Deglet-Nour (Ali Delille, 2010).

9.3. Production de dattes dans la région de Tolga

La production de dattes dans la daïra de Tolga est passée de 12743,7 tonnes en 1990 à 43147,1tonnes en 2008. Depuis, elle a légèrement chuté au cours de la période 1991-1993 et a

atteint 12000 t en 1993. Son maximum a été enregistré en 2008. Alors que sa moyenne durant cette période d'analyse est estimée de 25174 t soit 21,57% de la production totale moyenne de la wilaya et 13,64 % de la production nationale moyenne dans la même période évaluée de 291844 t (Belaid, 2015).

10. Les maladies du palmier dattier

La nature particulière de cette espèce botanique et de ces exigences climatiques fait de l'oasis saharien un milieu particulier, qui est caractérisé par la présence de certaines maladies acclimatées à ce biotope. Le palmier dattier est menacé par diverses maladies dont les plus importantes sont comme suit :

10.1. La pourriture de l'inflorescence ou Khamedj

C'est une maladie grave qui sévit dans les régions de phoeniculture les plus humides ou pendant les années très humides. Elle est causée par un champignon imparfait de l'ordre des hyphales, *Asperginiella scaettae*, que l'on trouve toujours à l'état pur dans les tissus atteints (Allam, 2008). Le champignon se conserve à l'état de mycélium lattant et les spores semblent avoir une faible longévité. C'est une maladie externe qui ne nécessite pas des blessures préalables. Le symptôme de la maladie se révèle par l'apparition d'une ou deux tâches (rouilles ou brunes) à la surface externe des spathes encore fermées. La spathe ne s'ouvre pas à cause de la pourriture totale de son contenu où le champignon a déjà envahi les inflorescences (Djerbi, 1986).

10.2. Maladie des stries

Elle est provoquée par un champignon (*Diplodia phoenicun*) qui se développe sur les palmes surtout celles des rejets. Il provoque la décomposition des étioles et des gaines d'où la formation de stries ternes brun-jaunâtre, large à la base et s'amincissant vers le sommet des palmes. Il entraîne un dessèchement prématuré des feuilles du palmier dattier atteintes et peut provoquer la mort des rejets (Toutain, 1967).

10.3. Pourriture du cœur du palmier dattier

La pourriture du bourgeon terminal est causée par des *Phytophthora*. Lorsque les pourritures s'installent, l'arbre meurt. Il réagit quelque fois en repartant sur un des bourgeons latéraux sub terminaux. Il arrive aussi qu'il émette des rejets à sa base. Elle ne semble affecter que des palmiers de mauvaise état physiologique poussant dans des terrains mal assainis. Pour

lutter contre cette maladie, la désinfection de la partie atteinte avec des sels de cuivre, le drainage du sol et les vieilles plantations devrait être assuré pour prévenir les attaques (Toutain, 1967).

10.4. Maladie à dépérissement

Une maladie déjà signalée depuis quelques années provoque une brûlure des feuilles qui se sèchent et se déforment. Elle se développe de façon plus ou moins épidermique en Tunisie et en Algérie. Elle ne ressemble ni à un champignon ni à une bactérie. C'est une maladie des feuilles cassates qui cause un dessèchement apical (Bounaga et Djerbi, 1990).

10.5. La pourriture du cœur à *Thielaviopsis*

Le dessèchement noir des palmes appelé aussi Mejnoun (palmier fou). Elle a été observé dans différentes régions du Maghreb, elle peut être grave et entraîne la mort des sujet atteint. L'agent causal est la forme imparfaite de *Thielaviopsis paradoxa*. Le champignon peut envahir aussi bien les parties aériennes que les racines du dattier. Ce dernier, il cause un dessèchement noir des feuilles, la pourriture des inflorescences, la pourriture du cœur et du stipe et la pourriture des bourgeons terminales (Toutain, 1967).

10.6. Le Bayoud ou Trachéomycose du palmier

C'est l'une des plus graves maladies du palmier dattier. Elle menace véritablement tous les pays producteurs de dattes. Elle existe au Maghreb, au Maroc et en Algérie. Elle s'est répandue vers l'ouest et l'est en suivant les cordons du palmier. L'épidémie a commencé en Algérie en 1898 à Béni Ounif à cause des apports de rejets ou d'autres matériaux contaminés à partir des oasis frontalières marocaines (Dubost, 1972). Selon Idder (1992), En Algérie ce sont les palmeraies du Sud-Ouest qui sont atteintes. À l'heure actuelle, la maladie a gagné la région du M'Zab et a menacé les zones de Sud-Est où sont concentrées les plus grandes palmeraies algériennes avec principalement la variété Deglet-Nour.

10.7. Le charbon de la datte

Le charbon de la datte est une infection occasionnée par des champignons *Aspergillus* du groupe Niger en particulier *Aspergillus phoenicis*. Les dattes altérées présentent un aspect moins brillant que le fruit sain, son épiderme est rarement rompu lorsqu'il y a crevasse. Celle-ci laisse apparaître une petite cavité tapissée d'un feutrage mycélien blanchâtre et remplie d'une masse noire pulvérulente formée par les têtes conidiennes et les conidies du parasite. Cette masse charbonneuse est habituellement localisée autour du noyau dont la pulpe

détachée et plus ou moins altérée. Les fruits sont alors dépréciés et impropres à la consommation humaine (Toutain,1967).

11. Les principaux ravageurs du palmier dattier

11.1. La cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi*) (Hemiptera, Diaspididae)

La cochenille est l'un des ravageurs du palmier dattier les plus redoutables. Elle s'attaque à la fois à la partie verte de l'arbre et aux fruits, entravant les fonctions de photosynthèse et de respiration. De ce fait la production connaît de fortes réductions et devient même parfois totalement impropre à la consommation humaine (Idder et *al.*, 2007).

11.2. L'*Apate monachus* Fabricius (Coleoptera, Bostrichidae) est un coléoptère de grande taille est répandu au Moyen Orient et en Afrique du nord. C'est une espèce xylophage qui s'attaque en plus des dattiers à d'autres genres végétaux (Djerbi, 1994).

11.3. L'*acarrien du palmier dattier* (*Oligonychus afrasiaticus*) communément appelé Boufaroua est l'un des principaux ravageurs du palmier dattier qui peut causer des dégâts considérables allant jusqu'à la détérioration totale des fruits (Djerbi, 1994).

I. Introduction

Les Lépidoptères est l'un des ordres d'insectes les plus réponde et les plus largement connu dans le monde. Ils comprennent entre 155 100 et 174 233 espèces décrites dont près de 7000 en Europe et 5000 en France, réparties dans 120 familles et 46 super familles (Robert et *al.*, 2009).

Les Pyralidés est une famille extrêmement diversifiée plus de 20 000 espèces. De nombreuses espèces sont néfastes aux cultures et aux denrées alimentaires comme *Ephestia kuehniella* de la farine. Elle est subdivisée en 8 sous familles distinctes. La division des différentes sous-familles de pyralidés est basée sur les caractères de la nervation alaire ainsi que les détails de structure des palpes labiaux et maxillaires (Balachowsky, 1972).

2. Présentation des espèces étudiées

2.1. La pyrale de dattes *E. ceratoniae*

2.1.1. Historique

E. ceratoniae est une espèce écologiquement eurytherme et se trouve actuellement distribuée dans la plupart des régions tropicales du globe jusqu'au sud de l'Amérique méridionale et l'Afrique. Elle appartient à l'ordre des Lépidoptères et à la sous famille des pyralidés. Elle vive aux dépens de fruit tels que les coings, les grenades, les oranges et les figues dont le dattier est le principal hôte attaqué par *E. ceratoniae* (Balachowsky, 1972).

2.1.2. Origine et répartition géographique

La pyrale de dattes est largement réponde dans tous les pays du bassin méditerranéen sans aucune exception. Ces espèces sont très polyphages et infestent les dattes en plein champ sur l'arbre lui-même. La prolifération se poursuit ensuite en entrepôt de stockage. *Ectomyelois ceratoniae* est une espèce cosmopolite, polyphages et à une vaste répartition géographique (Doumandji, 1981). Elle est réponde dans tous le bassin méditerranéen et abondante également au Zaïre, son aire de répartition s'étendrait à toute l'Afrique. Sa présence dans les dattes algériennes est datée depuis 1904, ainsi d'autres études montraient sa présence dans les dattes du Moyen-Orient en 1993 (Le Berre, 1978).

En Algérie, Doumandji (1981), a signalé deux zones de multiplication d'*E. ceratoniae*. La première, est située sur la bordure littorale de 40 à 80 Km de large et s'allongeant sur près de 1000 Km. La seconde est constituée par l'ensemble des oasis dont les plus importantes sont

situés sur le long de la région Sud-Est. Cette dernière englobe l'ensemble des oasis du sud, dont les plus importantes sont celles de l'Oued Righ et les Zibans.

2.1.3. Position systématique

D'après Doumandji (1981), la taxonomie de la pyrale des dattes se base essentiellement sur les critères morphologiques des adultes. La position taxonomique est présentée comme suit :

Embranchement : Arthropodes

S/Embranchement : Mandibulates

Classe : Insectes

S/classe : Ptérygotes

Division : Exo ptérygotes

Ordre : Lépidoptères

Famille : Pyralidae

S/Famille : Phycitinae

Genre : *Ectomyelois*

Espèces : *Ectomyelois ceratoniae* Zeller, 1839.

2.1.4. Description

2.1.4.1. L'œuf

Il est de forme ovoïde avec une face aplatie et une surface chagrinée. La coloration est variable selon la nourriture, le plus souvent grisâtre à incolore (Fig.6). Il est parfois rouge orangée avec un réseau interne d'entrelaces foncés visibles (Wertheimer, 1958). Il est enfermé dans une coquille translucide, d'aspect chagriné, qui laisse apparaître la coloration orangée ou jaune des éléments internes (Le Berre, 1978).



Figure 6 : Les œufs d'*Ectomyelois ceratoniae* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).

2.1.4.2. La chenille

La chenille est de couleur rose ou blanc-jaunâtre, avec une tête brune (Doumandji-1981). Elle a une longueur de 15 à 18 mm et une largeur de 0,1 à 3 mm (Le Berre,1978). Elle se loge entre la pulpe et le noyau et elle remplit peu à peu l'espace libre de dattes d'un répugnant magma de fils de soie et d'excréments (Doumandji, 1974). Le Berre (1978), montre que les chenilles de la pyrale de dattes sont éruciformes, leur corps est constitué de 12 segments céphaliques (Fig.7).



Figure 7 : La chenille d'*Ectomyelois ceratoniae* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.1.4.3. La chrysalide

La chrysalide mesure environ 8 mm de longueur et possède un corps de forme cylindroconique (Fig.8). Elle est caractérisée par la présence de 7 paires d'épines sur les sept premiers segments abdominaux et deux crochets à l'extrémité abdominales. Le prothorax est généralement rugueux, avec une carène médiodorsale irrégulière, son enveloppe est chitineuse et de couleur brune (Dhouibi,1991). Elle se trouve dans la datte où la chenille a effectué son

développement. La pyrale est orientée de telle façon que sa partie céphalique se trouve en contact avec un orifice ménagé par la larve (dans la paroi du fruit, par lequel sortira l'imago) (Le Berre, 1978).



Figure 8 : La chrysalide d'*Ectomyelois ceratoniae* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).

2.1.4.4. L'adulte

Cet insecte est de couleur pâle, de 24 à 26 mm d'envergure. La teinte au fond des ailes antérieures et le plus souvent lavée d'ocre, parfois de gris (Berre ,1978). Le papillon présente deux formes différentes suivant l'origine géographique. Il prend une couleur grise dans les régions côtières et devient plus clair et d'un blanc plus au moins crémeux (Fig.9) dans les oasis (Doumandji et Mitich, 1983). Dhouibi (1989) indique que l'envergure de cette espèce varie de 16 à 22 mm. La frange des ailes est blanche et régulière. La ligne proximale transversale de l'aile aboutit plus abruptement au côté. La teinte de l'aile postérieure est plus blanche jusqu'à la frange et les nervures sont jaunâtres.



Figure 9 : L'adulte d'*Ectomyelois ceratoniae* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.1.5. Biologie d'*E. ceratoniae*

En Algérie cette pyrale peut développer 4 générations dans les régions côtières (Doumandji, 1981) et entre 3 à 4 générations dans les oasis (Wertheimer, 1958). Le papillon a une activité crépusculaire nocturne. Il émerge généralement dans la première partie de la nuit. L'adulte a une espérance de vie plus au moins courte estimée de 2 à 15 jours (Gothilf, 1969). Les adultes de la première génération proviennent des larves qui se sont développées dans de dattes restées au cours de l'hiver dans la palmeraie après la récolte (Le Berre, 1978). Ils ne peuvent pas voler lorsque les températures moyennes sont en dessous de 14°C. L'apparition des adultes se précipite à partir de 20°C. Selon Doumandji-Mitich (1976), l'adulte atteint son maximum entre 23 et 26°C. La femelle peut émettre de 100 à 300 œufs durant sa vie, mais la valeur de 100 à 200 reste la plus fréquente. Les œufs sont pondus sur la surface externe de la datte, dans les plis, les déchirures aussi bien que sous le calice. Après l'éclosion, la larve pénètre dans le fruit (Wertheimer, 1958).

Dès l'éclosion la chenille de 1 mm de long cherche un abri et une source d'alimentation. Généralement, elle s'installe et pénètre seulement dans les fruits qui présentent des craquelures ou des ouvertures à la suite d'un éclatement, des fissures, des écartements ou des attaques préables (Doumandji, 1981). A l'intérieur du fruit, la chenille subit un développement qui s'étend de 1 à 8 mois avant la nymphose (Doumandji-Mitich, 1977).

D'après Doumandji (1981) et Dhouibi (1991), la vie larvaire d'*E. ceratoniae* nécessite de 5 à 8 stades. La durée du cycle est en relation avec la plante hôte, le degré de maturité du fruit et de la saison. Le développement larvaire optimal est obtenu à 30°C et à une humidité de 70% (Doumandji, 1981).

2.2. La pyrale indienne *P. interpunctella*

C'est l'une des pyrales les plus répandues dans les entrepôts de stockage et les magasins. La chenille vit aussi bien aux dépens des farines les plus diverses, des graines de céréales et les oléagineuses, qu'aux dépens des matières amylacées les plus variées et les fruits secs. *Plodia interpunctella* Hubner est un important déprédateur des produits stockés à cause de sa polyphagie notamment sur les fruits secs et les grains (Doumandji, 1978).

2.2.1. Position systématiques

Selon Balachowsky (1962), *P. interpunctella* occupe la position systématique suivante :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

S/embranchement : Insecta

Ordre : Lepidoptera

S/Famille : Pyralloidea

Genre : *Plodia*

Espèce : *Plodia interpunctella* (Hubner, 1813).

2.2.2. Origine et répartition géographique

La pyrale indienne est une espèce largement cosmopolite, signalée dans le monde entier. Elle se trouve sur tous les continents dans les habitats tropicaux. Ce papillon de nuit se trouve le plus souvent en Floride ou il prospère dans l'habitat tropical. La mite vit dans un large éventail de conditions, ce qui en fait un ravageur persistant. Elle se trouve souvent dans les installations de stockage des aliments du monde entier. Particulièrement dans les silos à grains ou les bâtiments de stockage des graines (Balachowsky, 1971).

2.2.3. Description de l'espèce

2.2.3.1. L'œuf

Les œufs sont de couleur blanc opaque et de forme ovulaire. Cette opacité est due au vitellus et non au chorion. Après l'éclosion ils deviennent transparent (Fig.10). La surface de l'œuf n'est pas lisse mais présente une texture granuleuse. Les mesures de l'œuf sont de 0,45 à 0,50 mm de long et de 0,25 à 0,30 mm de diamètre (Doumandji, 1974).



Figure 10 : Les œufs de *Plodia interpunctella* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.2.3.2. La larve

La larve est de couleur ivoire avec une tête brune. Elle mesure 9 à 19 mm au terme de sa croissance (Fig.11). Elles tissent des fils de soie qui retiennent leurs excréments et contaminent les produits qui deviennent impropre à la consommation (Mbata et *al.*, 2005).



Figure 11 : La larve de *Plodia interpunctella* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.2.3.3. La nymphe

La nymphe mesure de 6 à 11 mm de longueur. Elle est marron clair et généralement enfermée dans un cocon lâche de couleur blanc grisâtre pour se protéger contre les prédateurs. Ce cocon va se trouver dans des anfractuosités pour se protéger (Fig.12). Elle ne s'alimente pas et utilise les réserves constituées par la larve pour toute sa métamorphose. C'est un stade de transformation majeure de l'insecte (Balachowsky, 1962).



Figure 12 : La nymphe de *Plodia interpunctella* (Originale, 2020).

2.2.3.4. L'adulte

L'envergure de papillon mesure de 15 à 20 mm. La tête porte une touffe d'écaille érigée en avant et des palpes labiaux sont saillants et dressés, formant un bec prononcé (Balachowsky, 1962). Selon Mbata et *al.* (2005) l'adulte mesure 10 mm environ au repos avec une envergure allant jusqu'à 30 mm (Fig.13). La moitié basale des ailes antérieures est

blanchâtre alors que l'autre moitié est brun cuivré. Les ailes antérieures ont une teinte bicolore. Elles sont claires blanchâtres sur le 1/3 de leur longueur et brunâtres sur les 2/3 de la partie distale. Cette coloration fait apparaître l'insecte lorsque les ailes sont étalées comme bicolore. L'aile postérieure est de couleur gris clair (uniforme et finement frangée sur tout son pourtour). Il se distingue de celles du genre *Ephestia* par l'absence de taches noires à la base des soies (poiles) (Balachowsky, 1962).



Figure 13 : L'adulte de *Plodia interpunctella* (Originale, 2020).

2.2.4. Biologie

L'imago s'accouple deux à trois jours après son émergence, la femelle pond aussitôt une moyenne de 150 œufs qui sont déposés isolément sur les tas de farine ou de graines, ou leur incubation n'est que de quelques jours (Fig.14). La durée de l'incubation larvaire est variable et irrégulière. La chenille à son développement mesure 14 à 15 mm de longueur et sa couleur est blanchâtre, virant au verdâtre ou au blanc rosé selon l'alimentation.

Tous les segments abdominaux portent des longues soies fines et brunes. Les chenilles tissent à la surface ou à l'intérieur des masses de nourritures attaquées, des fils soyeux qui sont maculés de glomérules excrémentiels souillant les aliments. La durée moyenne de développement des larves serait d'environ un mois mais elle peut se prolonger en quelques mois, la nymphose a lieu dans un cocon soyeux, placé en général à proximité immédiate ou dans le substratum attaqué. Elle dure 15 à 30 jours, le cycle évolutif de l'insecte serait de 40 à 85 jours avec un maximum de 305 jours et un minimum de 27 jours (Balachowsky, 1962).



Figure 14 : Accouplement mâle et femelle de *Plodia interpunctella* (Originale, 2020)

2.3. La pyrale *E. kuehniella*

Le genre *Ephestia* Z, appartient à sous famille des phycitinae et renferme plus de 100 espèces connues, réparties à travers le monde, dont beaucoup sont devenues aujourd'hui cosmopolites. Elle vive aux dépens de différentes matières alimentaires hors de cultures : farine, fruits alimentaires, noix séchés, noisettes et amandes (Balachowsky, 1972). Selon Delmi (2013), *E. kuehniella* est une mite des denrées stockées dont les larves s'attaquent à la farine, aux graines de céréales, à la semoule, au flacon d'avoine, aux biscuits, au pâtes alimentaires et aux fruits (dattes, abricots, figues).

2.3.1. Position systématique

La taxonomie de la pyrale *Ephestia kuehniella* Zeller se base essentiellement sur les critères morphologiques des adultes (Doumandji, 1981). Sa systématique est présentée comme suit :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Superfamilles : Pyraloidea

Famille : Pyralidae

Sous-famille : Phycitinae

Genre : *Ephestia*

Espèce : *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879.

2.3.2. Description de l'espèce

2.3.2.1. L'œuf

Il est de forme ovale, de couleur blanchâtre, brillant et opaque (Fig.15). Les dimensions des œufs sont : 0,4 mm de large sur 0,5 mm de long, ceux-ci possèdent un très court pédoncule les reliant et les fixant au substrat (Doumandji et Mitich, 1974). Il est de forme légèrement ovoïde, presque sphérique pour certains et non lisse (Fig.15). Le chorion faisant parfois de larges plis, qui disparaissent lorsque l'embryon évolue. Il a une couleur blanche légèrement crème (Elzghari, 1969).



Figure 15 : Les œufs d'*Ephestia kuehniella* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.3.2.2. La chenille

La chenille est de couleur beiges rosés. La capsule de la tête et la carapace de la nuque sont marron avec une longueur de 20 mm à maturité (Fig.16). La capsule céphalique est bien visible. Elles présentent des taches foncées à la base de chaque soie (Elzghari, 1969).



Figure 16 : Les chenilles d'*Ephestia kuehniella* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.3.2.3. La nymphe

La nymphe de couleur marron clair, la longueur de cette nymphe varie entre 7 à 9 mm (Fig.17). Sa largeur au niveau de l'abdomen mesurant à peu près 1,8 mm (Doumandji et Mitich,1974). La nymphose a lieu sur les emballages toujours à l'obscurité dans un cocon de couleur blanc (Balachowsky, 1972).



Figure 17 : La chrysalide d'*Ephestia kuehniella* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.3.2.4. L'adulte

Les adultes sont relativement grands et mesurant 20 à 25 mm d'envergure et 9 à 12 mm de longueur (Fig.18). Les ailes antérieures sont grises avec quelques marques brunes et blanches, les ailes supérieures grises plus au moins foncées et les palpes labiaux sont incurvés vers le haut (Doumandji - Mitich, 1981). Cette espèce se reconnaît aussi à sa tête, petite mais globuleuse. Elle est pourvue de deux palpes labiaux érigés en avant, saillants, de forme cornue et aussi à son front dépourvu de squamules (Balachowsky, 1972).



Figure 18 : L'adulte *Ephestia kuehniella* (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2020).

2.4. Biologie

La ponte débute immédiatement après l'accouplement et les femelles pondent 200 à 300 œufs déposés à raison de 10 à 30 éléments par ponte sur une période de 4 à 5 jours. La ponte s'effectue sur les tas de farine en surface ou en profondeur ainsi que sur les emballages. La durée d'incubation est en fonction de température, elle varie de 4 à 14 jours (Khalil, 1995).

La chenille s'alimente immédiatement de substrat, puis elle tisse un fourreau soyeux. Elle s'abrite dans ce dernier pour vivre durant toute son évolution qui est de 1 à 4 mois selon les conditions ambiantes. Le cycle complet est de 25 à 65 jours à une température de 32 °C et de 110 jours à 10°C. A chaque mue les chenilles tissent des nouvelles toiles et celles-ci se s'organisent en paquets agglomérés. Les farines infestées se souillent de dépouilles et d'excrément et perdent toute leur valeur alimentaire (Balachowsky, 1972). Selon Jean-Lou (1978), la durée totale du cycle de développement d'*E. kuehniella* varie de 200 à 250 jours. D'après Elzghari (1969), le cycle de développement d'*Ephestia* passe par cinq stades larvaires et la durée totale de son cycle évolutif est de 45 à 53 jours à la température de 20,0 - 22,5 °C et une humidité relative de 65,75%.

3. Dégâts et pertes

Selon Wertheimer (1958), le pourcentage d'attaque est supérieur à 10% et pouvant atteindre 30% en Afrique du Nord. *P. interpunctella* et *E. kuehniella* sont parmi les espèces les plus rencontrées et les plus signalées en Algérie notamment sur la farine et la semoule à cause de leurs ravages les plus importants en entrepôts de stockage. La larve se nourrit du germe et du son qu'elle enlève des grains. Les individus de tous les stades larvaires tissent des toiles à l'approche de la pupaison ainsi que les fortes populations produisent un matelas de grains enchevêtrés de toiles jusqu'à une profondeur de 50 cm (Doumandji, 1981).

Le pourcentage de fruits attaqués est de 42,5 % dans les champs à Ouargla et augmente au niveau des lieux de stockage jusqu'à 64,7%. *P. interpunctella* n'attaque lorsque'elle est stockée dans les entrepôts. Elle échappe donc à toute influence des conditions climatiques locales. Ses attaques sont donc partout extrêmement sévères. Ce sont des amas réunis par des fils de soie à l'extrémité des rameaux (Doumandji et Mitiche, 1983).

E. ceratoniae est une espèce poly phytophage qui endommage de nombreux arbres fruitiers, ce ravageur se développe aussi bien en plein champ que dans les entrepôts de stockage. Ils ont signalé que *E. ceratoniae* provoque 90 % des pertes considérables de la production de dattes (Dhouibi et Jemmazi, 1996). Dans les oasis tunisiennes, la culture de grenadier est en voie de disparition à cause des attaques de la pyrale qui peuvent atteindre jusqu'à 80% de la

production (khoualdia et *al.*, 1997). Alors qu'au Maroc, ce ravageur cause jusqu'au 30% de perte dans les récoltes de dattes (Bouka et *al.*, 2001). En Californie, la pyrale de dattes est considérée comme l'espèce la plus économiquement nuisible pour la culture du palmier dattier infestant 10 à 40 % de la récolte de Deglet-Nour annuellement. Les dégâts causés en Algérie et en Tunisie sont de l'ordre de 4 à 20 % de la récolte dont 70 % est représenté par des jeunes chenilles ayant atteint le tiers ou la moitié de leurs développement (khali, 2008).

D'après Idder et *al.* (2009), un taux d'infestation de 57 % par la pyrale de dattes *E. ceratoniae* sur la variété takermoust qui est la plus infestée, ils ont signalé également que le taux d'infestation se varie selon la variété des dattes. Les dégâts occasionnés par ces pyrales varient d'un endroit à un autre, d'une année à une autre et d'une variété à une autre. La mise au point d'une lutte efficace rend difficile à cause de leurs polyphagies et leur large répartition dans l'espace ainsi que sur des hôtes variés (Zouioueche, 2011). Les dégâts provoqués par ces ravageurs sont occasionnés par les larves dotés des mandibules assez développées (Hached et *al.*, 2018). Hached (2019), Les dégâts occasionnés par ce ravageur peuvent atteindre les 19 % de la totalité de la production.



Figure 19 : Dégâts causés par *Ectomyelois ceratoniae* sur les dattes dans les champs
(Tolga, Novembre 2021).



Figure 20 : Dattes infestées par la chenille d'*Ectomyelois ceratoniae* (Originale, 2020).



Figure 21 : Excréments des larves des pyrales sur les dattes (Originale, 2021).



Semoule saine

Semoule infestée

Figure 22 : Semoule avant et après infestation par *Ephestia kuehniella* (Originale, 2020).



Figure 23 : Dégâts causés par les chenilles de *Plodia interpunctella* et *Ephestia kuehniella* sur la semoule (Originale, 2020).

4. Les moyens de lutte

Plusieurs méthodes de moyen de lutte qui permettent de maintenir les populations ravageuses pour un niveau d'attaque à un seuil économiquement acceptable. La maîtrise de la prolifération des insectes dans les champs ainsi que lors de stockage passe par un ensemble des méthodes de lutte préventive et curative. Selon Wertheimer (1958), la méthode la plus fréquemment utilisé pour lutter contre ces trois pyrales de dattes est la lutte chimique avec l'utilisation des fumigants notamment l'oxyde d'éthylène tuent toute vie d'insecte, quel que soit sa forme mais n'éliminent pas les cadavres des chenilles et leurs excréments. Malheureusement, ce produit est maintenant interdit en raison de sa persistance dans les fruits (Dhouibi et Jemmazi, 1996). La lutte contre ces papillons reste limitée à l'utilisation des produits chimiques, alors que cette méthode présente un grand risque pour l'homme et l'environnement. Son efficacité se heurte à d'autres problèmes liés à son cout élevé, à l'apparition des souches résistantes et aux résidus laissés dans les stocks et l'environnement.

Face à cette situation, l'orientation actuelle irait vers l'utilisation des méthodes de lutte biologique qui permettrait à la fois de faciliter l'exportation de dattes et de préserver l'écosystème des oasis. Des moyens physiques peuvent être également associés à l'usage des produits chimiques bien raisonné en tant que des mesures préventives complémentaires. Lutter contre les insectes adultes dans les palmeraies, il n'est pas facile mais bien possible de se protéger de leur attaque en ateliers en prenant des précautions nécessaires : aménagement des magasins de stockage, traitement des locaux et des récoltes brutes. Il convient aussi de détruire les œufs dès que possible avant l'éclosion (Munier, 1973).

Dowsen et Aten (1963), ont signalé deux moyens de désinsectisation : l'immersion des dattes dans de l'eau bouillante et l'exposition à l'air de haute et basse température. Une autre technique physique qui est trempage dans l'eau chaude. C'est une technique réservée beaucoup plus aux dattes sèches ou de qualités secondaires qui ne peuvent pas convenir pour les fruits destinés à l'exportation. C'est une méthode peut être satisfaisante quand on parle des petites quantités (Khali, 2008).

Plusieurs travaux de recherches ont été effectués dans ce sens et de trouver des méthodes alternatives de lutte contre la pyrale des dattes dans les champs ainsi dans les stocks. Ils se sont intéressés à l'utilisation des bio insecticides à base de *Bacillus thuringiensis* et d'ennemis naturels de la pyrale (Dhouibi et Jemmazi, 1996). Donc la lutte biologique consiste à lutter contre les infestations de ces ravageurs par des ennemis naturels tels que prédateurs et parasites. C'est une méthode non polluante, moins onéreuse mais aléatoire.

Plusieurs travaux rapportent les résultats obtenus sur la lutte biologique contre *Ectomyelois ceratoniae* (Lepigre, 1963 ; Dhouibi et Jarreya, 1988 ; Doumandji et Mitich, 1989). Refrafi (2011) a démontré l'effet active de spinosade à l'égard des différents stades larvaires d'*E. ceratoniae*. Hached et al. (2018) ont démontré que les molécules biologiques de spinosade et l'azadirachtine ont un effet très efficace contre les stades larvaires L1 et L5 d'*E. ceratoniae*.

Des travaux précédant ont également montré le rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre la pyrale, notamment le cas du parasitoïde de *Bracon hebetor say* et *Phanerotoma flavitestacea*, agent de contrôle promettant contre *E. ceratoniae* Zeller (Dehliz et al., 2016). Doumandji et Mitiche (1983) ont montré que *Trichogramma embryophagum* pouvait réduire efficacement les populations d'*E. ceratoniae* dans une palmeraie à Ouargla, Algérie où ils ont obtenu un taux de parasitisme de 45,3%. Upadhyay et Ahmed (2011) ont montré que la parasitoïde *Habrobracon hebetor* (Hyménoptère : Braconidae) pouvait réduire l'infestation des populations de *P. interpunctella* et le parasitoïde *Venturia canescens* (Ichneumonidae) agent de contrôle promettant contre les populations d'*E. cautella*. Ouamane et al. (2017) ont montré que *B. thuriengiensis kurstaki* est efficace contre les chenilles de divers parasites des Lépidoptères.

L'utilisation des bio pesticides d'origine végétale est largement adoptée contre les insectes ravageurs des denrées stockées. Ces bio pesticides peuvent être utilisés sous forme d'extraits des plantes, des poudres, des plantes entières, d'huiles végétales ou d'huiles essentielles (Kumar, 2017).

Abbasipour et *al.* (2012) ont démontré la toxicité par fumigation de l'huile essentielle de *Cinnamomum zeylanicum* sur *C. maculatus*, *T. castaneum* et *E. kuehniella* respectivement avec des LC50 à 24 h de 443,14 ; 755,9 et 2,87 µl/L.

Haouel et *al.* (2010) ont montré la toxicité par fumigation de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus camaldulensis* à l'égard d'*E. ceratoniae*. Par ailleurs, l'étude menée par Mediouni et *al.* (2012) a noté la toxicité par fumigation de différentes huiles essentielles sur les Lépidoptères de dattes *E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*.

Les huiles essentielles ont des propriétés marquées qui sont valorisées dans des nombreux domaines notamment l'aromathérapie et la cosmétique, auxquels s'ajoute récemment le bio contrôle des bio-agresseurs. En effet, l'activité biologique des huiles essentielles sur les insectes phytophages s'exerce à plusieurs niveaux et limite le renouvellement des générations. Ainsi, il a été constaté que des huiles essentielles se révèlent insecticides ou inhibent le développement des insectes (Regnault-Roger et *al.*, 2008).

L'objectif de chapitre est d'étudier la qualité et la caractérisation de deux substances végétales. Nous nous sommes donc proposés d'étudier la composition chimique des huiles essentielles appartiennent à la famille des Lamiacées (menthe verte et le thym). Nous nous sommes aussi intéressés d'étudier la variation de la composition chimique des huiles essentielles de différentes saisons. Il s'agit de déterminer la cinétique de rendement des huiles essentielles extraites par hydro distillation.

1. Matériel végétal

1.1. Présentation de la région d'étude

Boufarik est une commune de la wilaya de Blida en Algérie, située à 14 km de la ville de Blida et à 35 km d'Alger. Elle abrite la base aérienne qui regroupe les escadres de transport aérien tactique de l'armée de l'air algérienne.

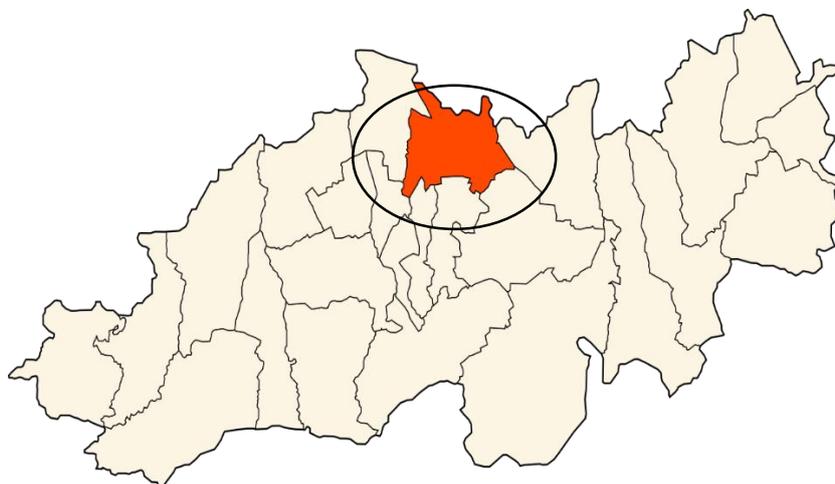


Figure 24 : Localisation de la région de Boufarik

1.2. Présentation des plantes aromatiques étudiées

Les matières végétales utilisées pour l'extraction des huiles essentielles sont des feuilles de thym et la menthe verte.

Les feuilles ont été prélevées durant quatre saisons différentes été, automne, hiver et printemps durant 2018/2020 dans la région du Boufarik (Nord de l'Algérie).

Thymus vulgaris et *Mentha spicata* ont fait l'objet d'une extraction des huiles essentielles en cours de quatre saisons de récolte (été, automne, hiver et printemps) durant 2018/2019 et 2019/2020.

1.2.1. *T. vulgaris*

Le genre *Thymus*, regroupe plus de 300 espèces les plus diversifiés de la famille des Lamiacées, elle est connue pour leurs huiles essentielles aromatiques (Aubineau et *al.*, 2002). L'espèce la plus connue et sans conteste le *Thymus vulgaris* localement connue sous le nom « Zaatar ».

Le thym est une plante ligneuse, mesurant de 10 à 30 cm de haut, ses rameaux serrés, dressés et velus recouverts des feuilles opposées courtement pétiolées, ovales et ciliées à la base (Fig.25). Les fleurs sont rosées en capitules terminaux avec un calice glanduleux. L'odeur est thymolée, la saveur est chaude, aromatique et légèrement amer (Ali-Delille, 2010). Les racines sont pivotantes ce qui permet à la plante d'aller chercher l'eau en profondeur. Il est cultivé même dans les terres fertiles, fraîches, ou toutefois il est moins aromatique. Cette plante redoute fort l'excès, se trouve dans tous les étages biologiques (Nedjib-Rejeb et *al.*, 2006).

1.2.1.1. Origine et répartition géographique

Le thym est largement retrouvé dans le monde tels que l'Europe, l'Afrique, l'Asie, Chili et la nouvelle Zélande. Environ 250 taxons se concentre dans la méditerranée (Morales, 2002). Le thym est une plante très répandue dans le nord-ouest Africain (Maroc, Tunisie, Algérie et Libye) ainsi que dans les montagnes d'Ethiopie et d'Arabie-Saoudite, passant dans les régions arides de l'Asie occidentales jusqu'à l'Himalaya. Il peut même atteindre les limites de la région tropical du Japon. Il pousse en Sibirie et en Europe (Jalas, 1971). Il existe 12 espèces de thym dont 8 sont endémiques à l'Algérie et à l'Afrique du nord (Quezel et Santa, 1983).

1.2.1.2. Position systématique de *T. vulgaris*

Selon Goetz et Ghedira (2012), la position taxonomique de *T. vulgaris* est comme suit :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Embranchement : Magnoliophyta

Sous embranchement : Magnoliophytina

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Astéridae

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiaceae

Genre : *Thymus*

Espèce : *Thymus vulgaris*



Figure 25 : *Thymus vulgaris* (Originale, 2019).

1.2.2. *M. spicata*

La menthe verte est une plante aromatique vivace stolonifère, les feuilles sont d'une couleur vert foncé (Fig.26). Elles sont sessiles, ovales lancéolées à dent de scie et glabres. Les inflorescences sont des épis allongés, de couleur blanche ou pourpre. Les étamines sont plus longues que la corolle et écartées entre elles. La menthe verte est très commune en Afrique du nord (Ait Youssef, 2006).

1.2.2.1. Origine et répartition géographique

Les origines de la menthe sont encore bien imprécises, la zone géographique de départ englobe le nord de l'Afrique, le bassin méditerranéen, l'Europe et le Proche-Orient. La menthe fut introduite en Grande-Bretagne par les Romains. Elle s'est ensuite diffusée sur l'ensemble du globe, l'Amérique du Nord, au Japon et en Australie, au Maroc pousse

naturellement. Aujourd'hui. Elle est retrouvée partout dans le monde et parfois considérée comme une plante envahissante. La diversité des sols et les multiplications ont donné de nombreuses espèces. Certaines études ont montré que *Mentha spicata* serait le résultat d'une hybridation entre *Mentha longifolia* et *Mentha suaveolens* (Carlier-Loy, 2015).

1.2.2.2. Position systématique de *M. spicata*

Douay (2009) classe *M. spicata* comme suit :

Règne : Plantae

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Anthophytina

Super-classe : Triaperturées

Sous-classe : Astridae

Ordre : Tubiflorales

Famille : Lamiacées

Genre : *Mentha*

Espèce : *Mentha spicata* L.



Figure 26 : *Mentha spicata* (Originale, 2019).

1.3. Récolte des échantillons des espèces végétales

Les récoltes ont été effectuées sur les feuilles de *T. vulgaris* et *M. spicata* dans le verger de Blida, région du Boufarik (Algérie) durant quatre saisons : novembre 2018, janvier 2019, mars 2019 et juin 2019 ainsi qu'en mars et juin 2020.

Les feuilles de deux espèces végétales ont été séchées pendant une semaine à 15 jours à l'abri de la lumière et de la chaleur. Elles sont conservées dans des sacs en tissu (Fig. 27).



Figure 27 : Coupage de la matière végétale et conservation dans des sacs en tissu (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).

2. Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles de deux espèces a été réalisée entre novembre 2018 jusqu'à juin 2020. (Au centre de recherche et d'analyses physicochimiques (CRAPC) à Bousmail- Tipaza et au laboratoire de recherche d'entomologie appliquée à UMMTO). La technique utilisée est l'hydro distillation par Clevenger.

2.1. Technique d'hydro distillation

Les feuilles des espèces végétales utilisées sont découpées en petits morceaux (Fig.28) (broyer) et les introduire dans un ballon de capacité de 2 L rempli de 2/3 (1L) d'eau distillé.

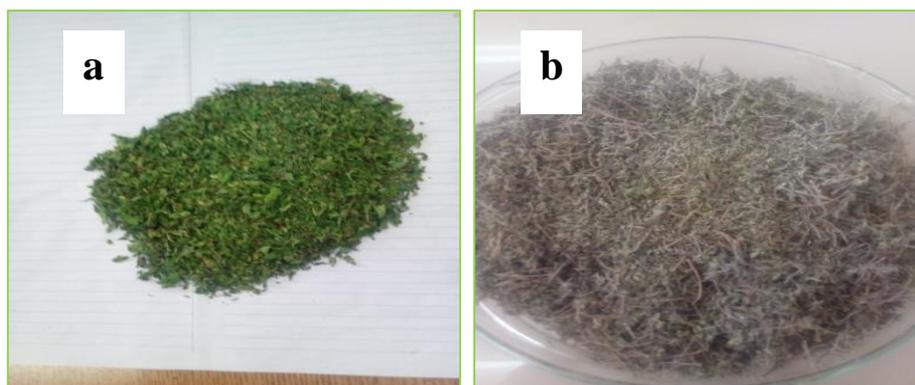


Figure 28 : Feuilles broyées de *Mentha spicata* (a) et de *Thymus vulgaris* (b)
(Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).

L'eau en suite chauffé dans le chauffe ballon jusqu'à l'ébullition. La formation de la vapeur d'eau qui va entrainer les constituants volatils (Fig.29). Ces vapeurs s'élèvent et passent dans le réfrigérant qui les refroidi. La séparation entre l'huile essentielle se fait en premier lieu dans l'appareil car l'huile surnage l'eau. Cette eau est récupérée en ouvrant le robinet de cet appareil puis mise directement dans l'ampoule à décanter. La durée d'extraction est de 2 h. C'est le temps nécessaire pour avoir le maximum de l'huile essentielle.



Figure 29 : Appareil de type Clevenger (Laboratoire de chimie, 2019).

Le mélange est récupéré dans une ampoule à décanter, puis deux phases se forment. Dans la partie inférieure se trouve l'eau (phase aqueuse) et la partie supérieure comporte l'huile essentielle (phase huileuse ou organique) (Fig.30). Les huiles obtenues sont conservées dans des flacons en verre opaque de couleur marron à l'abri de la lumière et à une température de 4 à 5°C.



Figure 30 : Ampoule à décanter (Originale, 2019).

2.2. Étude de la cinétique de rendement de *T. vulgaris* et *M. spicata* des différentes saisons

Nous avons suivi de l'évolution de la quantité d'huile essentielle extraite par hydro distillation d'une masse végétale (*T. vulgaris* et *M. spicata*) pendant des différentes saisons en fonction du temps. Le distillat obtenu est récupéré dans des erlenmeyers à des temps différents et subit ensuite un traitement liquide pour bien séparer les deux composants (huileuse et aqueuse). Après décantation, le contenu de chaque erlenmeyer est versé dans un tube à essai puis pesé pour déterminer le poids des tubes. Ces derniers sont pesés à deux reprise (vides et pleins) pour déterminer le poids des tubes pleins. La différence du poids des tubes nous a permis de connaître le poids de l'huile essentielle. Deux essais ont été effectués pour chaque huile essentielle et pour chaque saison considérée. Nous avons tracé une courbe de cinétique traduisant le rendement des huiles essentielles en fonction du temps.

2.3. Caractérisation physicochimiques des huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata*

De nombreux facteurs peuvent modifier les essences provenant du végétal. Les huiles essentielles sont des composés très altérables car ils renferment des composés oxydables sous l'action de l'air et de la lumière. Lorsqu'ils sont mal conservés, Ils entraînent des modifications de leurs parfums, leurs saveurs et leurs compositions physiques et chimiques en les rendre impropres à l'utilisation. La normalisation des huiles essentielles concerne des propriétés organoleptiques tels que l'odeur, la couleur et la saveur. Les caractérisations chimiques : l'indice d'acide, l'indice d'ester et le profil chromatographique et la quantification relative des différents constituants.

2.3.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité de la matière végétale a été mesuré par le séchage à l'air libre en appliquant la relation suivante :

$$H = ((m_0 - m_1) / m_0) * 100$$

Avec :

H : taux d'humidité

m_0 : masse de l'échantillon avant le séchage (en g)

m_1 : masse de l'échantillon après le séchage (en g)

2.3.2. Densité relative

C'est le rapport de la masse d'un certain volume d'huile essentielle à une température de 20°C et la masse d'un volume égale d'eau distillé à la même température. A l'aide d'une balance analytique, effectuant des pesées successives du volume égal d'huile et d'eau à la température de 20°C.

Calcul de la densité :

$D = (V_1 - V_0) / (V_2 - V_0)$, avec :

V_0 : masse des tubes vide.

V_1 : masse des tubes remplis avec l'huile.

V_2 : masse des tubes avec l'eau distillé.

2.3.3. Détermination du pH

Le pH (potentiel hydrogène) mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Cette méthode décrit l'acidité ionique du produit à analyser. Son principe consiste à introduire l'électrode du pH-mètre dans le produit après le réglage de la température d'étalonnage. La lecture se fait directement sur le pH-mètre (Annexe 1). Nous avons introduit quelques gouttes d'huile essentielle sur un bout de papier pH. Après le changement de la couleur du papier, nous l'avons comparé avec une gamme de couleur différentes. Chaque couleur correspond à un pH défini.

2.3.4. Indice d'acide

L'indice d'acide permet de vérifier la qualité d'une huile essentielle, notamment en ce qui concerne sa dégradation avec le temps durant le stockage.

C'est la masse de KOH, exprimée en milligrammes nécessaires pour la neutralisation des acides libres présents dans 1 g de la substance de l'huile essentielle.

La teneur en acide libre des corps gras augmente avec le temps, l'indice d'acide permet de juger de leur état de détérioration. Nous avons introduit 0,5 g d'huile essentielle dans un ballon contenant 1,5 ml d'éthanol neutralisé et 2 à 3 gouttes d'indicateur coloré (phénolphtaléine).

Nous titrons ensuite le liquide avec la solution (0,1N) contenu dans une burette. Nous poursuivons l'addition jusqu'à l'obtention du virage persistant de la solution (rose) pendant 30 seconde. Nous notons ensuite le volume de la solution d'hydroxyde de potassium utilisé.

Calcul de l'indice d'acide : $I_A = (5,61 \times V) / m$, où :

5,61 : la masse molaire de KOH en (g/mol)

V : Volume en ml de KOH

m : Masse en g de la prise d'essai

2.3.5. Indice d'ester

L'indice d'ester est le nombre de milligramme de potassium (KOH) pour effectuer la saponification totale des esters sels contenus dans un gramme de substance (huile essentielle).

Nous avons introduit 0,5 g d'huile essentielle dans un ballon. A l'aide d'une pipette jaugée nous avons ajouté 5,1 ml d'une solution d'hydroxyde de potassium (0,5N) et quelques pierres ponce (pour homogénéiser l'ébullition durant le chauffage).

Nous adaptons le réfrigérant à refluer au ballon sur le bain d'eau bouillante pendant une heure environ. En parallèle nous avons préparé le matériel pour le dosage de l'excès de potassium avec de l'acide chlorhydrique.

A la fin du chauffage nous avons refroidi le ballon en remplaçant le chauffe-ballon par un cristalliseur rempli d'eau glacée. Une fois la température du ballon a diminué, nous avons coupé la circulation d'eau dans le réfrigérant et retirer le ballon, puis nous l'avons placé sur l'agitateur magnétique. Nous avons ajouté 5 ml d'eau puis 2 à 3 gouttes de la solution de phénolphtaléine. Nous avons tiré l'excès d'hydroxyde de potassium avec la solution d'acide chlorhydrique (HCl 0,5 N).

L'indice d'ester est calculé par la formule suivante :

$$IE = 28,05 (V - V_0) / M$$

IE : indice d'ester

V : volume en ml de HCl utilisé dans cette détermination (en ml).

V₀ : volume en ml de HCl utilisé dans cette détermination de l'essai à blanc (en ml).

M : la masse de la prise d'essai (en g).

2.4. Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata*

Les caractéristiques organoleptiques sont parmi les paramètres qui permettent d'évaluer la qualité de l'huile essentielle et ces extraits. Les propriétés organoleptiques sont :

L'odeur : est un sens chimique sensible des parfumeurs à caractériser des substances chimiques parviennent à doser les produits naturels.

La couleur : la coloration d'une huile essentielle est variable et dépend de sa composition et des produits qui le constituent, l'intensité de la couleur est liée parfois à la méthode d'extraction, utilisation des solvants qui ont le pouvoir d'extraire beaucoup de pigments et la période de la récolte.

L'aspect : L'apparence de l'huile essentielle dépend des produits qui le constituent lesquels peuvent se présenter sous forme liquide, solide et liquide mobile.

2.5. Analyse des huiles essentielles

Pour l'identification des composés volatiles des huiles essentielles extraite pendant différentes saisons, nous avons utilisé la technique de chromatographie à phase gazeuse couplées à la spectrométrie de masse au centre de recherche d'analyses physicochimiques qui se trouve à la zone industrielle de Bousmail, Tipaza.

2.5.1. Les conditions de la chromatographie à phase gazeuse couplées à la spectrométrie de masse

L'appareil GC/MS est un agilent et le mode d'injection est le split 80 :1. La colonne utilisé est de type HP-5MS, la longueur de la colonne est de 30 m, son diamètre interne est de 0,25 mm et avec une épaisseur film de 0,25 µm. Le gaz vecteur utilisé : Hélium pureté : N6 à un débit GV : 0,5 ml/min. La température du four initiale est de 60°C pendant 8 min. La température augmente progressivement en raison de 2°C/min jusqu'à atteindre 250°C.

La température de la source est de 230°C. Le chromatogramme des ions totaux est enregistré en utilisant un type d'ionisation d'impact électronique et une intensité de filament de 70 eV. La durée de l'analyse est de 113 min et le type de l'analyseur est de type Quadripôle.

Le chromatogramme de chaque huile essentielle comporte plusieurs pics. Chaque pic est représenté par un temps de rétention qui représente la nature du composé de l'huile essentielle. Le pourcentage de l'aire du pic correspond à la proportion du composé de l'huile essentielle par rapport aux autres composés. Après l'identification des différents constituants des huiles essentielles, nous pouvons classer les composés terpéniques selon le nombre d'unités en C₁₀ qu'ils comportent, par rapport au nombre total des composés de chaque huile

essentielle (Monoterpènes : $C_{10}H_{16}$; Sesquiterpènes : $C_{15}H_{24}$ et les di terpènes : $C_{20}H_{32}$) (Guignard, 2004).

3. Résultats

3.1. Étude de la cinétique de rendement de *T. vulgaris* et *M. spicata* en différentes périodes de récolte

Suivi la cinétique de rendement en huile essentielle des deux espèces végétales étudiées *M. spicata* et *T. vulgaris* par la méthode hydro distillation nous a permis de tracer les courbes cinétiques ; celles-ci traduisant le rendement en huiles essentielles de deux espèces en fonction du temps.

La cinétique consiste à déterminer le rendement en fonction du temps d'extraction. Cette étude a pour but de fixer le temps nécessaire pour extraire le maximum d'huile essentielle.

Les figures (31 et 32) montrent que les courbes ont la même allure, c'est-à-dire le rendement augmente en fonction du temps jusqu'à 90 min pour *M. spicata* et *T. vulgaris* au cours des saisons. Nous remarquons que les rendements cumulés en huile essentielle de *T. vulgaris* sont plus importants en printemps avec une valeur de 2,9 %, il est de l'ordre 2,5 % en été et 2,4 % en automne, un faible rendement est enregistré en hiver. En effet, le rendement de l'huile essentielle de *M. spicata* est très important au printemps avec 1% de rendement et 0,82 % en été. Nous constatons, que le rendement de deux huiles essentielles est plus important durant la première phase d'extraction de 15 à 30 min pendant les quatre saisons été, printemps, automne et hiver respectivement avec 1% ; 1% ; 0,71% et 0,8 % pour *T. vulgaris* et de 0,6% ; 0,4% ; 0,3% et 0,2% pour *M. spicata*. Au cours de la première quinzaine, l'extraction de l'huile essentielle située à la surface de la matière végétale par la diffusion des huiles essentielles par les poils sécréteurs de la matière végétale.

Pour la deuxième phase nous avons observé un ralentissement de rendement de *T. vulgaris* dans chaque saison : le printemps est de 0,6 % ; l'été avec 0,4 % ; hiver avec 0,3 % et l'automne (0,4 %). Concernant la troisième phase, le rendement enregistré est faible. A partir de 90 à 180 min aucun rendement n'a été enregistré.

De même, pour l'huile essentielle de *M. spicata* une diminution de rendement durant la deuxième phase 0,3 % au printemps et été. Un taux de 0,2 % est enregistré en hiver et l'automne. Durant cette phase l'extraction des huiles essentielles serait peut-être dû au phénomène d'osmose des huiles essentielle à l'intérieur des cellules de la matière végétale. Nous constatons que le rendement en huile essentielle augmente proportionnellement avec le temps. Le rendement de *T. vulgaris* devient stable et il varie entre 2,6 % et 2,9 % ainsi que 0,8% et 1% pour *M. spicata*. Le rendement cumulé en huile essentielle de *T. vulgaris* est plus

important durant la première phase (15-30) min, au printemps il est de l'ordre de 2,12%. Par contre en été le rendement de l'huile essentielle a diminué durant sa première phase (15-30) min jusqu'à 1%. Concernant la troisième phase de 135 à 180 min, aucun rendement en huile essentielle de *T. vulgaris* et *M. spicata* n'a été enregistré durant les quatre saisons.

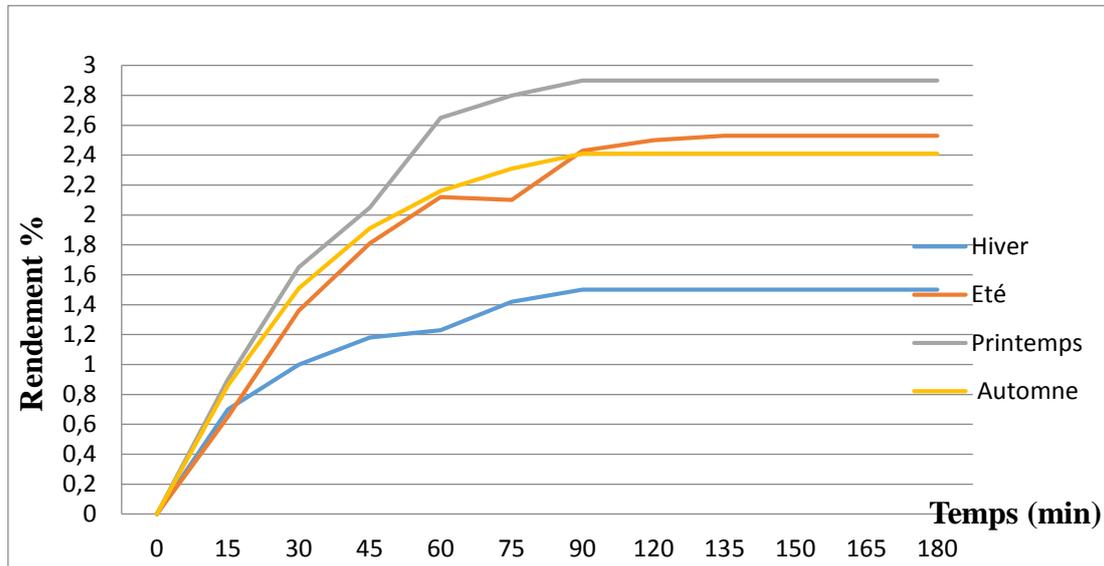


Figure 31 : Rendement en huile essentielle lors de l'hydro distillation des feuilles de *Thymus vulgaris* au cours de saison.

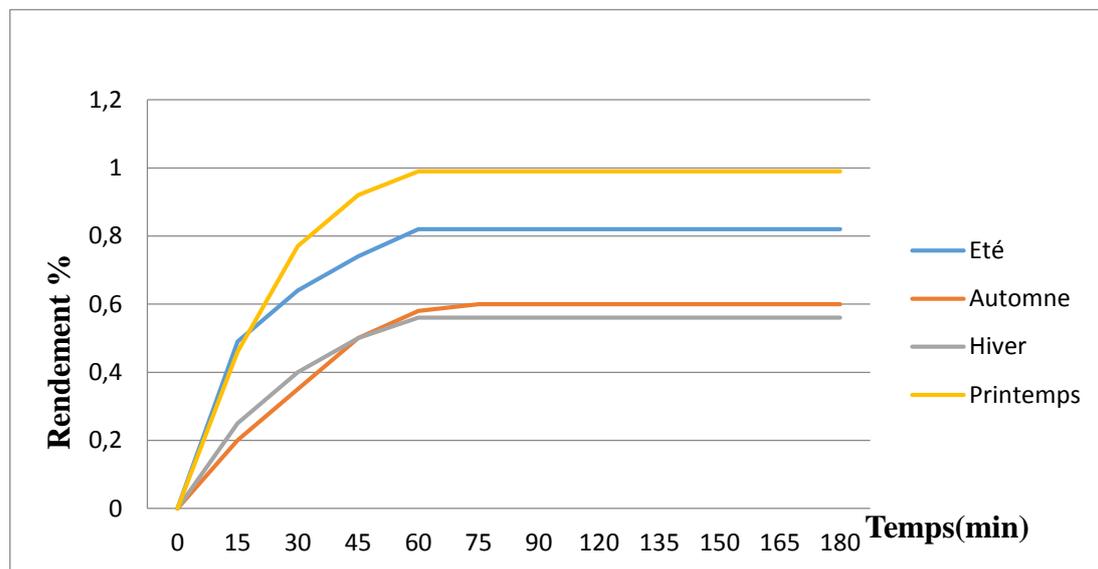


Figure 32 : Rendement en huile essentielle lors de l'hydro distillation des feuilles de *Mentha spicata* au cours de saison.

3.2. Détermination des propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de *T. vulgaris* et *M. spicata*

Cette étude comprend à la détermination des propriétés physico-chimiques des huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata* tels que l'humidité, le pH, la densité relative, indice d'acide et d'ester.

3.2.1. Taux d'humidité

D'après les résultats obtenus sur l'humidité des plantes *T. vulgaris* et *M. spicata* nous avons enregistré un taux d'humidité qui varie entre 79 à 86 % pour *M. spicata* durant les quatre saisons. De même, pour l'espèce *T. vulgaris* un taux d'humidité varie entre 66 à 76 %. Nous avons remarqué que le taux d'humidité est diminué en été pour les deux espèces *T. vulgaris* et *M. spicata* respectivement avec un taux de 65 % et 79 % (Fig. 33).

D'après nos résultats l'huile essentielle de *M. spicata* est plus riche en eau vis-à-vis l'huile de *T. vulgaris*. La partie aérienne (feuilles) a révélé un taux d'humidité plus important avec une valeur de 79 % et 21 % de la matière sèche. En revanche, le taux d'humidité de thym est de l'ordre de 65 % et la matière sèche du végétal est représentée par un taux de 35%. Cela signifie que la grande partie des feuilles de deux plantes ou la partie fraîche de *M. spicata* et *T. vulgaris* est constituée de l'eau. Nous pouvons dire que cette variation de taux d'humidité durant les saisons est dû aux fluctuations des températures. La température élevée est responsable de l'évaporation de l'eau dans la partie aérienne de la plante.

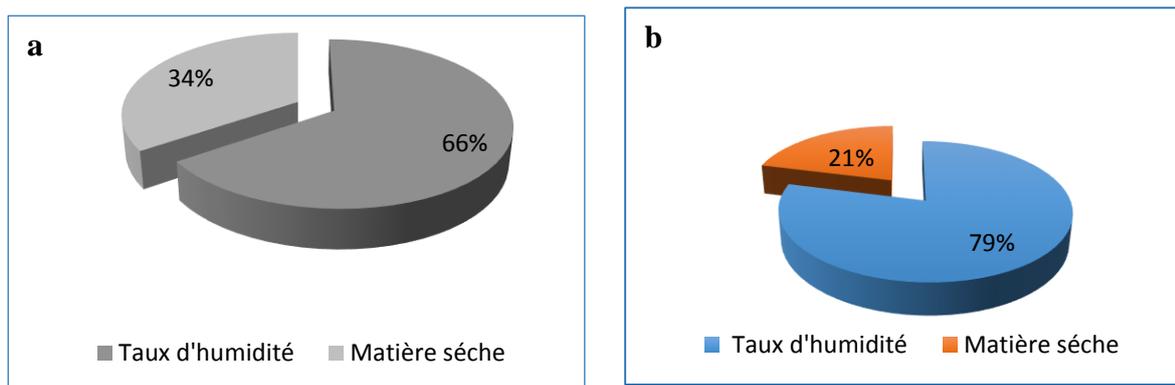


Figure 33 : Taux d'humidité de *Thymus vulgaris* (a) et *Mentha spicata* (b) en été.

3.2.2. Densité relative et le pH

La densité relative à 20°C est le rapport de la masse d'un certain volume d'huile essentielle à 20°C et la masse d'un volume égale d'eau distillé à la même température. La densité relative nous renseigne sur la composition chimique de deux huiles essentielles extraite *M. spicata* et *T. vulgaris*. D'après nos résultats la densité relative de deux espèces

M. spicata et *T. vulgaris* respectivement est de 0,862 % et 0,867 %. Nos résultats montrent que les deux espèces *M. spicata* et *T. vulgaris* sont riches à des composés terpéniques et mono terpéniques. Les valeurs de la densité relative de *M. spicata* et *T. vulgaris* sont inférieurs à 1 ce que nous renseigne également sur la naturalité des produits extraits *M. spicata* et *T. vulgaris*.

Le pH mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H⁺) proton en solution ou bien plus couramment mesure l'acidité ou la basicité d'une solution.

Nos résultats montrent que les deux huiles essentielles : la menthe verte et le thym ont un pH acide de l'ordre de 6 pendant les différentes saisons, ce qui induit que ces huiles essentielles présentent un caractère acide. Ces résultats ainsi peut amener à un bon caractère stabilisateur contre les microorganismes ce qui permettra donc à l'huile essentielle de *T. vulgaris* et *M. spicata* de jouer leur rôle dans la conservation des produits alimentaires et des denrées stockées.

3.2.3. Indice d'acide et d'ester

Les valeurs d'indice acide obtenus sont 2,24 et 2,13 pour l'huile essentielle de la menthe (*M. spicata*) et le thym (*T. vulgaris*) respectivement durant la saison du printemps.

Nos résultats montrent que les deux huiles essentielles extraites durant le printemps contiennent plus d'acide libre que celle d'été et les deux autres saisons. L'indice d'acide de deux huiles printanières est élevé, dépasse même la norme (AFNOR, 2009) qui est de l'ordre de 2. Ceci peut être dû probablement à la force activité au métaboliques secondaires.

Nous constatons que les résultats d'indice d'acide obtenus pour les huiles essentielles de *M. spicata* et *T. vulgaris* de la période estivale sont conformes avec ceux des normes (AFNOR, 2009). Durant cette saison la valeur de l'indice d'acide de *M. spicata* et *T. vulgaris* respectivement est égale à 1,12 et 1,80. Ce qui montre que les huiles extraites en été sont plus pur et stable. Les résultats d'indice d'ester montrent que l'huile essentielle de *T. vulgaris* a un indice d'ester plus faible par rapport à l'huile essentielle de *M. spicata* durant les différentes saisons.

D'après nos résultats, le thym a un indice d'ester plus faible en été avec 16,83 et 65,1 au printemps. En revanche, l'huile essentielle de *M. spicata* a un indice plus élevé durant la période printanière avec une valeur de 123,42. Cet indice a diminué progressivement en été (112,2). En effet, nos résultats montrent que l'indice d'ester de *M. spicata* est supérieur à celui de *T. vulgaris*. Ceci peut être dû à la nature odorante des esters de la menthe verte.

3.3. Propriétés organoleptiques de *T. vulgaris* et *M. spicata*

Les caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles extraites sont présentées dans les tableaux (2 et 3). Nos résultats montrent que nos huiles essentielles ont un aspect mobile et liquide malgré la variation de l'espèce et la période de récolte. Généralement toutes les huiles essentielles extraites par la méthode d'hydro distillation ont un aspect mobile et liquide. Les huiles essentielles extraites durant la saison estivale se caractérisent par des odeurs aromatiques très fortes avec un fond épicé. Nous remarquons que les deux huiles essentielles ont une odeur forte, agréable, rafraichissante et aromatique.

La couleur des huiles essentielles se varie entre jaune foncé à jaune clair et à transparente pour les deux espèces cela est dû à la variation de la saison et la période de récolte. La couleur de l'huile essentielle de *Mentha spicata* et *Thymus vulgaris* est plus intense en été et au printemps et moins intense à transparente en hiver.

Tableau 2 : Les caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de *T. vulgaris* des différentes saisons

Huile essentielle	Saison	Aspect	Couleur	Odeur	Saveur
<i>T.vulgaris</i>	Automne	Liquide	Jaune orangé 	Forte et très aromatique	Rafraichissante
	Hiver	Liquide	Jaune 	Douce	Moins rafraichissante
	Printemps	Liquide	Jaune foncé 	Très agréable Aromatique	Rafraichissante
	Eté	Liquide	 Jaune orangé	Epicée Et agréable	Rafraichissante

Tableau 3 : Les caractéristiques organoleptiques de *M. spicata* des différentes saisons

Huile essentielle	Saison	Aspect	Couleur	Odeur	Saveur
<i>M.spicata</i>	Automne	Liquide	 Jaune	Agréable	Rafrichissante
	Hiver	Liquide	 Transparent	Douce	Moins rafraichissante
	Printemps	Liquide	 Jaune claire	Forte et mentholé	Rafrichissante
	Été	Liquide	 Jaune	Très Forte et agréable odeur	Rafrichissante

3.4. Variations de la composition chimique de *T. vulgaris* et *M. spicata* des différentes saisons

3.4.1. Variation de la composition chimique de l'huile essentielle extraite des feuilles de *T. vulgaris*

Les résultats des analyses de l'huile essentielle de *T. vulgaris* sont présentés sous forme de chromatogrammes. Le chromatogramme de l'huile essentielle de chaque saison comporte plusieurs pics (Annexes 2, 3, 4 et 5). La surface de l'aire de chaque pic représente le pourcentage du composé par rapport à la totalité des composés et le temps de rétention de chaque constituant. Il nous renseigne sur la nature du composé. Dans tous les chromatogrammes, le temps de rétention varie du composé à un autre selon sa nature.

L'analyse chromatographique de l'huile essentielle de *T. vulgaris* au cours de quatre périodes de récolte nous a permis d'identifier 27 composants en trois saisons représentant 96,64 % ; 89,6 % et 97,81 % de la composition chimique totale respectivement en automne, hiver et printemps. 28 composants en été avec un taux de 95,80 % de la composition totale.

D'après les résultats de la GC/MS, l'huile essentielle de *T. vulgaris* extraite est très riche en monoterpènes dont les monoterpènes hydrocarbonés sont plus représentés que les monoterpènes oxygénés. Le taux des sesquiterpènes est faible durant toutes les saisons étudiées et parfois absent. Les sesquiterpènes hydrocarbonés sont plus importants que celles des sesquiterpènes oxygénés. Les sesquiterpènes oxygénés sont nul aux différentes saisons sauf la saison d'été où il est représenté avec un taux de 3,42 % (Tableau 4).

Le pourcentage des composés non identifiés de *T. vulgaris* est très faible durant toutes les saisons notamment en été avec 7,44 % et presque similaire pour la saison d'automne et l'hiver respectivement avec un taux 10,18 % et 10,13 %.

Le composant majoritaire trouvé dans l'huile essentielle de *T. vulgaris* est le linalool avec 68,60 % en automne ; 65,04 % au printemps et 68,62% en été et l'absence de ce composant en hiver (0%). Le camphor est représenté avec un pourcentage de 9,93 en automne ; 11,82 % en hiver ; 9,2 % au printemps et 10,71% en été. Tandis que, le composant majoritaire en hiver est la carvone représentée avec un taux de 50,8 % et un taux de 0,34 % en automne ; 0,65 % au printemps et 0,38 % en été.

Le composant 1,8-cinéole est représenté avec un taux très faible de 0,1% en automne ; 0,52% au printemps ; 0,11 % en été et totalement absent en hiver (0%). Le α -thujène est représenté avec des pourcentages de 0,58 en automne ; 0,15 en hiver ; 0,43 au printemps et 0,23 en été. Le α -terpinéol est représenté avec des taux faibles durant les différentes saisons de récolte 0,44 % en automne ; 0,51 % en hiver ; 0,50 % au printemps et 0,49 % en été (Tableau 5).

Tableau 4 : Composition (%) en monoterpènes et les sesquiterpènes (%) de l'huile essentielle obtenus à partir des feuilles de *T. vulgaris* collectées au cours de quatre saisons.

	Constituants	Automne	Hiver	Printemps	Eté
N°	Monoterpènes hydrocarbonés	71,63	54,87	72,74	71,91
1	α -Pinene	-	0,29	0,34	0,15
2	Terpinene	1,26	1,16	3,81	1,28
3	camphene	0,17	0,61	0,51	0,17
4	β -Carene	-	0,17	-	-
5	b-ocymene	0,07	0,21	0,09	0,08
6	b-Phellandrene	-	-	0,05	-
7	b-Pinene	-	0,06	0,09	0,05
8	α -Terpinene	-	0,11	0,43	0,15
9	Limonène	0,28	0,76	0,26	0,32
10	terpinéol	0,08	-	0,22	0,09
11	Linalool	68,60	-	65,04	68,62
12	Carvone	0,34	50,8	0,65	0,38
13	b-bourbonene	-	0,27	0,06	-
14	α -Thujene	0,58	0,15	0,43	0,23
15	β -myrcene	0,25	0,28	0,45	0,27
16	Sabinene hydrate	-	-	-	0,12
	Monoterpènes Oxygénés	10,91	13,26	11,36	11,9
17	1,8-Cineole	0,1	-	0,52	0,11
18	Borneol	-	0,29	0,42	0,1
19	α -terpinéol	0,44	0,51	0,5	0,49
20	Carvacrol	0,44	0,51	0,5	0,49
21	α -Terpinolene	-	0,13	0,22	-
22	Camphor	9,93	11,82	9,2	10,71
	Sesquiterpènes hydrocarbonés	3,92	11,34	1,98	1,13
23	α -Humulene	-	0,5	-	0,15
24	Caryophellen	-	4,39	1,48	-
25	Caryophellene oxide	0,29	5,8	0,26	0,39
26	Gemacrene-D	0,45	0,37	0,17	0,46
27	χ -Cadinene	3,18	0,28	0,07	0,13
	Sesquiterpènes Oxygénés	-	-	-	3,42
28	β -caryophellene	-	-	-	3,42
	Autres composés	10,18	10,13	11,73	7,443
	Total	96,64	89,6	97,81	95,803

Tableau 5 : Principaux composés de l'huile essentielle de *T. vulgaris* (%) selon les saisons.

Constituants	Automne	Hiver	Printemps	Été
Linalool	68,60	-	65,04	68,62
Carvone	0,34	50,8	0,65	0,38
Camphor	9,93	11,82	9,2	10,71
1,8-cinéole	0,1	-	0,52	0,11
Limonène	0,28	0,72	0,26	0,32
Terpineol	0,08	-	0,22	0,09
Borneol	-	0,29	0,42	0,1
β -caryophyllene	-	-	-	3,42
Carvacrol	0,44	0,51	0,5	0,49
Autres composés	10,18	10,13	11,73	7,44
Total	96,64	89,6	97,81	95,80

3.4.2. Variations de la composition chimique de l'huile essentielle extraite à partir des feuilles de *M. spicata*

Les résultats de l'analyse de l'huile essentielle de *M. spicata* sont présentés sous forme de chromatogramme pour toutes les saisons (Annexes 6,7,8,9 et 10). Le chromatogramme de chaque saison comporte plusieurs pics : 26 pour la saison d'automne, 25 pour l'hiver, 30 pour la saison du printemps et 29 pour la saison d'été. Les deux saisons été et printemps comportent plus de composants par rapport à la saison d'hiver et l'automne.

Les premiers composés identifiés sont les monoterpènes, les secondes sont les sesquiterpènes. Dans les monoterpènes, nous avons les monoterpènes oxygénés sont plus présentés que les monoterpènes hydrocarbonés. Le taux des sesquiterpènes est faible au cours de quatre saisons. La fraction des sesquiterpènes hydrocarbonés est importante tandis que l'absence des sesquiterpènes oxygénés (Tableau 6).

Les pourcentages des composants non identifiés sont très faibles en été avec un taux 0,77 % et 3,62 % en automne. Un taux de 12,5% au printemps et 12,12% en hiver.

Le constituant majoritaire de *M. spicata* durant les quatre saisons est la carvone dont elle est bien présentée en automne (62,93%), en été (50,47%) et respectivement avec 46,91% et 45,19% en hiver et printemps.

Les monoterpènes hydrocarbonés sont plus importants durant la saison été (26,37%) et en automne (12,75%). Un faible taux est enregistré en hiver avec 6,27% et 7,82% au printemps.

Le composant de limonène est bien présenté en été avec un taux de 19,48%, en automne 9,52% et totalement absent en printemps et hiver (0%). Tandis que le composant carvacrol est nul en automne, printemps et été mais il est représenté avec un taux très faible en hiver (0,26%).

Le 1,8-cinéole est bien présenté en printemps et été respectivement avec 20,71 % et 22,15%, un taux très faible en hiver (4,21%) et nul en automne (0%). Pour le constituant Di hydrocarveol est nul durant l'automne, hiver et printemps avec un taux très faible en été (1,26%) (Tableau 7).

Tableau 6 : Composition (%) en monoterpènes et les sesquiterpènes (%) de l'huile essentielle obtenu à partir des feuilles de *M. spicata* collectées au cours de saison.

	Constituants	Automne	Hiver	Printemps	Été
N°	Monoterpenes hydrocarbonés	12,75	6,27	7,82	26,37
1	α -Pinene	0,14	0,81	0,86	0,86
2	Terpinene	-	0,73	0,83	0,56
3	Camphene	-	0,15	0,16	0,1
4	3- Carene	-	-	0,09	-
5	ocymene	0,86	0,67	0,71	0,55
6	Phellandrene	0,27	-	-	0,74
7	Pinene	0,39	1,34	1,38	1,33
8	α -Terpinene	0,18	0,39	0,45	0,34
9	Limonene	9,52	-	-	19,48
10	Bourbonene	1,39	0,53	1,2	1,32
11	α -Thujene	-	0,06	0,07	0,05
12	Thujene	-	0,9	0,88	-
13	β -Myrcene	-	0,69	0,73	0,75
14	Sabinene hydrate	-	-	0,19	-
15	Sabinene	-	-	-	0,08
16	Bornylacetate	-	-	0,27	0,21
	Monoterpènes Oxygénés	74,27	76,36	71,6	57,9
17	1,8-cineole	0	4,21	20,71	22,15
18	Borneol	0,25	0,14	0,31	-

19	α -Terpineol	0,95	1,35	0,79	1,13
20	Carvacrol	-	0,26	-	-
21	α -Terpinolene	0,15	0,2	0,23	0,19
22	Terpineol	0,86	2,26	-	-
23	Terpineol	1,38	1,99	3,35	2,11
24	Linalool	1,72	0,34	0,46	1,57
25	Carvone	62,93	46,91	45,19	50,47
26	Carveol	1,01	0,48	0,56	0,89
27	Pulegone	0,34	0,28	-	0,28
28	Borneol acetate	0,17	-	-	-
29	Thymol	0,3	-	-	-
30	Dihydro-carveol	-	-	-	1,26
	Sesquiterpènes hydrocarbonés	7,02	2,46	8,06	7,17
31	β -Elmene	0,67	0,37	0,73	0,71
32	β -Cubebene	0,14	1,74	3,03	0,3
33	Germacrene	3,52	-	-	0,13
34	α -Humulene	0,17	0,12	0,2	0,16
35	Spathulenol	0,22	-	0,24	-
36	Caryophellene	2,14	-	2,88	2,63
37	Caryophyllene oxide	0,16	0,23	0,26	0,17
38	Gemacrene-D	-	-	0,26	3,07
39	α -Muurolene	-	-	0,09	-
40	Bisabolene	-	-	0,37	-
	Autres composés	3,62	12,12	12,5	0,77
	Total	97,66	97,21	99,98	92,42

Tableau 7 : Principaux composés de l'huile essentielle de *M. spicata* (%) selon les saisons

Composés	Automne	Hiver	Printemps	Eté
1- Carvone	62,93	46,91	45,19	50,47
2- 1,8-Cinéole	-	4,21	20,71	22,15
3- Limonène	9,52	-	-	19,48
4- Carveol	1,01	0,48	0,46	0,89
5- α-terpineol	0,95	1,35	0,79	1,13
6-Terpineol	1,38	1,99	3,35	2,11
7-Borneol	0,25	0,14	0,31	-

8- Camphene	-	0,15	0,16	0,1
9- α -pinene	0,14	0,81	0,86	0,86

4. Discussion

4.1. Discussion des résultats de rendement, caractères organoleptiques et physicochimiques de *T. vulgaris* et *M. spicata*

La cinétique de rendement consiste à déterminer le rendement en fonction du temps d'extraction. La durée d'extraction est un paramètre important pour analyser l'intérêt du procédé d'extraction. Il fournit des informations sur la localisation de l'huile essentielle de la matière végétale. Ainsi les plantes dans lesquelles l'huile essentielle est située dans les glandes exogènes auront un temps d'extraction plus court tandis que les plantes dans lesquelles l'huile essentielle est située dans les glandes endogènes auront un temps d'extraction plus long.

D'après nos résultats, le rendement de l'huile essentielle de deux espèces *T. vulgaris* et *M. spicata* augment proportionnellement avec le temps pendant toutes les périodes (été, printemps, automne et hiver).

Tandis que le rendement en huile essentielle de *T. vulgaris* et *M. spicata* est très important respectivement au printemps, été et automne, ces résultats montrent que la variation des saisons et la période de récolte peuvent influencer sur le rendement de l'huile essentielle.

Djibo (2000) a rapporté que le rendement en huile essentielle est en fonction de la période de récolte et de l'organe de la plante. D'après les résultats obtenus, la durée nécessaire pour extraire le maximum d'huile essentielle de *T. vulgaris* et *M. spicata* est de 90 min. Nos plantes ont un temps d'extraction qui ne dépasse pas 2 h. Cela peut être dû à la localisation des huiles essentielles qui sont situés dans les glandes exogènes dans la matière végétale. Nos résultats sont concordés avec ceux trouvés par Benbouali (2006) qui a signalé que le rendement de l'huile essentielle de *T. vulgaris* est très important durant la première heure d'extraction et que la durée de 2 h est suffisante pour extraire le maximum de l'huile essentielle de *T. vulgaris*.

Le rendement en huile essentielle de *T. vulgaris* est plus important durant la saison du printemps avec un taux de 2,9 %. Nos résultats sont similaires à ceux de Chikhoun (2007). En revanche, Abu-Darwich et al. (2011) ont rapporté que l'huile essentielle de *T. vulgaris* possède un rendement très important en différentes périodes de récolte de $2,80 \pm 0,033\%$;

3,60 ± 0,033 % ; 3,90 ± 0,033% et 4,70 ± 0,208 % respectivement en 17 juin, 18 juillet ; 15 août et 16 septembre 2007.

Par ailleurs, Benayache (2013) a noté que l'huile essentielle de thym possède un rendement important de 1,2 %. Nos résultats sont nettement supérieurs à ceux d'El Oualilalami et *al.* (2013) qui ont noté que le rendement en huile essentielle de *T. vulgaris* est 0,5%. En effet, Borugã et *al.* (2014) ont montré que le rendement de l'huile essentielle de *T. vulgaris* est très important avec un taux de 1,25%. Par ailleurs, Nezhadali et *al.* (2014) ont constaté que l'huile essentielle des feuilles de *T. vulgaris* extraite par hydro distillation possède un rendement important varie de 0,83 à 1,39%.

Hassani et *al.* (2017) ont signalé que l'huile essentielle des feuilles de *T. vulgaris* possède un rendement important de 1,8%.

En revanche, Ismaili et *al.* (2017) ont signalé que le rendement de l'huile essentielle de *T. vulgaris* est égale à 0,65%. Gedikoğlu et *al.* (2019) ont rapporté que le rendement de l'huile essentielle de *T. vulgaris* extraite par la méthode d'hydro distillation est important avec un taux de 1,8 ± 0,14. Bouguerra (2019) a noté que l'huile essentielle de *T. vulgaris* possède un rendement considérable de 1,58%.

Les résultats obtenus sont inférieurs à ceux trouvés par Kerbouche (2010) qui a travaillé sur une autre espèce de thym (*Thymus pallezens*). Elle a signalé que le rendement de l'huile essentielle est très important avec un taux de 3,95%.

Les résultats montrent que le rendement de la menthe verte varie entre 0,8% à 1% respectivement pour les deux saisons été et printemps. Nos résultats sont similaires à ceux de Taleb-Toudert (2014) qui a noté le rendement de *Mentha spicata* est de l'ordre 0,79% durant l'été.

Likibi et *al.* (2015) ont montré que le rendement de l'huile essentielle des feuilles de la menthe extraite par hydro distillation est de 0,52 %.

Le rendement en huile essentielle pour certaines espèces de la famille des Lamiacées est maximal pendant la période de floraison alors que d'autres espèces de la même famille, la floraison a une faible influence sur le rendement en huile essentielle (Putievski et *al.*, 1986). En effet, nos résultats montrent que le rendement cumulé en huile essentielle est plus important durant la première phase avec un taux de 1,4% et la deuxième phase le rendement devient stable.

Nos résultats sont supérieurs à ceux de Sidali et *al.* (2014) qui ont signalé que le rendement de l'huile essentielle de *T. vulgaris* est de 0,6% durant la première partie d'extraction. Cette

différence est probablement attribuée à la différence de provenance de la matière végétale ainsi qu'à la période de récolte.

Les résultats obtenus montrent que les feuilles de *Thymus vulgaris* ont une capacité d'extraction plus importante, cela peut être dû aux plusieurs facteurs tels que l'espèce, facteurs climatiques et environnementaux, métabolisme des plantes, l'âge de la plante, la période de la cueillette et la zone géographique (Bennadja et al., 2013).

Les résultats des caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites sont variables au cours de saison de récolte. Ainsi la couleur de l'huile essentielle de *T. vulgaris* se varie de jaune orangé et jaune. En revanche, l'aspect de cette huile est liquide et mobile durant les différentes saisons. Nos résultats ont montré que l'huile essentielle de *T. vulgaris* a une odeur forte et aromatique durant toutes les saisons d'extraction.

Benbouali (2006) a signalé que la couleur de l'huile essentielle de *T. vulgaris* varie entre jaune pâle et jaune rougeâtre. Il a rapporté également que l'huile de *T. vulgaris* possède une odeur aromatique et agréable avec un aspect liquide. Nos résultats sont similaires avec ceux de Hassani et al. (2017) qui ont noté que l'huile essentielle de *T. vulgaris* a un aspect liquide, de couleur jaune orangé avec une odeur piquante et agréable. En effet, Deschepper (2017) a rapporté que l'odeur de l'huile essentielle de *T. vulgaris* est très forte et agréable.

Tandis que, nos résultats se rapprochent à ceux trouvés par Benayache (2013) qui a noté que l'huile essentielle de thym extraite par hydro distillation a une couleur rouge orangé avec un aspect liquide. L'huile essentielle de thym a une odeur forte et agréable parfumé de thymol.

Nos résultats se rapprochent également à ceux de par Bouguerra (2019) qui a montré que l'aspect de l'huile essentielle de *T. vulgaris* est liquide avec une saveur amère et chaude. Elle a signalé également que cette huile présente une odeur forte et agréable avec une couleur transparente. Par ailleurs, l'huile essentielle de *M. spicata* est de couleur variable en fonction de la saison de l'extraction, jaune en automne, transparent en hiver, jaune clair en période printanière et jaune foncé en été. Elle possède un aspect liquide au cours des saisons avec une odeur forte, aromatique et agréable.

Nos résultats concordent à ceux de Taleb-Toudert (2014) qui a noté que l'huile essentielle de *M. spicata* extraite par la méthode d'hydro distillation présente une couleur jaune pâle, clair, très fine avec un aspect liquide et une odeur agréable et rafraichissante.

Nos résultats sont similaires également à ceux de Taleb-Toudert (2014) qui a montré que le taux d'humidité de l'huile essentielle de *M. spicata* est de 27%.

Nos résultats sont nettement supérieurs à ceux trouvés par Boukhatem et *al.* (2010) qui ont démontré que l'indice d'acide inférieur à 2 est une preuve de bonne conservation de l'huile essentielle. En revanche, Les valeurs des indices d'ester indiquent que l'ensemble des huiles essentielles contiennent une quantité importante d'acide libre. Il est admis que plus l'indice d'acide et d'ester sont plus élevés plus l'huile essentielles est de bonne qualité (Hilan et *al.*, 2006). L'indice d'acide et d'ester trouver par Taleb-Toudert (2014) sont nettement élevés respectivement avec 3,366 et 420,75. Cela peut être dû à la différence de la provenance de la matière végétale et la méthode de conservation de l'huile essentielle.

Nos résultats sur la densité relative de l'huile essentielle de *M. spicata* se rapprochent à ceux trouvé par Paulin (2015) qui a signalé que les valeurs de la densité comprises entre 0,917 à 0,937. Nos résultats sont similaires à ceux de Gilly (2005) qui a noté que la densité relative de *M. spicata* est 0,919-0,933.

4.2. Discussion des résultats des analyses physicochimiques (CG/MS) de *Thymus vulgaris* et *Mentha spicata* au cours de saison

Les résultats de l'analyse chromatographique de deux espèces de Lamiacées ont montré que l'huile essentielle de *T. vulgaris* extraite au cours des saisons est riche en mono terpènes hydrocarbonés et pauvres en sesquiterpènes hydrocarbonés.

Chikhoun (2007) a rapporté que la fraction des monoterpènes prédomine avec un taux de 97,70%. Elle est constituée majoritairement des monoterpènes oxygénés avec un taux de 93,52%. De même, Soković et *al.* (2009) ont rapporté que les monoterpènes oxygénés constituent la partie majeure de l'huile essentielle extraite des feuilles de *T. vulgaris*.

D'après Sidali et *al.* (2014), l'huile essentielle de *T. vulgaris* du nord de l'Algérie est caractérisée par une très forte proportion de monoterpènes (97,64%) qui se rapproche à nos résultats avec un taux de 83% en été

Abu-Darwish et *al.* (2011) ont rapporté que l'huile essentielle de *T. vulgaris* est riche en monoterpènes hydrocarbonés. Les constituants majoritaires de *T. vulgaris* sont le carvacrol et le γ -terpinene.

Ed-Dra et *al.* (2021) rapportent que les monoterpènes hydrocarbonés (33,355%) et mono terpènes oxygènes (54,944%) constituent les majeures parties de l'huile essentielle des feuilles de *T. vulgaris*. Alvarenga et *al.* (2021) ont signalé que les monoterpènes dominant dans les différentes huiles essentielles des Lamiacées.

D'après nos résultats le composant majoritaire de *T. vulgaris* est le linalool extraite durant trois saisons été avec un taux de 68,62%, 65,04% au printemps et 68,60% en automne. Par contre en hiver le constituant principale est la carvone (50,8%).

Par ailleurs, Sokovic et al. (2009) ont montré que les composés de thymol avec 48,9 % et p-cymene (19,0%) sont les principaux constituants de l'huile essentielle de *T. vulgaris*. Kerbouche (2010) a noté que le carvacrol est le principal constituant de l'huile essentielle de thym avec un taux de 57,7% suivi par le γ -terpinene avec 13,4%.

Abdelli et al. (2017) ont rapporté que les composants dominants de l'huile essentielle extraite des feuilles de *T. vulgaris* sont le thymol et le carvacrol.

Borugâ et al. (2014) et Gedikoğlu et al. (2019) ont obtenu que les composants majoritaires de *T. vulgaris* sont le thymol, p-cymene et γ -terpinene.

Amri et al. (2014) ont obtenu que le 1,8-cinéole est le constituant principal de *Thymus* avec un taux de 47,5%. D'après Aissaoui et al. (2018), le constituant principal de thym est le carvacrol (55,59%).

De même, Aissaoui et El-Amrani (2018) ont trouvé que le carvacrol est le composé majeur de l'huile essentielle du thym avec un taux de 55,59 %. En revanche, Benabed et al. (2018) ont signalé que le γ -Terpinene avec un taux de 25,70 % est le composant majoritaire des feuilles de *T. vulgaris* prévenante de la région de Djelfa.

Bouguerra (2019) a signalé que le composé majoritaire de l'huile essentielle de *T. vulgaris* est le linalool avec 82,88% suivi par le thymol avec un taux de 4,42%.

Nos résultats sur les principaux composants de *T. vulgaris* sont similaires à ceux de Ayvaz et al. (2021) qui ont rapporté que les principaux composants de l'huile essentielle de *T. vulgaris* sont respectivement le carvacrol et linalool. En effet, nos résultats montrent qu'y a une variation de la composition chimique des huiles essentielles *T. vulgaris*. L'huile essentielle du thym est susceptible et présente de grandes variations qui sont principalement d'origine génétique et édapho climatiques. Elle dépend également de la saison de cueillette (Lebon, 2020).

Lebon (2020) a noté également que la saison peut avoir un impact sur la composition chimique de l'huile essentielle. Il a montré que celle du thym est riche en monoterpènes en hiver et en ester en été. En effet, l'huile essentielle de *M. spicata*, les monoterpènes oxygénés sont les plus présentés par rapport au sesquiterpènes hydrocarbonés.

Le principal constituant de l'huile essentielle *M. spicata* extraite au cours de différentes saisons est la carvone avec un taux de 62,93 % en automne ; 50,47% en été ; 46,91% en hiver avec un taux de 45,19 %. Le limonène est présenté avec un taux de 19,48% en été.

Nos résultats sont similaires à ceux de Soković et *al.* (2009) qui ont montré que l'huile essentielle extraite des feuilles de *M. spicata* est constitué majoritairement de carvone (49,5%). Chauhane et *al.* (2013) ont signalé également que le constituant majoritaire de *M. spicata* est la carvone avec 75,65% suivi par le limonène (22,31%) qui sont nettement similaires à nos résultats. En effet, le composant 1,8-cinéole est parmi les constituants principales de *M. spicata* durant deux saisons d'été (22,15%) et le printemps avec un taux de 20,71%. Alors qu'en automne nous avons enregistré l'absence totale de ce composant.

Par ailleurs, Brahmi et *al.* (2016) ont noté que la carvone est présentée majoritairement avec un taux de 48,5% ; le limonène avec 20,8% et 1,8-cineole (5,4%) dans l'huile essentielle de *M. spicata* de la région de Bejaia (Algérie).

Alvarenga et *al.* (2021) ont montré l'effet de la variation de saison sur la composition chimique des différentes huiles essentielles extraites de différentes espèces de la menthe. Ils ont noté également que l'espèce *M. piperita* est riche en menthol durant la saison d'été et que le composant 1,8-cinéole est le principal constituant durant les saisons (printemps et été) ainsi qu'est présenté en automne et hiver respectivement avec 8,90 % et 8,56 %.

D'autres auteurs ont montré que la variation de la composition chimique de différentes huiles essentielles est due à plusieurs facteurs.

D'après Regnault-Roger (2008), la composition chimique des huiles essentielles est très variable. Plusieurs facteurs influencent sur leur profil photochimique tels que génétiques, physiologiques, pédologiques, climatiques et analytiques.

Selon Kamatou et *al.* (2008), les huiles essentielles extraites aux différentes saisons (*S. africana-caerulea*, *S. africana-lutea* et *S. lanceolata*) ont une variation de la composition chimique surtout en composants majoritaires.

Toujours d'après Kamatou et *al.* (2008), la variation de la saison de récolte a un effet important sur la composition chimique de l'huile essentielle. Mediouni et *al.* (2012) ont signalé qu'il existe une variation de la composition chimique de l'huile essentielle d'*Eucalyptus camaldulensis* entre les deux saisons été et hiver. Ils ont signalé également que le 1,8-cineole (20,62%) est le composant majoritaire en hiver alors qu'en été l'O-cymène est dominant avec 18,12%. D'après Aouadi et *al.* (2020), l'espèce du genre de la menthe est riche en 1,8-cineole (36,82%) en été. Pandir et Baš (2016) ont signalé que le composant majoritaire de *Mentha piperita* est le menthol (28,26%). En revanche, Boukhatem et *al.* (2019) ont montré que le climat, le sol et la période de récolte peuvent avoir une influence directe sur la composition chimique de l'huile essentielle distillée.

La polyphagie de la pyrale des dattes et la pyrale indienne et leur large répartition dans l'espace et sur des hôtes variés rendent difficiles la mise au point d'une lutte chimique efficace. Cependant la lutte biologique peut être capable de limiter les dégâts de ces ravageurs, mais il nécessite une très bonne connaissance de ces déprédateurs. En effet, il est fondamental d'avoir une bonne connaissance du cycle de développement des insectes étudiés pour adopter une stratégie de lutte très efficace.

Dans ce contexte, ce chapitre a pour objectif d'approfondir les connaissances sur le cycle de développement des espèces *E. ceratoniae* et *P. interpunctella* tels que le développement larvaire sur le fruit de dattes et la durée totale de leurs cycle biologique (dès l'éclosion des œufs jusqu' à l'émergence de l'imago) dans les conditions de laboratoire d'entomologie appliquée.

1. Matériels et méthodes

1.1. Matériels biologiques

Les espèces étudiées sont la pyrale des dattes *E. ceratoniae* et la pyrale indienne *P. interpunctella* obtenus à partir des souches provenant des palmeraies de la région de Tolga (Biskra) après la récolte des dattes infestées. Elles sont entretenues par des élevages de masse au niveau du laboratoire d'entomologie appliquée du département de Biologie de l'université de Tizi Ouzou. Les dattes saines de la variété Deglet-Nour ont été utilisées pour l'élevage de masse et proviennent de la palmeraie de Tolga (Biskra). Elles ne sont pas traitées par des insecticides ou d'autre composés chimiques.

2. Méthodes

2.1. Elevage de masse des espèces

Il consiste à mettre en contact les deux pyrales mâles et femelles avec des dattes saines dans des bocaux en verre (1L). Ces derniers sont placés dans une étuve réglé aux conditions favorables à leur développement ($30 \pm 1^\circ\text{C}$ de température et $70 \pm 5\%$ d'humidité relative). Ces élevages nous a permis de fournir un nombre suffisant des larves. Ces derniers seront d'un part utilisé à l'étude de cycles évolutifs et d'autres part aux différents tests bio insecticides.

2.2. Etude du cycle de développement de la pyrale des dattes *E. ceratoniae* dans les conditions de laboratoire

Nous avons infesté des dattes saines par des œufs d'*E. ceratoniae*. Nous avons introduit 1 œuf dans chaque flacon (en plastique de 3,5 cm de largeur et 6,5 cm de diamètre) en présence des petits morceaux de dattes saine (3g). Les flacons sont placés à l'intérieure d'une étuve ($30 \pm 1^\circ\text{C}$ de température et $70 \pm 5\%$ de l'humidité relative).

A l'aide d'une loupe binoculaire et grâce à des observations régulières d'une période donnée, nous avons suivi le cycle à partir de l'œuf jusqu'à l'émergence des adultes (imago) et nous avons déterminé la durée d'incubation des œufs, la durée des différents stades larvaires et la nymphose. L'incubation des œufs se fait sur l'épicarpe de fruit de datte sous forme des amas de couleurs transparentes. Les différents stades larvaires se déroulent à l'intérieure de dattes.

2.3. Etude du cycle de développement de la pyrale *P. interpunctella* dans les conditions de laboratoire

Pour l'étude du cycle de développement de la pyrale indienne *P. interpunctella*, nous avons 100 œufs placés dans des flacons en plastique contenant 3 g des dattes (couper en morceau). Ces flacons sont placés dans l'étuve réglée aux conditions de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ de températures et $70 \pm 5\%$ de l'humidité relative.

Le cycle a été suivi quotidiennement à partir de l'incubation des œufs jusqu'à l'émergence des adultes. Le passage d'un stade à un autre est marqué par la présence des exuvies. Cet insecte a besoin de réaliser des mues pour se développer. Le détachement de la cuticule donne de nouveaux tissus épidermiques. A l'aide d'une loupe binoculaire, nous avons déterminé la durée d'incubation des œufs, la durée pour chaque stade larvaire et le stade nymphal jusqu'à la sortie d'un adulte. Afin de pouvoir étudier le cycle biologique de cette pyrale d'une manière rigoureuse, le développement de la chenille isolée a été suivi jour après jour.

La taille de la chenille est un critère important pour déterminer les différents stades larvaires. Au cinquième stade (le dernier stade larvaire) les chenilles ont atteint leur croissance maximale (16 à 18 mm de long).

3. Résultats

3.1. Le cycle de développement de la pyrale de dattes *E. ceratoniae*

Le suivi du cycle de développement de la pyrale de dattes nous a permis de distinguer quatre stades de développement distinct à savoir l'œuf, la chrysalide, la nymphe et l'imago. Les œufs transparents et lisses sont pondus par les femelles sur l'épicarpe de fruit de dattes. Ils sont regroupés en amas ou bien sur les parois des bocal. La fin du développement embryonnaire, la larve du premier stade apparaissent avec une couleur transparente. Elle est pourvue de trois paires de pattes thoracique très fines. Elle se déplace à la périphérie du support pour chercher la nourriture (Fig.34). Après 3 à 4 jours, elle mue et se transforme en une larve de couleur rose clair. Elle possède une tête de couleur marron foncé avec des pattes plus grandes. Les stades larvaires L1 et L2 peuvent atteindre environ 5 mm de long. Elles sont transparentes à rose claire. Les larves du troisième stade L3 de couleur rose clair, elles possèdent trois paires de pattes fines, des poils de couleur marron clair moyens sur le corps. Elles peuvent atteindre jusqu'à 13 mm de long. La larve du quatrième stade L4 et le dernier stade larvaire L5 sont semblable à celle du troisième stade. Son corps est de couleur rose foncé. Elle possède une tête marron foncé avec des poils plus grands. Le dernier stade larvaire L5 peut atteindre jusqu'à 18 mm de long avec des poils qui recouvrent tous le corps de la larve. La nymphe est morphologiquement différente des larves, elle est de couleur brune foncé et lisse.



Figure 34 : Larve du premier stade d'*Ectomyelois ceratoniae* (Originale, 2019).

Les résultats ont montré que la pyrale des dattes *E. ceratoniae* passe par 5 stades larvaires au cours de son cycle sur la datte. L'incubation des œufs dure environ en moyenne $4,75 \pm 0,46$ jours. La durée totale du développement larvaire est de $28,77 \pm 2,52$ jours. Une fois la croissance larvaire est terminée, les larves muent en nymphose et la durée de la nymphose est de $7,93 \pm 0,25$ jours. La durée totale du cycle de développement de l'œuf à l'adulte est en moyenne de $41,47 \pm 3,23$ jours sur les fruits de dattes de la variété Deglet-Nour (Tableau 8).

Les résultats obtenus pour les différents stades du cycle de développement d'*E. ceratoniae* sont présentés dans la figure 35.

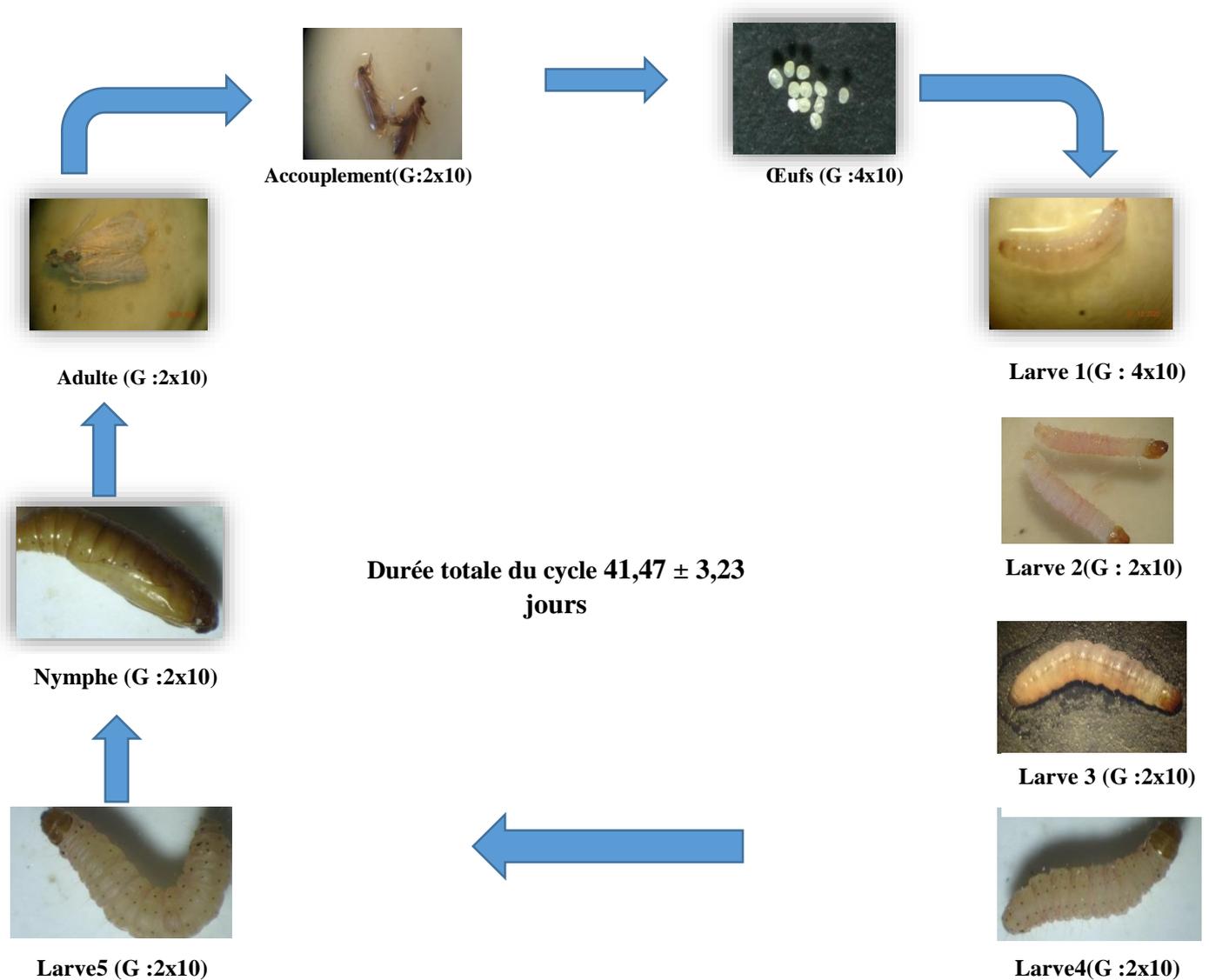


Figure 35 : Cycle de développement d'*Ectomyelois ceratoniae* sur les dattes (Deglet -Nour) à $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et $70\% \pm 5\%$ d'humidité relative (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).

Tableau 8 : Durée de chaque stade du cycle de vie d'*E. ceratoniae* sur les dattes (Deglet-Nour).

Développement larvaire	Durée (jours)
Incubation	4,75 ± 0,46
Larve1	5,25 ± 0,50
Larve2	6,23 ± 0,6
Larve3	4,04 ± 0,42
Larve4	5,92 ± 0,5
Larve5	7,33 ± 0,5
Nymphose	7,93 ± 0,25
Total	41.47 ± 3,23

4.2. Le cycle de développement de la pyrale *P. interpunctella*

Le suivi du cycle de développement de la pyrale indienne nous a permis de distinguer quatre stades de développement à savoir l'œuf, la chrysalide, la nymphe et l'adulte.

Les œufs blancs sont pondus par les femelles sur l'épicarpe de dattes ou sur les parois des bocal contenant le fruit. La larve du premier stade est de couleur blanc clair observé à l'aide d'une loupe binoculaire avec des taches marrons sur le thorax (3 mm de long). La larve du deuxième stade est pourvue de trois paires de pattes trop fines sur la partie thoracique. Elle possède des tâches marrons sur les segments abdominaux ce qui permet de distinguer le sexe de l'insecte. La larve du deuxième stade est de couleur blanche teinté de rose et parfois vert clair selon l'alimentation, peut atteindre jusqu'à 6 mm de long.

Les larves du quatrième stade et cinquième stade sont semblables à celle du troisième stade mais leur taille et leur poids sont plus importants. La larve du dernier stade L5 peut atteindre 16 mm jusqu'à 17 mm de long avec une couleur vert foncé.

Les résultats montrent que *P. interpunctella* passe par 5 stades larvaires au cours de son cycle sur le fruit des dattes. L'incubation des œufs dure environ en moyenne $5,28 \pm 0,75$ jours. La durée totale du développement larvaire est de $23,72 \pm 4,81$ jours. Les larves muent en nymphose et la durée de la nymphose est de $7,41 \pm 0,60$ jours. La durée totale du cycle de développement, de l'œuf à l'adulte est en moyenne de $36,5 \pm 4,81$ jours sur les dattes à une température de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $70 \pm 5\%$ (Fig.36). La nymphe de couleur clair au départ puis se pigmente pour se rapprocher de la morphologie de l'adulte et de couleur plus foncé à celle des premiers jours, la nymphose dure 7 à 8 jours et aboutit à des imagos d'où l'émergence des adultes. Généralement, la nymphe des mâles est plus petite par rapport à celles des femelles.

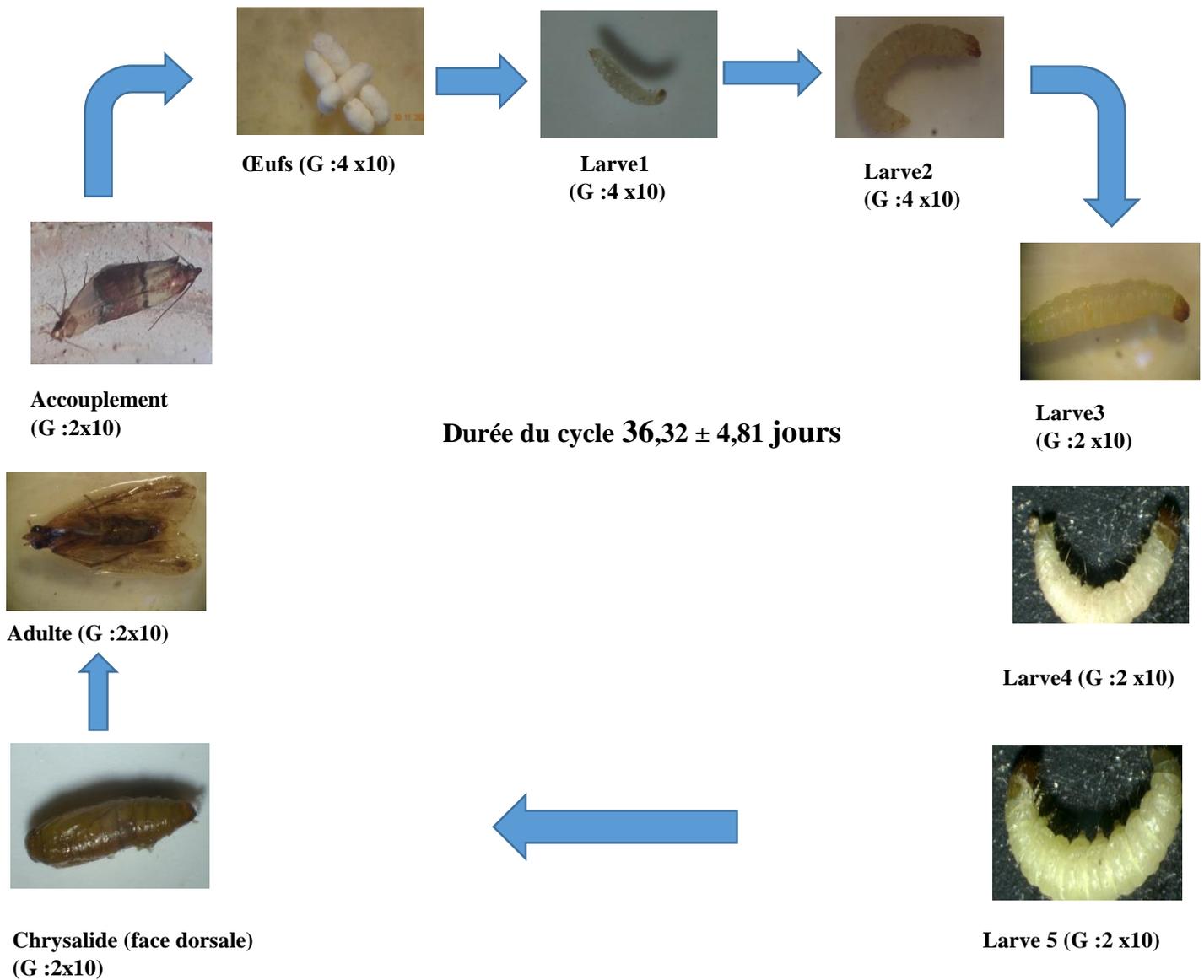


Figure 36 : Cycle de développement de *Plodia interpunctella* sur la datte à une température de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et $70 \pm 5\%$ de l'humidité relative (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).

Les résultats obtenus pour la durée de chaque stade du cycle de développement de *P. interpunctella* sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Durée de chaque stade du cycle développement de *P. interpunctella* sur les dattes.

Développement larvaire	Durée (Jours)
Incubation	5,28 ± 0,75
Larve1	6,57 ± 0,76
Larve2	3,32 ± 0,69
Larve3	4,23 ± 0,66
Larve4	4,92 ± 0,66
Larve5	4,68 ± 0,69
Nymphose	7,41 ± 0,60
Total	36,32 ± 4,81

5. Discussion

Les résultats que nous avons obtenus sur le suivi du cycle de développement de deux espèces des pyrales d'*E. ceratoniae* et *P. interpunctella* sont similaires à ceux obtenus par des auteurs ayant travaillé sur l'étude du cycle biologique de deux pyrales des dattes.

Nos résultats montrent que la durée du cycle de développement de la pyrale de dattes sur les dattes de la variété Deglet-Nour est de moyenne $41,45 \pm 3,23$ jours et la durée d'incubation des œufs est de l'ordre $4,75 \pm 0,46$. Doumandji (1981) a montré que la période nécessaire pour qu'un individu arrive au terme de son développement varie entre 34 et 61 jours. Le plus fréquemment est entre 40 et 45 jours pour le cycle entier de l'œuf à l'adulte.

La durée totale du cycle de développement de la pyrale des dattes se rapprochent de celle de Dhouibi (1989) qui a montré que la durée de développement est de 46,6 jours sur pistaches et de 44,7 jours sur les dattes à une température de 27°C et un taux d'humidité relative de 70 % HR. D'après Doumandji (1981), la durée du cycle de développement est en relation directe avec la plante hôte, le degré de maturité de fruit et la saison.

D'après Bensalah et al. (2015), la durée totale du cycle de développement d'*E. ceratoniae* dans les conditions contrôlées est de $52,55 \pm 3,43$ jours pour le mâle et de $54,68 \pm 3,58$ jours pour la femelle répartie en quatre phases. L'incubation des œufs dure $3,56 \pm 0,74$ jours.

Toujours d'après Doumandji (1981), le développement larvaire optimal est obtenu à 30 °C et une humidité de 70 %. En effet, Hadjeb (2012) a trouvé que la durée larvaire de la pyrale est de 27,84 jours. Dans notre cas la durée larvaire est de $28,77 \pm 2,52$ jours. Norouzi et al.

(2008) ont signalé que la durée du cycle biologique d'*E. ceratoniae* sur les dattes est de $89,55 \pm 1,48$ jours. La durée de développement larvaire est de $72,9 \pm 1,194$ jours et une durée de nymphose de $7,23 \pm 0,091$ jours. De même, ils ont rapporté que les variations de la durée du cycle de développement de la pyrale de dattes *E. ceratoniae* varie en fonction des plantes hôtes. Ils ont signalé également que la durée du cycle est plus longue sur les figues avec $57,83 \pm 1,19$ et les dattes avec $89,55 \pm 1,48$ jours.

Wertheimer (1958) a signalé que la durée d'incubation des œufs varie de 3 à 7 jours selon la température. Il a noté que plus la température est faible plus la durée de développement est élevée et que la durée d'incubation des œufs est de trois à quatre jours au printemps.

Selon Lepigre (1963), les œufs de la pyrale de dattes éclosent après trois à quatre jours de la ponte. Il a montré également que la durée de la nymphose a été indéterminé et variable selon les conditions de température et qui peut durer plus de 8 mois.

Doumandji (1979) a constaté que la ponte chez la pyrale de dattes varie en fonction des conditions de température et aux endroits sur lequel les femelles pondent leurs œufs.

La durée d'incubation des œufs de la pyrale des dattes est de $4,75 \pm 0,46$ qui est similaire aux travaux de Hadjeb (2012). D'après cet auteur, la durée d'incubation des œufs est de $3,88 \pm 0,33$ jours. Il a signalé également que la durée de la nymphose est de $6,28 \pm 1,95$ jours.

Nos résultats sur la durée de chaque stade larvaire de la pyrale sur la variété Deglet-Nour sont similaires à ceux de Hadjeb (2012) qui a constaté que la durée du premier stade est de $6,28 \pm 0,46$ jours ; le deuxième stade est de $6,04 \pm 0,26$ jours ; le troisième stade ($5,04 \pm 0,73$ jours) ; le quatrième stade est de $4,08 \pm 1,04$ jours et $6,4 \pm 2,42$ jours pour le dernier stade. Dans notre cas la durée du premier stade est de $5,25 \pm 0,50$ jours ; le deuxième stade est de $6,23 \pm 0,6$ jours et $4,04 \pm 0,42$; $5,92 \pm 0,5$ et $7,33 \pm 0,5$ jours respectivement pour les stades le troisième, le quatrième et le cinquième stade.

Nos résultats sur le nombre de stade larvaire de la pyrale sur les dattes de la variété de Deglet-Nour concordent à ceux de Bensalah et *al.* (2015) qui ont rapporté que la phase larvaire de la pyrale de dattes est répartie en cinq stades larvaires L1 : $6,25 \pm 1,03$ jours, L2 : $6,45 \pm 0,90$ jours, L3 : $6,68 \pm 1,02$ jours, L4 : $6,98 \pm 1,00$ jours, L5 : $8,78 \pm 2,21$ jours. La phase chrysalide est de $9,93 \pm 1,58$ jours.

Cependant, nos résultats sur les durées de chaque stade de développement d'*E. ceratoniae* sont nettement inférieurs aux résultats trouvés par Refrafi (2011) qui a montré que la durée du

dernier stade L5 est plus longue avec $10,45 \pm 1,9$ jours et une durée de $7,1 \pm 1,12$ jour pour le quatrième stade. Il a noté également que la durée du stade de chrysalide est de $10,25 \pm 2,31$ jours. Dans notre cas, la durée du cinquième stade est $7,33 \pm 0,5$ jours et $5,92 \pm 0,5$ jours pour le quatrième stade et une durée de $7,93 \pm 0,25$ jours pour le stade nymphal.

Mortazavi et al. (2016) ont signalé que la durée du premier stade est de $6,90 \pm 0,12$; le deuxième stade est de $6,61 \pm 0,01$; le troisième stade est de $4,37 \pm 0,04$ jours. Une durée de $5,61 \pm 0,09$ jours pour le quatrième stade larvaire et $7,58 \pm 0,02$ jour pour le dernier stade. Ils ont noté également que la durée de la nymphose est de $8,09 \pm 0,06$ jours.

Nos résultats sont concordés à ceux trouvés par Gothilf (1969) ; Dhouibi (1989) et Bensalah et al. (2015) qui ont rapporté que le développement larvaire se déroule en cinq stades.

Ahmadi et al. (2015) ont montré que la durée de développement larvaire est fonction de la saison et de la température. Il a noté ainsi que le nombre des chenilles est plus élevé en mois de mars (saison du printemps).

Nos résultats se rapprochent à ceux trouvés par Mbata et al. (1983) qui ont signalé que la durée du cycle de développement de *P. interpunctella* est variable en fonction de la température et de l'humidité relative avec 34,6 jours à une température de 30°C et de 50,9 jours à une température de 25°C. Mohandas et al. (2007) ont constaté que la durée du cycle de développement et la biologie de *P. interpunctella* dépend de plusieurs facteurs tels que la température, l'environnement et la nature de nutriment. Par ailleurs, Mbata (2012) a noté que les facteurs : la température et l'humidité ont un effet direct sur le développement de *P. interpunctella*. Il a montré également qu'une température de 30°C et une humidité de 80% sont les meilleures conditions de la ponte chez les femelles de *P. interpunctella* (315,3 œufs).

La pyrale de dattes passe par cinq stades larvaires. La distinction entre les stades est basée essentiellement sur la taille de la capsule céphalique, le poids, la taille du corps et le nombre de crochet (Dhouibi, 1991).

Gothilf (1970) a signalé que la durée d'incubation des œufs est de 3 jours à 30°C. Il a noté que la durée d'incubation est en fonction de la température et de la plante hôte. La durée totale du cycle de développement est de 32 jours à une température de 25°C.

L'incubation des œufs est de 4 à 7 jours, le développement larvaire dure $29,5 \pm 0,8$ jours et la nymphose dure environ $4,5 \pm 0,4$ jours. En effet, Mbata (1986) a rapporté que la température et l'humidité ont aussi un effet significatif sur l'accouplement et la ponte chez les femelles de

P. interpunctella. Il a signalé que l'accouplement est important à une température de 20 à 30°C. Nos résultats sur la durée d'incubation des œufs de *P. interpunctella* sont similaires à ceux de Richard (2006). Ce dernier a montré que la durée d'incubation des œufs est de $5,0 \pm 0,02$ et $3,5 \pm 0,05$ jours respectivement aux températures de 25 à 30°C.

La moyenne de la ponte chez les femelles de *P. interpunctella* est de 100 à 150 œufs dans les conditions favorables et l'incubation des œufs est de 3 à 4 jours. Ils ont signalé que le cycle de développement de *P. interpunctella* comprend cinq stades larvaires (Kishan et al., 2016).

L'objectif de ce chapitre est de chercher une lutte alternative aux insecticides chimiques par l'utilisation des huiles essentielles des plantes aromatiques appartenant à la famille des Lamiacées (extraites en différentes périodes). L'évaluation de la toxicité de ces huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* a été réalisé par fumigation contre le troisième stade de développement de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella*. Des tests par contact ont été effectués contre le premier et le troisième stade d'*E. ceratoniae* et *P. interpunctella* dans les conditions de laboratoire d'entomologie appliquée.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel animal

Les trois pyrales *E. ceratoniae*, *P. interpunctella* et *E. kuehniella* utilisées durant tous nos tests proviennent des élevages de masse réalisés au laboratoire d'entomologie appliquée (dans une étuve obscure où règnent les conditions de températures de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et l'humidité relative de $70 \pm 5\%$). Les larves des pyrales sont introduites dans des bocaux en verre contenant des dattes non traitées. Deux stades larvaires (le premier et le troisième) sont utilisés dans les différents tests (Fig.37). Les dattes sont utilisées comme une nourriture pour les larves et proviennent des palmeraies de Tolga de la wilaya du Biskra. Elles sont saines et ne sont pas traitées par des insecticides ou d'autres produits chimiques.



Figure 37 : Larves des pyrales de dattes (Originale, 2019).

1.2. Tests bio insecticides

Dans des bocaux en verre de 12,5 cm de hauteur et 9 cm de diamètre sont introduit 10 larves de chacune d'espèces étudiée *E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*. Dix dattes traitées avec chacune des huiles essentielles pures de thym et de la menthe verte extraite à différentes saisons avec les différentes doses (4, 8,12 et 16 $\mu\text{l/L}$). L'évaluation de

l'activité bio insecticide de ces substances naturelles a été réalisée avec trois répétitions pour chaque dose et le témoin (sans traitement) par inhalation et contact.

1.2.1. Traitement par inhalation avec les huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata* à l'égard des larves de *P. interpunctella*, *E. kuehniella* et *E. ceratoniae*

Ce test consiste à évaluer l'effet des huiles essentielles par fumigation sur la durée de vie des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*. Dans des bocaux en verre (1L de capacité), des papiers filtres sont fixés par un fil au centre des couvercles (Fig.38). Les doses des huiles essentielles ont été choisies après avoir réalisé des tests préliminaires, quatre doses ont été choisies selon une progression arithmétique.



Figure 38 : Test d'inhalation (Originale, 2019).

Les différentes doses des huiles essentielles utilisées sont : 4, 8, 12 et 16 $\mu\text{l/L}$ et un témoin (sans traitement) n'ayant pas reçu d'huile essentielle. Dix larves de chaque espèce d'insecte sont introduites dans des bocaux bien fermés (Fig.39). Trois répétitions ont été effectuées pour chaque dose et pour le témoin. Le dénombrement des larves mortes a été effectué au bout de 7, 15 et 30 jours pour chaque dose et pour chaque huile essentielle.



Figure 39 : Tests d'inhalation effectués sur les larves traitées par différentes doses d'huile essentielle (Laboratoire d'entomologie appliquée, 2019).

Nous avons testé deux huiles essentielles (*T. vulgaris* et *M. spicata*) extraites à différents saisons sur les larves d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*. Une dose d'huile essentielle est déposée sur un petit morceau de papier filtre de forme triangulaire suspendu un à un à un fil fixé à la face interne du bocal qui sera ensuite fermé. Après 7 jours, 15 jours et 30 jours du lancement des tests, nous avons procédé au dénombrement des larves (mortes ou vivantes). Le taux de mortalité a été observé pour les larves du troisième stade (test d'inhalation). Ce taux a été corrigé, en tenant compte des mortalités naturelles observées dans le témoin en utilisant la formule de correction d'Abbott (Abbott, 1925).

$$MC\% = (M_0 - M_t / 100 - M_t) \times 100$$

Avec :

M_0 : le pourcentage de mortalité observée chez les individus traités.

M_t : le pourcentage de mortalité observée dans le témoin.

M_c : le pourcentage de mortalité corrigée

1.2.2. Traitement par contact sur le premier et le troisième stade larvaire de deux espèces de *P. interpunctella* et *E. ceratoniae*

Dans des bocaux d'un litre de volume nous avons introduit 10 dattes saines traitées chacune des huiles essentielles de *M. spicata* et *T. vulgaris* à différentes doses 4 μ l, 8 μ l, 12 μ l et 16 μ l /L (Fig.40). Dans chaque série des bocaux, nous avons introduit 10 larves de chaque espèce *E. ceratoniae* et *P. interpunctella*. L'évaluation de l'activité bio insecticide de ces huiles essentielles a été réalisée avec trois répétitions pour chaque dose et de même pour le témoin. Le taux de mortalité des larves de deux espèces sur les dattes a été effectuées au bout de 1, 3, 5 et 7 jours (24 h, 72 h, 120 h et 168 h). Nous avons dénombré les larves mortes dans chaque bocal à différentes doses d'huiles essentielles testées et à différentes durées d'expositions.



Figure 40 : Test par contact sur les larves d'*E. ceratoniae* et *P. interpunctella* sur les dattes (Originale, 2020).

1.3. Analyses statistiques

Les résultats de nos essais et expériences ont été soumis au test d'analyse de la variance ANOVA à plusieurs facteurs, suivi par le test de Tukey à 5%. Nous avons utilisé le logiciel MINITAB version 19. Les mortalités corrigées sont soumises à une analyse de la variance en utilisant le logiciel MINITAB version 19.

2. Résultats

2.1. Tests de toxicité par fumigation de *T. vulgaris* et *M. spicata* (saison d'été) à l'égard des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*

D'après les résultats obtenus (Fig.41 ,42 ,43 et 44), les deux huiles essentielles testées ont montré un effet insecticide très important sur les larves du troisième stade de trois pyrales respectivement *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* et *P. interpunctella*. Nous avons obtenu 100 % de mortalité à la plus faible dose utilisé 4 μ l/L après 1 mois d'exposition avec l'huile essentielle de *T. vulgaris* pour *E. ceratoniae* et *P. interpunctella*.

Après 15 jours d'exposition et avec l'huile essentielle de la menthe verte et le thym, le taux de mortalité est de l'ordre de 100% à la dose de 8 μ l/L.

Pour *E. kuehniella*, nous avons enregistré 100 % de mortalité à différents temps d'exposition (une semaine, 15 jours et un mois) avec l'huile essentielle de *T. vulgaris* et *M. spicata* à partir de la dose 8 μ l/L. Nous avons enregistré 100 % de mortalité pour les larves du troisième stade de trois espèces à la dose de 4 μ l/L après un mois d'exposition avec l'huile essentielle de *M. spicata*.

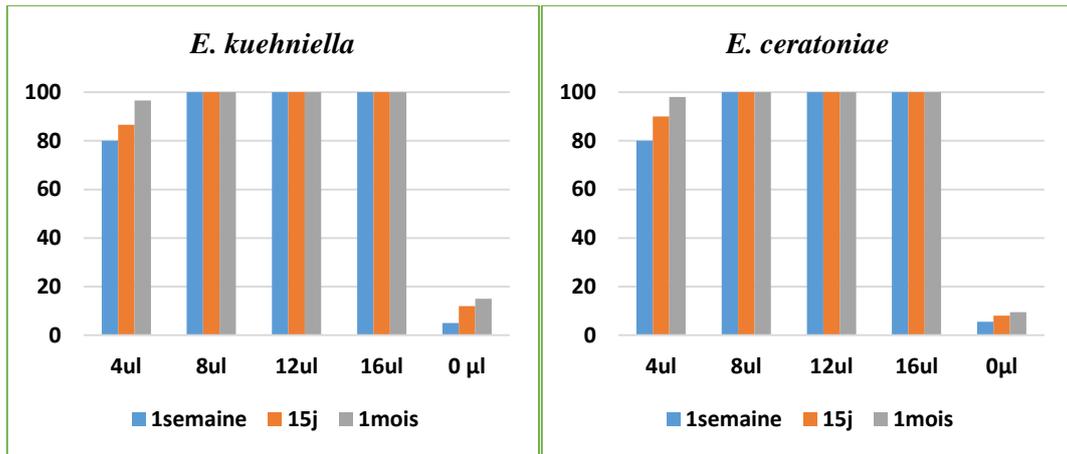


Figure 41 : Taux de mortalité corrigée des larves de deux pyrales traitées par fumigation avec l’huile essentielle de *Thymus vulgaris* (été).

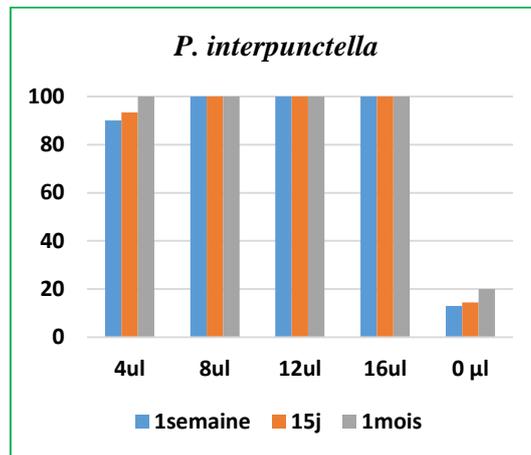


Figure 42 : Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l’huile essentielle de *Thymus vulgaris* (été).

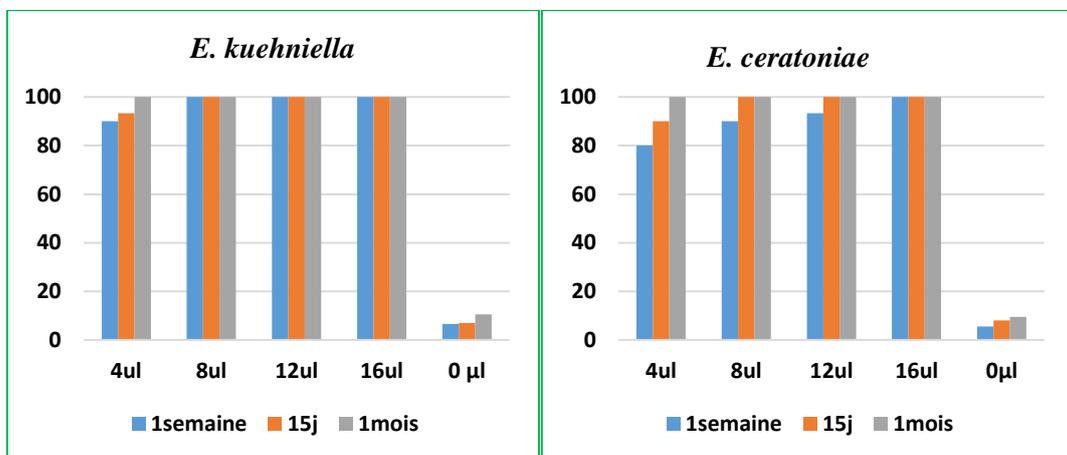


Figure 43 : Taux de mortalité corrigée des larves de deux pyrales traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *Mentha spicata* (été).

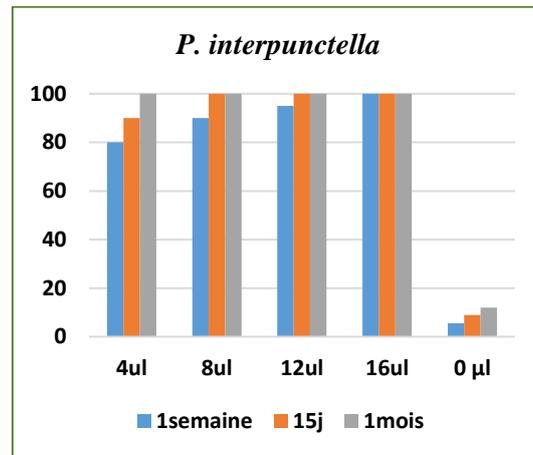


Figure 44 : Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *Mentha spicata* (été).

L'analyse de la variance à 4 critères de classification des résultats ont montré un effet très hautement significatif pour les facteurs : dose ($F= 44,02$; $P = 0,000$; $DDL = 3$), temps ($F = 66,26$; $P = 0,000$; $DL=2$), huile essentielle ($F= 54,07$; $P= 0,000$, $DL= 1$). Un effet significatif a été constaté pour le facteur insecte ($F= 5,39$; $P= 0,005$; $DL=2$). De même, un effet hautement significatif entre les facteurs : huile essentielle x insecte ($F= 24,32$; $P= 0,000$; $DL= 2$) et dose x huile essentielle x temps x insectes ($F= 25,08$; $P= 0,000$, $DL=6$).

Par ailleurs, le test de Tukey a classé les doses en 3 groupes homogènes, la dose la plus élevée est classée dans le groupe A. Le test de Tukey au seuil de signification de 5%, classe les deux huiles essentielles par ordre de toxicité à l'égard des larves du troisième stade de trois espèces dans 3 groupes homogènes (Tableau 10). L'huile essentielle de thym est plus toxique respectivement à l'égard des larves de *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* et *P. interpunctella*.

Tableau 10 : Résultats du test de Tukey concernant l'efficacité de 2 huiles essentielles extraite en été à l'égard des larves du troisième stade de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella*

Traitement x insecte	Moyennes	Groupes homogènes		
<i>T.vulgaris</i> x <i>E. kuehniella</i>	96,5556	A		
<i>T.vulgaris</i> x <i>E. ceratoniae</i>	96,2667	A		
<i>T.vulgaris</i> x <i>P.interpunctella</i>	95,5333	A		
<i>M.spicata</i> x <i>E. kuehniella</i>	94,3167	A	B	

<i>M.spicata</i> x <i>E. ceratoniae</i>	91,0000		B	C
<i>M.spicata</i> x <i>P.interpunctella</i>	87,7083			C

2.2. Tests de toxicité par fumigation de *T. vulgaris* et *M. spicata* (extraite en automne) à l'égard des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*

D'après les résultats obtenus (figure 45, 46, 47 et 48), l'huile essentielle de thym a provoqué 100 % de mortalité chez les larves d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella* aux différentes doses 8, 12 et 16 μL après un mois d'exposition. Cependant à la plus faible dose de 4 μL , nous avons enregistré un taux de mortalité très important qui a atteint 80% pour les larves d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella* lors de l'exposition avec l'huile de *T. vulgaris*. Par contre, l'huile de la menthe verte a provoqué 100% de mortalité à partir de la dose 12 μL après un mois d'exposition pour chacune des espèces *E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*.

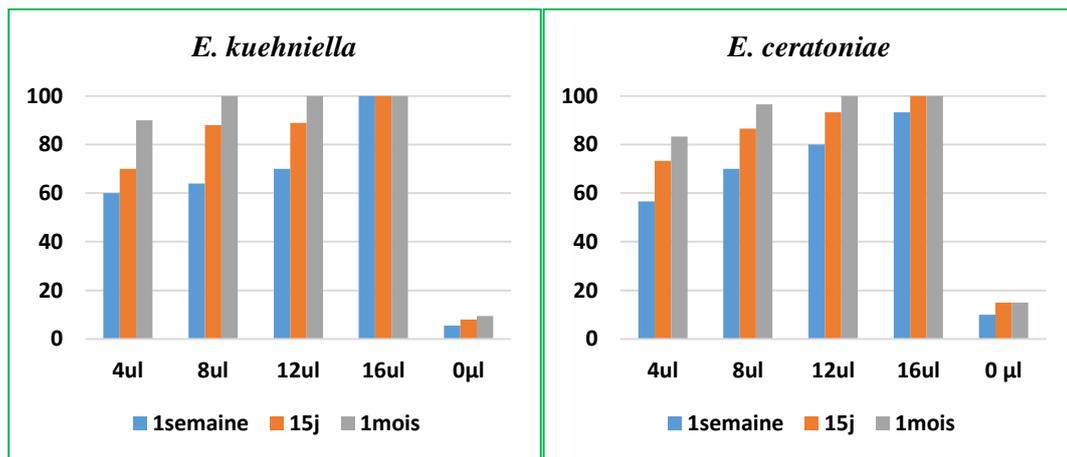


Figure 45 : Taux de mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* et *E. ceratoniae* traitées par fumigation avec l'huile essentielle *Thymus vulgaris* (Automne).

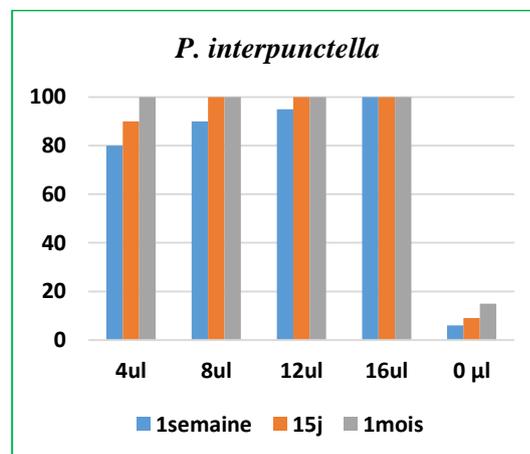


Figure 46 : Taux de mortalité corrigé des larves et *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l'huile essentielle *Thymus vulgaris* (Automne).

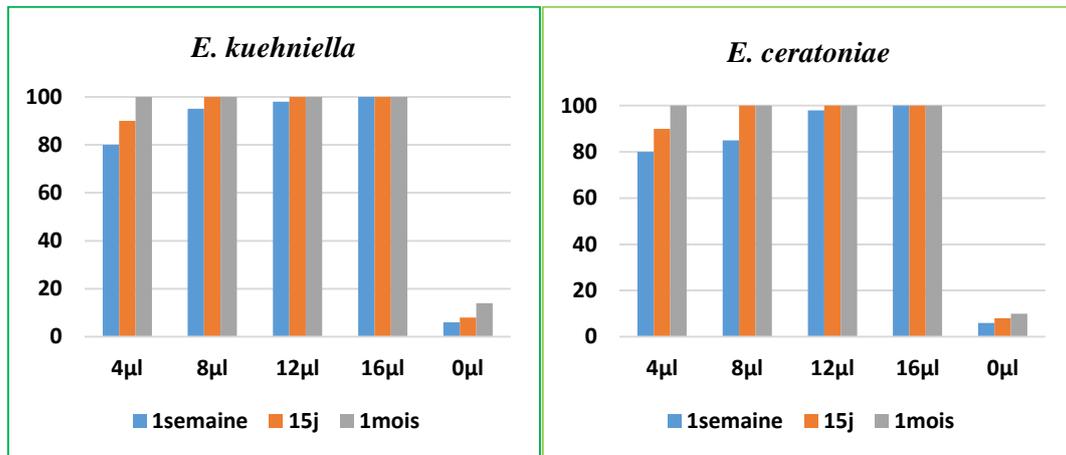


Figure 47 : Taux de mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* et *E. ceratoniae* traitées par fumigation avec l'huile essentielle *Mentha spicata* (Automne).

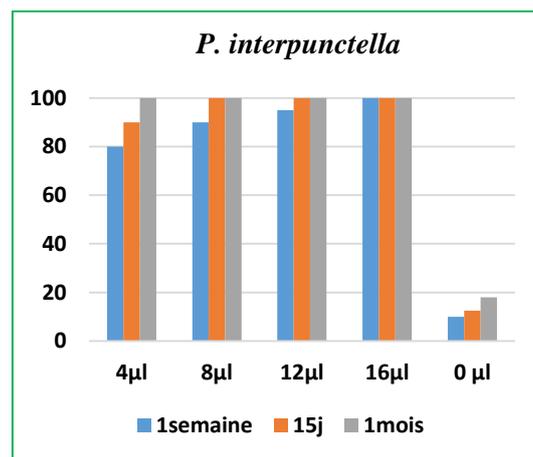


Figure 48 : Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l'huile essentielle *Mentha spicata* (Automne).

L'analyse de la variance à quatre facteurs de classification a montré une différence hautement significative pour le facteur dose : ($F=76,71,36$; $P=0,000$; $DL=3$), facteur temps : ($F=25,94$; $P=0,000$; $DL=2$). L'analyse a montré également une différence significative entre les facteurs : huile essentielle x temps x doses ($F=2,93$; $P=0,010$; $DL=6$) et huile essentielle x insecte x temps ($F=31,76$; $P=0,000$; $DL=4$). Le test de Tukey a classé les insectes dans le même groupement A (Annexe 10). Le test a classé également les doses en 4 classes dont le groupe A correspond à la plus forte dose (16 µl/L). Le test du Tukey a classé également le facteur dose en 4 groupes homogènes dont la dose la plus élevée correspond au groupe A et la faible dose de 4 µl/L correspond au groupe D (Annexe 11 et 12).

2.3. Tests de toxicité par fumigation de *T. vulgaris* et de *M. spicata* (extraite en hiver) à l'égard des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*

Les figures (49, 50, 51 et 52) illustrent le taux de mortalité enregistré chez les trois pyrales *E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella* selon les doses et les différents temps d'exposition. D'après les résultats obtenus, l'huile essentielle de *T. vulgaris* a provoqué 100% de mortalité chez les larves du troisième stade de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* à la dose de 12µl/L après un mois d'exposition. Par contre l'huile essentielle de la menthe verte a provoqué une mortalité de 100% chez les larves d'*E. ceratoniae* et *P. interpunctella* à la dose de 8µl/L après 15 jours d'exposition et 100% de mortalité des larves d'*E. kuehniella* après un mois d'exposition. À la dose 4µl/L, nous avons enregistré une mortalité qui dépasse 50% pour les larves de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* après une semaine d'exposition avec l'huile essentielle de la menthe verte et le thym.

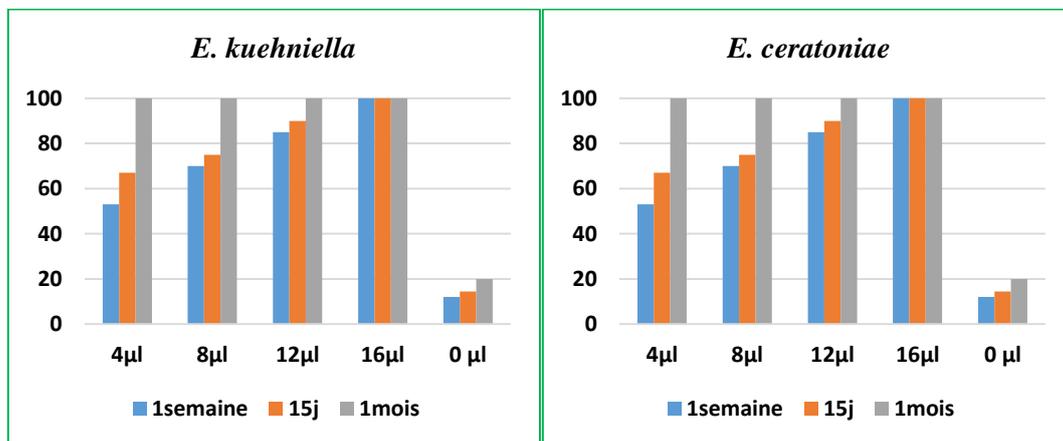


Figure 49 : Taux de mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* et *E. ceratoniae* traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (Hiver).

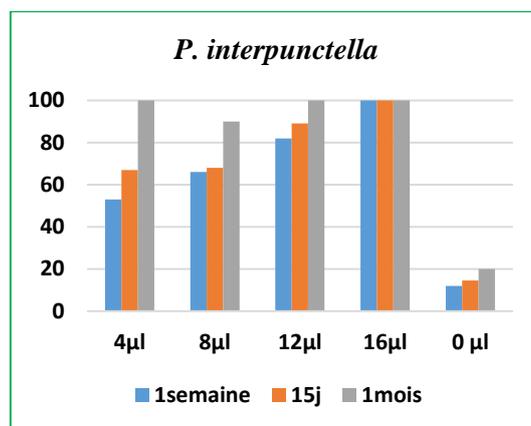


Figure 50 : Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (Hiver).

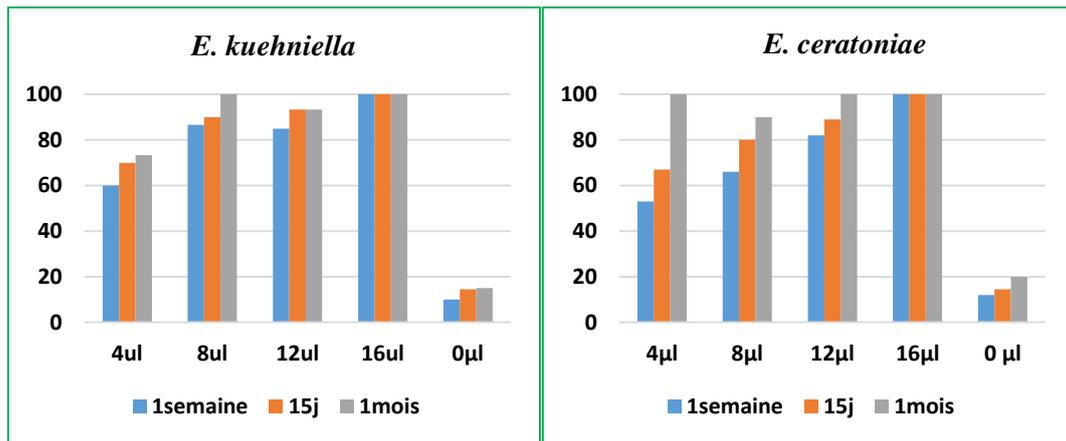


Figure 51 : Taux de mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* et *E. ceratoniae* traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *Mentha spicata* (Hiver).

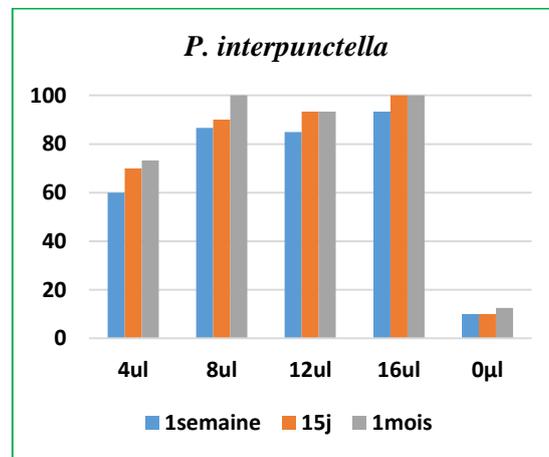


Figure 52 : Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *Mentha spicata* (Hiver).

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré une différence très hautement significative pour les facteurs : dose ($F= 49,57$; $P = 0,000$; $DL=3$), temps d'exposition ($F= 26,85$; $P= 0,000$; $DL=2$) et huile essentielle ($F= 29,6$; $P= 0,000$; $DL=1$), l'interaction entre les facteurs : insecte x temps x dose ($F= 5,95$; $P= 0,011$; $DL=2$) et entre l'huile essentielle x insecte x temps x dose ($F=11,94$, $P=0,000$; $DL=1$). Le test de Tukey a classé les doses en quatre groupes homogènes. Le groupe A correspond à la plus forte dose (16µl/L) et le groupe C correspond à la faible dose (4µl/L). Pour le facteur temps, le test a révélé 3 groupes homogènes dont le fort temps d'exposition (30 jours) est classé dans le groupe A.

2.4. Tests de toxicité par fumigation avec de *T. vulgaris* et de *M. spicata* extraite au printemps à l'égard des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*

D'après les résultats obtenus (Fig. 53, 54, 55 et 56), l'huile essentielle de *T. vulgaris* a provoqué 100 % de mortalité des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae* et *P. interpunctella* à la plus faible dose de 4 µl/L après un mois d'exposition. A la même dose, une mortalité de 60% a été constaté chez les larves d'*E. kuehniella* après un mois d'exposition.

A la dose 4 µl/L, la mortalité varie entre 60 et 85 % chez les larves de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* juste après une semaine d'exposition avec l'huile essentielle de *T. vulgaris*. Un taux de mortalité de 100 % est enregistré pour les larves de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* aux différents temps d'exposition et à la plus forte dose (16 µl/L). Nous avons obtenu 100 % de mortalité pour toutes les doses (4, 8,12 et 16 µl/L) chez les larves de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* après un mois d'exposition avec l'huile essentielle de *M. spicata*. De même, pour les différents temps d'exposition (une semaine et 15 jours) nous avons obtenu un taux de mortalité élevé qui a atteint 80 %.

A la dose de 8 µl/L, nous avons obtenus 100 % de mortalité chez les larves de trois espèces *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* après 15 jours d'exposition avec l'huile essentielle de *M. spicata*. Par ailleurs, nous avons enregistré un taux de mortalité très important de 80% après une semaine d'exposition à la plus faible dose de 4 µl/L.

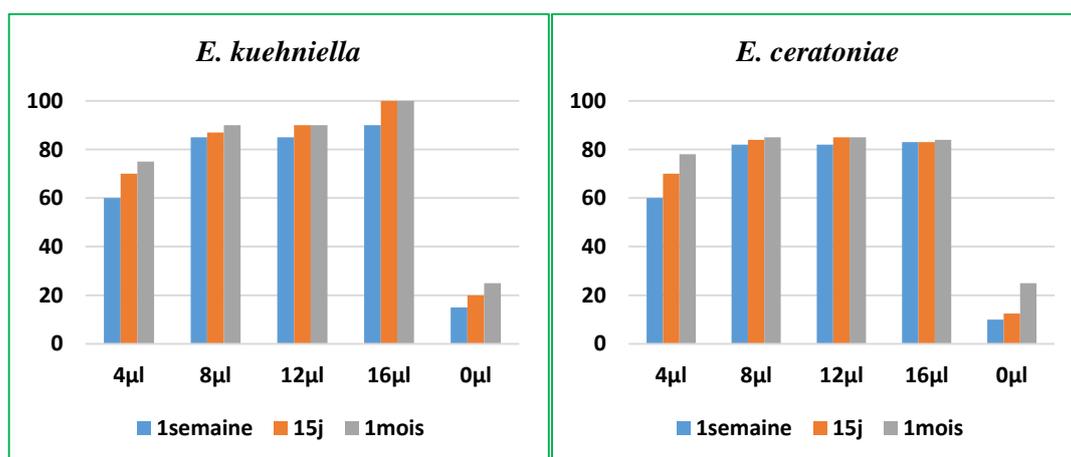


Figure 53 : Taux de mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* et *E. ceratoniae* traitées par fumigation avec l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (Printemps).

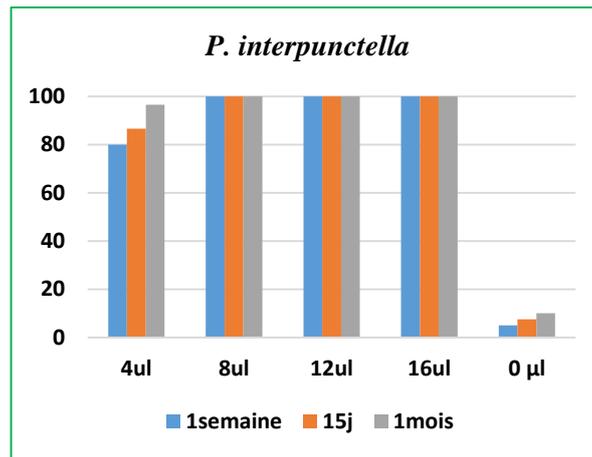


Figure 54 : Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l’huile essentielle de *Thymus vulgaris* (Printemps).

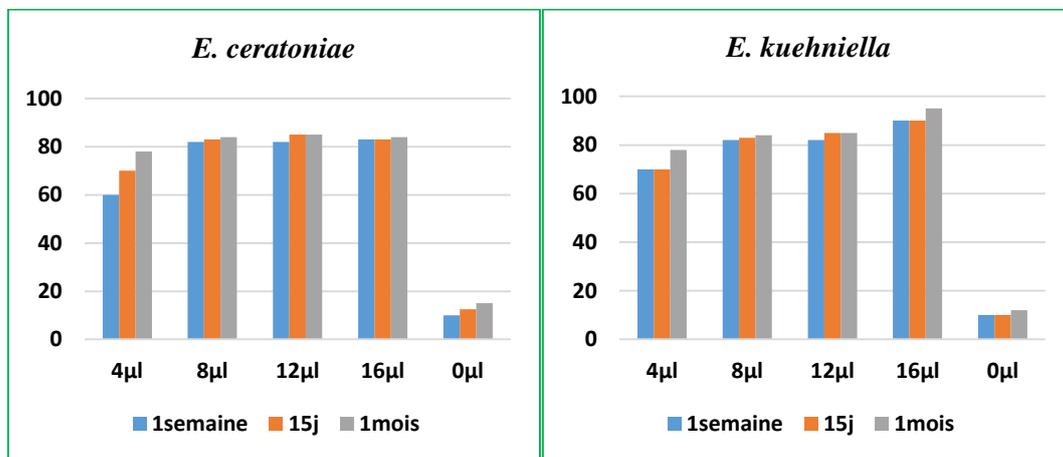


Figure 55 : Taux de mortalité corrigée des larves d’*E. kuehniella* et *E. ceratoniae* traitées par fumigation avec l’huile essentielle de *Mentha spicata* (Printemps).

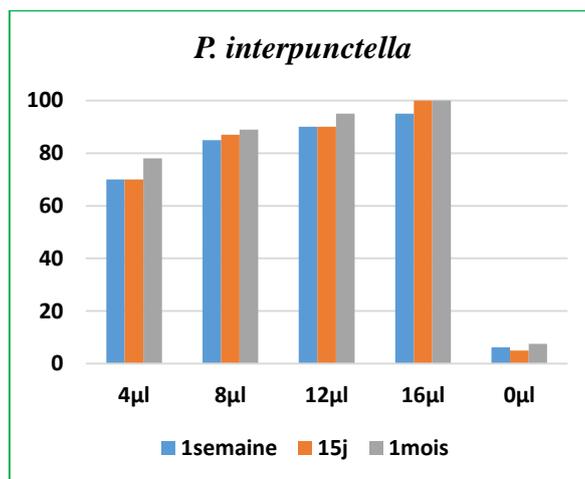


Figure 56 : Taux de mortalité corrigée des larves de *P. interpunctella* traitées par fumigation avec l’huile essentielle *Mentha spicata* (Printemps).

Les résultats de l'analyse de la variance à 3 facteurs de classification ont montré des différences très hautement significative pour les facteurs : dose ($F= 76,71$; $P= 0,000$; $DL= 3$), temps d'exposition ($F= 24,94$; $P =0,000$; $DL=2$). De même, une différence hautement significative a été constaté pour l'interaction entre les facteurs : insecte x temps x dose ($F=9,67$; $P= 0,000$; $DL=2$), huile essentielle x insecte x temps x dose ($F=11,15$; $P= 0,000$; $DL=1$). Par ailleurs, le test de Tukey a classé le facteur dose en 4 groupes homogènes. La dose la plus élevée de $16\mu\text{l/L}$ est classée dans le groupe A. Pour le facteur temps d'exposition, le test a révélé 3 groupes homogènes dont le groupe A correspond à la durée de 30 jours d'exposition.

Le test de Tukey au seuil de signification de 5% a classé les deux huiles essentielles extraites en été dans le groupe A (Annexe 14).

2.5. Tests de toxicité par contact de *T. vulgaris* et *M. spicata* (extraite en été) et au printemps à l'égard des larves du premier et troisième stade d'*E. ceratoniae*

2.5.1. La saison d'été

Les résultats obtenus ont montré que le taux de mortalité chez les larves du premier et troisième stade d'*E. ceratoniae* augmente proportionnellement avec la dose et la durée d'exposition. D'après les résultats présentés (Fig.57 et 58), les huiles essentielles de thym et de la menthe verte extraites en été ont montré une efficacité très importante contre les larves du premier et du troisième stade d'*E. ceratoniae*. Un taux de mortalité de 100 % a été enregistré chez les larves du troisième stade d'*E. ceratoniae* à la faible dose de $4\mu\text{l/L}$ après 7 jours d'exposition avec les huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata*. En effet, nous avons enregistré une mortalité de 100% juste après 5 jours d'exposition à la dose de $12\mu\text{l/L}$. L'huile essentielle de la menthe verte a provoqué 100 % de mortalité chez les larves du premier stade à la dose de $4\mu\text{l/L}$ après 5 jours d'exposition. Mais cependant un taux de mortalité important de 65% juste après 24 h d'exposition à la faible dose de $4\mu\text{l/L}$. 100% de mortalité a été observé à la dose de $16\mu\text{l/L}$ après 7 jours d'exposition avec l'huile essentielle de thym.

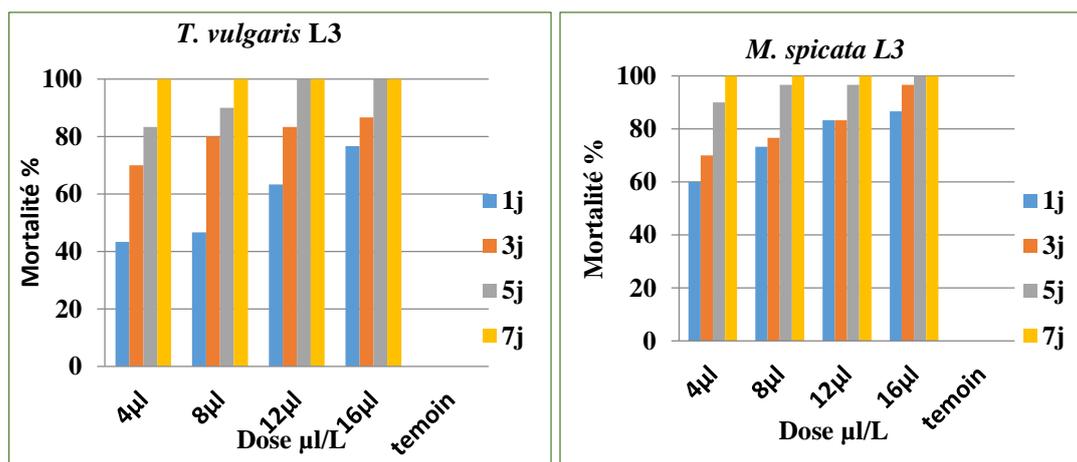


Figure 57 : Taux de mortalité (%) des larves du troisième stade d’*E. ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles *Thymus vulgaris* et *Mentha spicata* extraites en été.

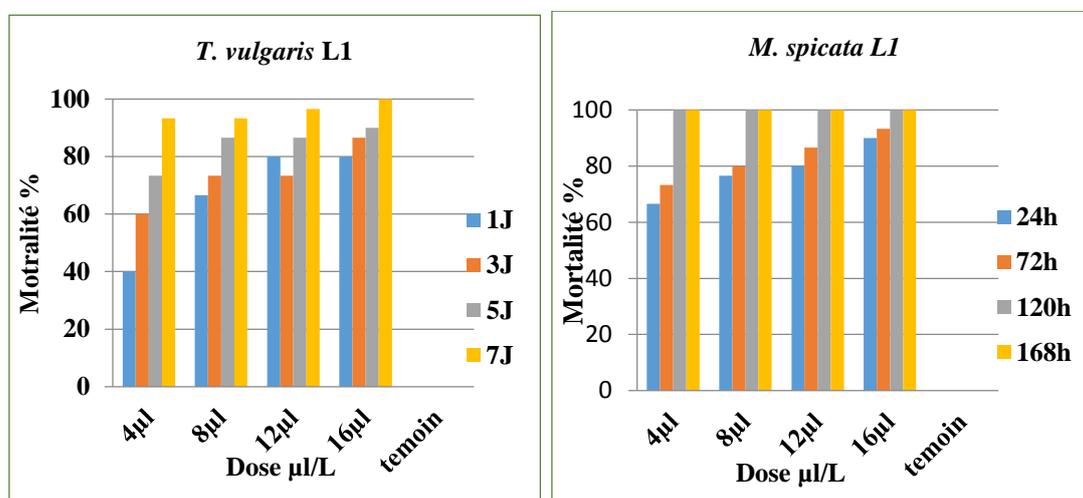


Figure 58 : Taux de mortalité (%) des larves du premier stade d’*E. ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles *Thymus vulgaris* et *Mentha spicata* extraites en été.

2.5.2. La saison du printemps

Les résultats présentés dans les figures (59 et 60) montrent que les deux huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata* ont provoqué des mortalités très intéressantes chez les différents stades larvaires d’*E. ceratoniae*. Nous avons enregistré un taux de mortalité de 100% chez les larves du premier stade d’*E. ceratoniae* à la dose de 12 µL/L après 5 jours d’exposition avec l’huile essentielle de *M. spicata* et après 7 jours d’exposition chez les larves du troisième stade. Un taux de mortalité marquant chez les larves du troisième stade a été enregistré aux différentes doses (4, 8, 12 µL/L) après 24 h d’exposition avec l’huile essentielle de *T. vulgaris*. A la plus forte dose de 16 µL/L, le taux de mortalité varie entre 70 et 85 % après 24 h d’exposition et 100% après 3 jours de la durée d’exposition à la dose de 12 µL/L.

Les huiles essentielles de *T. vulgaris* et *M. spicata* ont provoqué un taux de mortalité très important chez les larves du troisième stade d'*E. ceratoniae*.

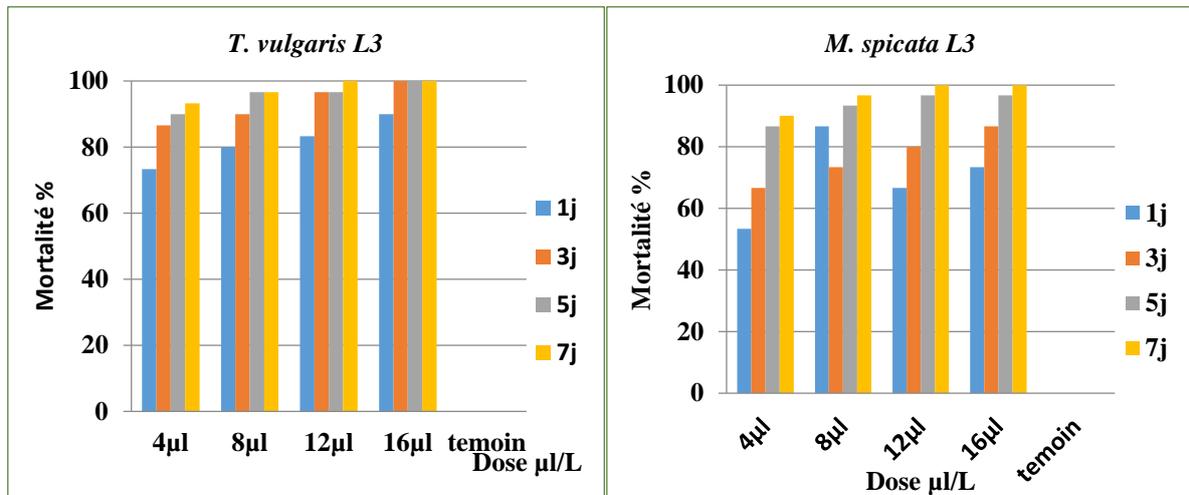


Figure 59 : Taux de mortalité (%) des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles de *Thymus vulgaris* et *Mentha spicata* extraite au printemps.

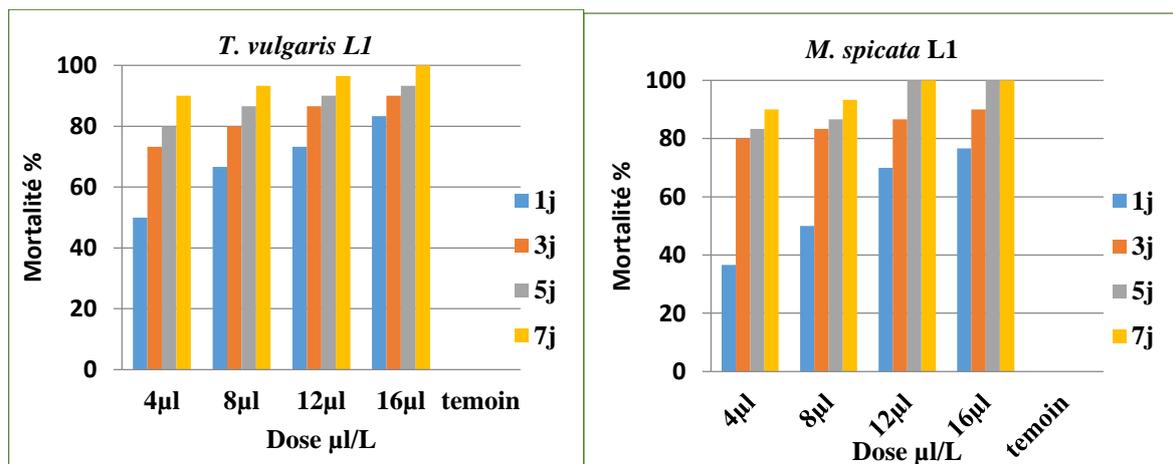


Figure 60 : Taux de mortalité (%) des larves du premier stade d'*E. ceratoniae* traitées par contact avec les huiles essentielles de *Thymus vulgaris* et *Mentha spicata* extraite au printemps.

L'analyse de la variance à 4 critères de classification des résultats de mortalité des larves d'*E. ceratoniae* sous l'effet de *M. spicata* a montré une différence très hautement significative pour les facteurs : saison (F= 8,86 ; P= 0,003 ; DL=1), temps (F=80,33 ; P= 0,000, DL=3) et dose (F= 12,07 ; p= 0,000 ; DL= 3). L'interaction entre les facteurs a montré une différence très hautement significative : saison x temps (F= 15,75 ; P=0,000 ; DL=3), temps x dose (F= 8,88 ; P= 0,000 ; DL= 9) et stade larvaire x temps (F= 4,19 ; P= 0,000 ; DL= 3).

Le test de Tukey, au seuil de signification de 5% a classé le facteur temps en trois groupes homogènes dont le groupe A correspond au temps le plus fort d'exposition 7 jours (168 h) et 5 jours (120 h) et le dernier groupe correspond à la plus courte durée d'exposition de 24 h. Pour le facteur dose, le test a révélé 3 groupes homogènes. La dose la plus élevée (16 µl/L) est classée dans le groupe A et le dernier groupe C correspond à la faible dose 4 µl/L.

L'analyse de la variance à 4 critères de classification des résultats de mortalité des larves d'*E. ceratoniae* sous l'effet de *T. vulgaris* a montré une différence hautement significative pour les facteurs : stade larvaire (F= 47,48 ; P= 0,000 ; DL= 1), temps (F= 217 ; P = 0,000 ; DL=3) et doses (F=79,62 ; P=0.000 ; DL=3), l'interactions entre les facteurs : saison x stade larvaire (F=13,20 ; P= 0,000 ; DL=0,000), saison x temps (F=17,26 ; P= 0,000 ; DL=3) et l'interaction entre les facteurs temps x dose : (F=7,48 ; F=0,000 ; DL= 9). Le test de Tukey au seuil de signification de 5% a classé le facteur temps d'exposition en 4 groupes homogènes dont la groupe A correspond à la durée de 168 h et le dernier groupe correspond à la durée de 24 h (Annexe 16). Le test a classé la saison en deux groupes homogènes. Le groupe A correspond à la saison d'été (Annexe 17). Le test également a classé le facteur dose en 4 groupes homogènes, la plus forte dose (16 µl/L) correspond au groupe A et le dernier groupe correspond à la faible dose de 4 µl/L. Le test a classé également le facteur stade larvaire en deux groupes homogènes dont le groupe A correspond au troisième stade larvaire (Annexe 18).

2.6. Tests par contact avec *T. vulgaris* et *M. spicata* extraite en été et printemps sur les larves du premier et troisième stade de *P. interpunctella*

2.6.1. La saison d'été

D'après les résultats obtenus (Fig.61 et 62), les huiles essentielles extraites en été montrent un effet insecticide intéressant à l'égard des jeunes larves (le premier et le troisième stade) de *P. interpunctella*.

Nous avons obtenu 100 % de mortalité à la faible dose de 4 µl/L, chez les larves du premier stade après cinq jours d'exposition (120 h) et après 7 jours d'exposition (168 h) chez les larves du troisième stade avec l'huile essentielle de *T. vulgaris*. A la forte dose de 16 µl/L nous avons obtenu 100 % de mortalité chez le troisième stade larvaire après 3 jours d'exposition (72 h). L'huile essentielle de la menthe verte a montré une efficacité considérable contre les larves du premier et troisième stade de *P. interpunctella*. En effet, nous avons enregistré 100% de mortalité chez le premier stade à la dose la plus élevée aux

différents temps d'exposition. A la faible dose de 4 µl/L, un taux de mortalité très important chez les larves du premier stade qui dépasse 50 % du nombre des larves en 24 h d'exposition seulement et après 5 jours (120 h) chez les larves du troisième stade.

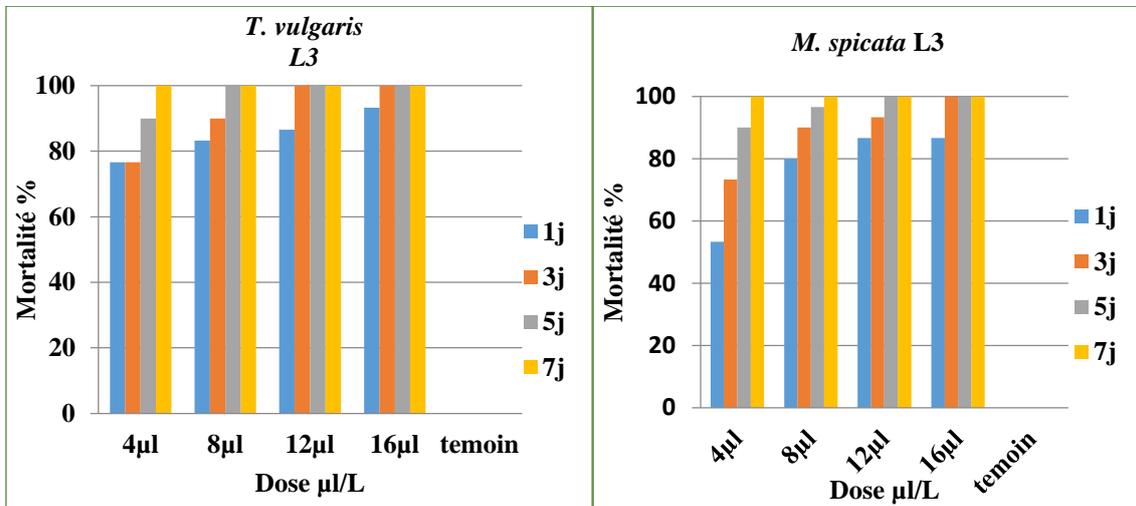


Figure 61 : Taux de mortalité (%) des larves du troisième stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites en été.

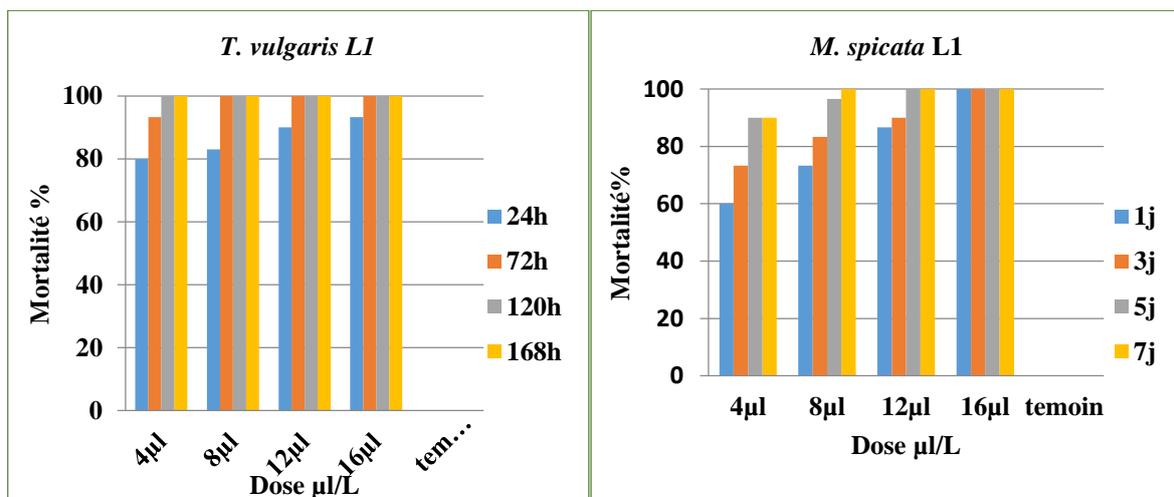


Figure 62 : Taux de mortalité (%) des larves du premier stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites en été.

2.6.2. La saison du printemps

Les résultats présentés dans les figures (63 et 64) montrent que les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* testées ont un effet efficace contre les larves du premier stade et du troisième stade de *P. interpunctella*.

Chez les larves du premier stade, l'huile essentielle de *T. vulgaris* a provoqué une mortalité totale en 5 et 7 jours de temps d'exposition à la plus forte dose de 16 µl/L. Par contre avec

l'huile essentielle de *M. spicata*, nous avons enregistré un taux de mortalité de 100 % à la dose de 8µl/L après 7 jours d'exposition. En effet, à la dose la plus forte de 16 µ/L, une mortalité totale après l'exposition aux différents temps avec l'huile essentielle de la menthe verte. Le thym a provoqué 100 % de mortalité à la dose de 8, 12 et 16µl/L. Par contre l'huile essentielle de la menthe verte un taux de mortalité de 90 % a été obtenue à la plus forte dose de 16 µl/L et après 7 jours d'exposition. A la dose de 16 µl/L, une mortalité importante varie de 60 à 90 % au plus fort temps d'exposition avec l'huile essentielle de *M. spicata*. Par contre avec l'huile essentielle de *T. vulgaris* une mortalité marquante à la plus faible dose de 4µl/L après 7 jours d'exposition.

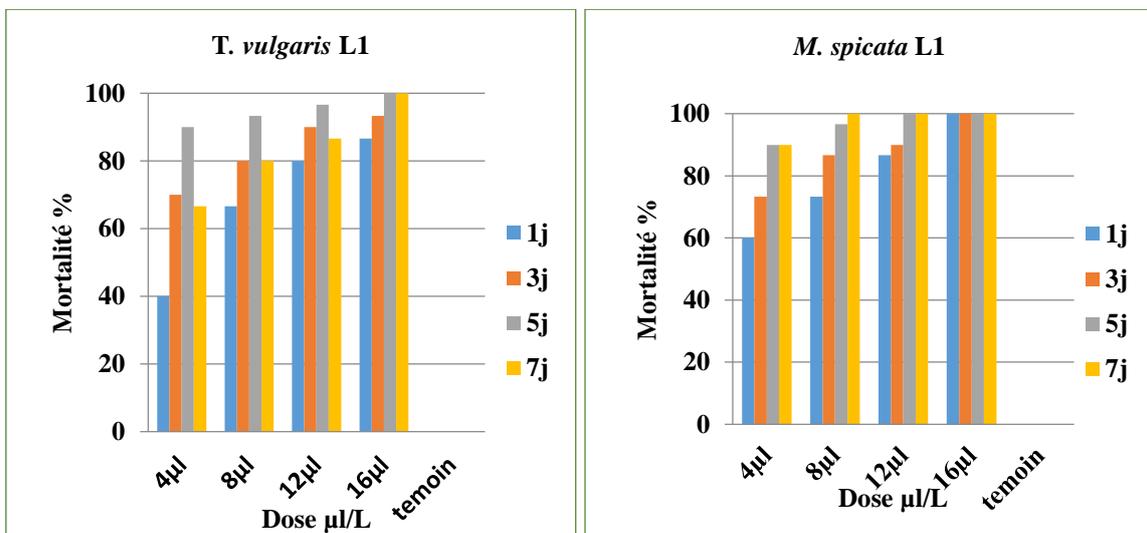


Figure 63 : Taux de mortalité (%) des larves du premier stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites au printemps.

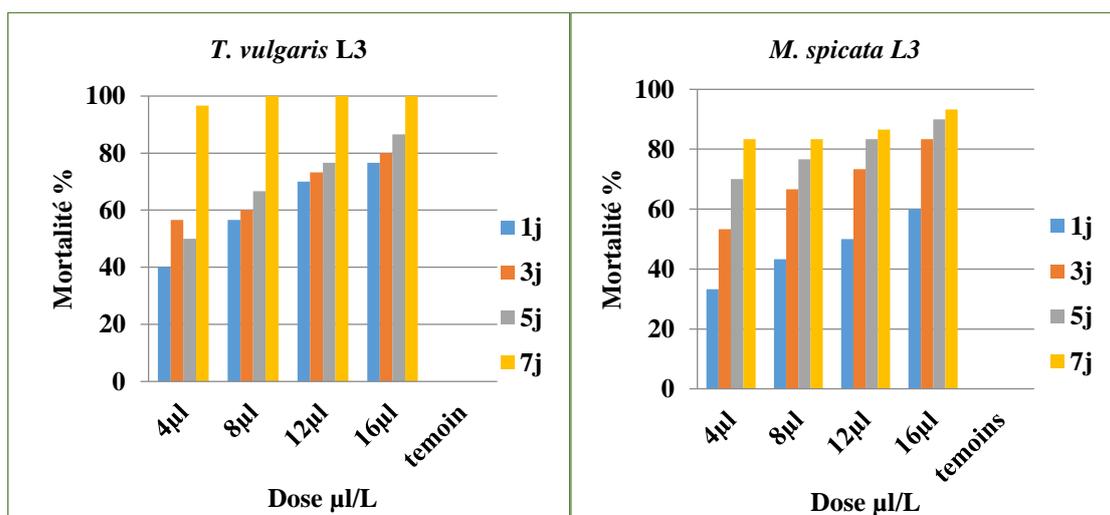


Figure 64 : Taux de mortalité (%) des larves du troisième stade de *P. interpunctella* traitées par contact avec les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* extraites au printemps.

L'analyse de la variance des résultats de mortalité des larves de *P. interpunctella* sous l'effet de *T. vulgaris* ont montré une différence très hautement significative pour les facteurs : doses (F= 116,86 ; P= 0,000 ; DL= 3), temps (F=185,0 ; P= 0,000 ; DL=3) et pour le facteur stade larvaire (F= 20,91 ; P= 0,000 ; DL= 1). De même, une différence hautement significative entre les facteurs saison x temps (F=33,04 ; P= 0,000 ; DL= 3), saison x dose (F=15,87 ; P= 0,000 ; DL=3), temps x dose (F=13,93 ; P= 0,000 ; DL= 9) et saison x stade larvaire (F= 23 ; 44, P= 0,000 ; DL=1).

Les résultats de la variance pour les résultats de mortalité des larves de *P. interpunctella* sous l'effet de la menthe verte ont montré une différence très hautement significative pour les facteurs : dose (F= 82,12 ; P= 0,000 ; DL=3), temps (F= 142,92 ; P= 0,000 ; DL=3) et une différence significative pour le facteur stade larvaire (F= 9,53 ; P= 0,002 ; DL=1). Une différence très significative pour les interactions : saison x temps (F=21,54 ; P= 0,000, DL=3), temps x dose (F= 6,68 ; P=0,000 ; DL=9) et saison x dose (F= 3,444 ; P= 0,019 ; DL=9).

Le test de Tukey au seuil de signification de 5% a classé le facteur temps d'exposition en 4 groupes homogènes dont le groupe A correspond à la durée d'exposition la plus longue (7 jours) et le dernier groupe correspond à la plus courte durée (24 h) (Annexe 19).

L'analyse de la variance à 3 critères de classification des résultats de la mortalité larvaire sous l'effet de l'huile essentielle de *T. vulgaris* extraite en deux saisons a montré une différence hautement significative pour les facteurs : saison (F= 8,56 ; P= 0,004 ; DL=1), dose (F=28,27 ; P= 0,000 ; DL=3) et temps (F=76,79 ; P= 0,000 ; DL=3).

Le test de Tukey au seuil de 0,05 de signification a classé le facteur saison en deux groupes homogène. Le groupe A correspond à la saison d'été. La saison du printemps est classée dans le groupe B (Annexe 21). Pour le facteur dose, le test a révélé 4 groupes homogènes dont les plus fortes doses 16 µl/L et 12 µl/L sont classés dans le groupe A.

Le test également a classé le facteur dose en 4 groupes homogènes. La plus forte dose de 16 µl/L correspond au groupe A et la faible dose de 4 µl/L correspond au groupe C pour les huiles essentielles *T. vulgaris* et *M. spicata* (Annexe 23 et 24). Le test également classe le facteur temps en 4 classes homogènes, le groupe A correspond à la durée de 168 h. Le dernier groupe correspond à la durée de 24 h (Annexe 25 et 26).

L'analyse de la variance a 3 critères de classification des résultats des mortalités larvaires sous l'effet de l'huile essentielle de la menthe verte a montré une différence très hautement

significative pour les facteurs : saison ($F= 47,51$; $P= 0,000$; $DL=1$), insecte ($F=5,87$ $P= 0,016$) et temps : ($F= 94,08$; $P= 0,000$; $DL=3$).

Par ailleurs, le test de Tukey a classé les facteurs (temps et dose) en 4 groupes. Le groupe A correspond au temps d'exposition le plus élevé (168 h) et la dose de 16 μ l/L est classée dans le groupe A. Le test également a classé les insectes en deux groupes. Le groupe A correspond à l'insecte *E. ceratoniae*.

3. Discussion

Les huiles essentielles *M. spicata* et *T. vulgaris* extraites à travers quatre saisons à partir des plantes aromatiques de la famille des Lamiacées, elles sont testées par inhalation à l'égard des larves du troisième stade du développement de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* exposés aux différentes durées et doses.

Les huiles essentielles testées de *T. vulgaris* et *M. spicata* ont un effet toxique à l'égard des larves de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella*.

Nos résultats montrent que la dose de 8 μ l/L de l'huile essentielle de *T. vulgaris* extraite à la saison d'été et une durée d'exposition d'une semaine sont nécessaire pour tuer 100 % des larves d'*E. kuehniella*. Une dose de 4 μ l/L et un mois d'exposition sont nécessaires pour tuer la totalité des larves de deux espèces *P. interpunctella* et *E. ceratoniae*. En revanche, l'huile de la menthe verte engendre 100 % de mortalité des larves du troisième stade à la dose de 4 μ l/L à une durée d'un mois d'exposition.

D'après nos résultats, les faibles doses de thym et la menthe verte extraite en été sont efficaces contre le troisième stade de développement des *P. interpunctella*, *E. kuehniella* et *E. ceratoniae*.

Beaucoup des travaux de recherches ont évalué l'effet insecticide d'autres huiles essentielles des plantes aromatiques, qu'ils ont montré une meilleure efficacité sur les larves, les œufs, les pupes et les adultes de *P. interpunctella*, *E. kuehniella* et *E. ceratoniae*.

Jesser et al. (2017) ont testé les différentes huiles essentielles telles que : la lavande (*Lavandula angustifolia* Mill), la menthe pouliot (*Mentha piperta* L.), geranium (*Geranium maculatum* L.) et l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) par fumigation sur les adultes de *Plodia interpunctella*. Ils ont signalé que les huiles essentielles testées ont un effet toxique sur la fécondité et sur la mortalité des adultes de *P. interpunctella*. En effet, Allahvaisis et al. (2017) ont testé également deux huiles essentielles de la famille des Lamiacées (*Mentha*

piperta L. et *Salvia officinalis* L.) par fumigation sur les larves de *P. interpunctella*. Ils ont montré que l'huile essentielle de *S. officinalis* L. est plus toxique à l'égard des larves de *Plodia interpunctella* après 14 jours d'exposition.

Kheirkhah et al. (2015) ont montré la toxicité de l'huile essentielle de *Ziziphora clinopodiodes* Lam par fumigation sur les œufs, les larves et les adultes d'*E. kuehniella* (LC₅₀ value= 54,61µl/L air pour les larves et LC₅₀=1,39 µl/L air pour les adultes). Ils ont signalé également que l'huile essentielle de *Ziziphora clinopodiodes* a un effet bio insecticide très important à l'égard *E. kuehniella* dans les stockages.

L'huile essentielle de *P. ferulacea* a un effet toxique à l'égard des larves d'*E. kuehniella*, un taux de mortalité de 100 % a été enregistré à la dose de 500 µl/L après 24h d'exposition (Sumer et al., 2012). En effet, Mediouni et al. (2012) ont constaté que l'huile essentielle d'*Eucalyptus camaldulensis* récoltée en été est plus toxique vis-à-vis les larves et les adultes d'*E. ceratoniae* avec (LC₅₀= 34,08 et 73,80 µl/L) en comparaison sur le taux de mortalité au printemps avec (LC₅₀= 56,39 µl/L et 110,23 µl/L). Bachrouch et al. (2010) ont testé l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* L. par fumigation à l'égard des adultes d'*E. ceratoniae* et *E. kuehniella*. Ils ont montré que l'huile essentielle *Pistacia lentiscus* L. a présenté un effet plus toxique sur les adultes d'*E. kuehniella* avec LC₅₀=1,84µl/L et peu toxique sur *E. ceratoniae* avec LC₅₀= 3,29 µl/L. Amri et al. (2014) ont testé les différentes huiles essentielles de la famille des Lamiacées (*Pinus halepensis*, *Thymus capitatus* et *Rosmarinus officinalis*) par fumigation sur les larves d'*E. ceratoniae* Zeller. Ils ont noté que l'huile essentielle de *T. capitatus* est plus toxique à la dose de 20 µl/L après 24 h d'exposition. Ils ont signalé également que *P. halepensis* est moins toxique avec un taux de mortalité qui ne dépasse pas 70 % après 24 h d'exposition à la dose de 20 µl/L.

L'huile essentielle de *R. rugosa* exerce une activité larvicide à l'égard des larves âgées de (8-20 jours) de *Plodia interpunctella* avec une mortalité de 53,83 ± 2,2 %. Un taux de mortalité de 40,55 ± 3,9 % a été enregistré sur les larves âgées de 18-20 jours à la faible dose de 10 µl/L après 120 h d'exposition (Brari et Thakur, 2018).

Par ailleurs, Chen et al. (2011) ont noté que l'huile essentielle d'*Armoracia rusticana* testée par fumigation exerce également un effet actif sur les différents stades de développement de *P. interpunctella* avec LC₅₀= 17,171 sur les larves, les pupes avec LC₅₀= 22,660 et les œufs avec LC₅₀= 9,988.

L'huile essentielle du romarin a exercé ainsi un effet ovicide à l'égard des œufs d'*E. kuehniella* avec une mortalité de 90 % à la dose 100 µl/L après 24 h d'exposition (Paudin et Baş, 2016). Karabörklü et al. (2011) ont testé des différentes huiles essentielles par fumigation (Marjoram : *Origanum majorana* L ; Laurel : *Laurus nobilis* L. Lemon : *Citrus limon* L) à l'égard des œufs et les adultes d'*E. kuehniella*. Ils ont signalé que les huiles essentielles de *Origanum majorana* L et *Citrus limon* L sont plus toxiques à l'égard les adultes d'*E. kuehniella*. L'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* et *Artemisia cina* par fumigation exerce un effet larvicide et ovicide à l'égard d'*E. ceratoniae* : les œufs avec LC₅₀ = 5,92 ml/L air et les larves avec LC₅₀ = 12,95 ml/L air (Nezhad, 2017).

D'après Abada et al. (2019), l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* L et le 1,8-cinéole a été toxique à l'égard des larves d'*E. ceratoniae*. Ils ont noté que le 1,8-cineole est plus toxique à la dose de 15 µl/L avec une mortalité de 94,12 % après 37 jours d'exposition. Pandir et Baş (2016) ont montré la toxicité de l'huile essentielle de basilic (*Ocimum basilicum* L.) ; de paprika (*Capsicum annum* L.) ; de la menthe (*Mentha piperta* L.) et le romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) sur les différents stades de développement d'*E. kuehniella*. Ils ont signalé que l'huile essentielle de *Capsicum annum* L est plus toxique à l'égard des larves d'*E. kuehniella*, une mortalité de 100 % à la dose de 100 µl/L et après 24 h d'exposition. En effet, Ayvaz et al. (2008) ont noté que les différentes huiles essentielles de la famille des Lamiacées par fumigation exercent une activité insecticide à l'égard de *Plodia interpunctella* et *Ephestia kuehniella* avec une mortalité de 100 % à la dose 9 µl et 25 µl/L après 24 h de traitement. Ils ont signalé que l'huile essentielle *Origanum onites* L et *Satureja thymbra* L sont plus toxiques à l'égard de *Plodia interpunctella* et *Ephestia kuehniella*. Delmi et al. (2013) ont rapporté l'activité bio-pesticide de l'huile d'*Artemissia herba alba* à l'égard des adultes d'*E. kuehniella* qui a provoqué un taux de mortalité significatif. Ils ont signalé également l'effet significatif sur l'incubation des œufs (réduction de nombre d'œufs déposés). Par ailleurs, Chargui et al. (2021) ont testé l'huile essentielle extraite de la plante *Laurus nobilis* par inhalation à l'égard d'*E. ceratoniae*. Ils ont montré une toxicité élevée de *L. nobilis* à l'égard des différents stades larvaires de la pyrale de dattes après 7, 15 et 30 jours d'exposition.

Tandis que, Shojaaddini et al. (2008) ont noté que l'huile essentielle de *Carum copticum* a un effet insecticide très important à l'égard du dernier stade larvaire de la pyrale (LC₅₀ = 91,36 µl/l air et LC₉₀ = 213,79 µl/m³) et les pupes avec LC₅₀ = 105,69 µl/l air et LC₉₀ = 203,24 µl/l air. Aouadi et al. (2020) ont montré l'efficacité de deux huiles essentielles de *Mentha rotundifolia* et *Myrtus communis* par contact à l'égard des adultes d'*Ephestia kuehniella*. Ils

ont signalé que *Mentha rotundifolia* est plus toxique avec ($LC_{50} = 0,54 \mu\text{l/L}$ air, $LC_{50} = 0,004 \mu\text{l/L cm}^2$) en comparaison avec *Myrtus communis* ($LC_{50} = 2,91 \mu\text{l/L}$ air, $LC_{50} = 0,025 \mu\text{l/L cm}^2$). Ismahane et al. (2021) ont testé également l'huile essentielle d'*A. herba-alba* et *A. compestris* par contact à l'égard des œufs d'*E. ceratoniae*. Ils ont noté un taux de mortalité de $16,66 \pm 08,81$ et $37,7 \pm 13,47$ respectivement à la dose $160 \mu\text{l/L}$ de l'huile essentielle d'*A. herba-alba* et *A. compestris*. De même, Ismahane et al. (2021) ont montré que l'huile essentielle d'*A. herba-alba* et *A. compestris* testées par fumigation ont une activité insecticide importante à l'égard des adultes d'*E. ceratoniae*. Une mortalité de 100 % à la dose de $80 \mu\text{l/L}$ et $160 \mu\text{l/L}$ après 10 min de traitement respectivement avec l'huile essentielle *A. herba-alba* et *A. compestris*.

Par ailleurs, Bouchikhi (2011) a signalé l'effet toxique de l'huile essentielle de thym à l'égard de *Tineola bisselliella*, Lépidoptère). Il a rapporté que le taux de mortalité est à voisine de 60 % après une durée de six jours d'exposition avec l'huile de thym à la dose de $0,6\text{g}/50$. Il a signalé également que le taux de mortalité de *T. bisselliella* est en fonction de la durée et la dose d'exposition.

Beaucoup d'études ont rapporté la toxicité de l'huile essentielle de *T. vulgaris* à l'égard des insectes ravageurs des denrées stockées (Clémente et al., 2003).

Regnault-Roger et Hamraoui (1993) ont noté que l'huile essentielle de thym extraite par hydro distillation présente une toxicité inhalatrice sur *A. obtectus* qui cause une mortalité de 95 % après 24 h d'exposition et une mortalité de 100% après 48 h pour les concentrations les plus élevés. Raja et al. (2001) ont montré que les substances volatiles de l'huile essentielle de *M. spicata* a un effet significatif sur les adultes de *C. maculatus* à une durée de 4 mois d'exposition. Saheb (2007) a montré l'efficacité des huiles essentielles de la menthe et le thym par inhalation et par contact contre les formes mobiles de *T. cinnabarinus*. Il a noté que le taux de mortalité est de 54,33% après 24 h d'exposition avec l'huile essentielle de *T. vulgaris*.

Toujours d'après Saheb (2007) qui a montré l'efficacité de l'huile essentielle de la menthe par contact contre les œufs de *T. cinnabarinus*. La plus forte dose provoque 85,9 % de mortalité, elle a noté également que l'huile essentielle de la menthe agit sur *T. cinnabarinus* par inhalation après 15 minutes de traitement à la plus forte dose provoquant 100% de mortalité. Elle a signalé aussi que les deux huiles essentielles la menthe et le thym testées par contact

sont très toxiques à l'égard de *T. cinnabarinus* avec une mortalité de 100 % à la cinquième dose.

Righi (2010) a constaté que l'huile essentielle de thym a un effet toxique contre les adultes de *C. chinensis*. Elle a noté également que *T. vulgaris* provoque une mortalité importante des adultes de *C. chinensis* après une heure d'exposition à la dose de 10 µl. Aiboud (2011) a noté que l'huile essentielle de *T. vulgaris* a une activité hautement significative à l'égard de *C. maculatus* lors de l'exposition aux fortes doses. En effet, Goucem (2014) a montré l'efficacité de l'huile essentielle de thym contre les adultes du bruche du haricot. Une mortalité de 100% est obtenue après 72 h d'exposition à la dose 2 µl de l'huile essentielle de *T. vulgaris* par contact. En effet, Karahacane (2015) a noté la toxicité de l'huile essentielle de *T. vulgaris* à l'égard des larves et des adultes de *T. castaneum*, il a signalé également que l'huile de thym a provoqué des mortalités de 3,3 % à la dose de 1µl et 13,33 % à la dose de 4 µl à l'égard des larves de *T. castaneum*. En revanche, Kassimi et al. (2011) ont testé également l'huile essentielle de thym à l'égard du puceron en fonction du temps et de la dose. Ils ont montré aussi le rôle important de ces extraits naturels dans la limitation de ce parasite. Draghi et al. (2014) ont montré que l'huile essentielle de thym a un effet insecticide très significatif à l'égard de l'insecte *Anopheles stephensi*. De même, Bouguerra (2019) a montré la toxicité de l'huile essentielle de *T. vulgaris* et son effet larvicide à l'égard de *Culex pipiens*.

Chougar (2020) a montré l'effet toxique de l'huile essentielle de *T. vulgaris* à l'égard du troisième et quatrième stade de développement de la mineuse de la tomate. Elle a signalé également que le taux de mortalité augmente avec l'augmentation de la dose et la durée d'exposition.

Notre étude rentre dans le cadre de la recherche d'une lutte alternative qui permet de réduire les pertes occasionnées par les redoutables ravageurs de dattes dans les entrepôts de stockage par l'utilisation des huiles essentielles afin de limiter les inconvénients liés aux insecticides.

Les résultats des expérimentations menées sur le cycle de développement d'*E. ceratoniae* et *P. interpunctella* ont montré que la durée du cycle de développement d'*E. ceratoniae* est $41 \pm 3,23$ jours. Par contre le cycle de *P. interpunctella* est de $36,32 \pm 4,81$ jours, les deux pyrales se développent en cinq stades larvaires. Le deuxième et le dernier stade sont les plus longs du cycle de développement d'*E. ceratoniae*. Par ailleurs, le premier stade larvaire est le plus long du cycle de développement de *P. interpunctella*, la durée de la nymphose de *P. interpunctella* est $7,41 \pm 0,60$ jours qui se rapproche à la durée de la nymphose d'*E. ceratoniae* ($7,93 \pm 0,25$ jours).

Dans un premier temps, les feuilles de deux espèces *T. vulgaris* et *M. spicata* ont été séchées puis soumises à une hydro distillation (au centre de recherches et d'analyses physico-chimiques (CRAPC) à Bousmail et au laboratoire d'entomologie appliquée) pour l'extraction des huiles essentielles et le suivi l'évolution de la cinétique de rendement en huile essentielle en fonction du temps. Cette technique a permis de déterminer que la durée de traitement pour l'obtention du meilleur rendement est comprise entre 60 à 90 min durant chaque saison de récolte. Le rendement le plus important a été obtenu avec les feuilles de *T. vulgaris* et *M. spicata* extraite respectivement en été et printemps.

Les résultats de l'analyse par CG/MS ont montré la variation de la composition chimique de *T. vulgaris* récolté durant les quatre saisons. L'huile de *T. vulgaris* que nous avons testée sont riches en monoterpènes particulièrement en monoterpènes hydrocarbonés durant les quatre périodes de la récolte avec 71,63%, 54,87%, 72,74% et 71,91% respectivement en automne, hiver, printemps et été.

Le constituant principale de *T. vulgaris* est le linalool en automne (68,60%) ; printemps (65,04%) ; été (68,62%) et 0% en hiver. Les monoterpènes oxygénés sont représentés par le camphor avec 9,93% en automne, 11,82% en hiver, 9,2% au printemps et 10,71% en été. Par ailleurs, l'huile essentielle de *M. spicata* est riche en monoterpènes en particulier monoterpènes oxygénés avec un taux de 74,27% en automne ; 76,36% en hiver ; 71,6% au printemps et 57,9% en été. Le principal composé est la carvone avec 62,93% en automne ; 46,91% en hiver ; 45,19% au printemps et 50,47% à la saison d'été.

Les monoterpènes hydrocarbonés sont représentés par le limonène 9,52% en automne, 0% en hiver ; 0% en printemps et 19,48% en été.

La fraction des monoterpènes hydrocarbonés est la plus représentée par rapport au sesquiterpènes hydrocarbonés.

Les résultats des tests de toxicité des huiles essentielles par fumigation sur le troisième stade larvaire de *P. interpunctella*, *E. ceratoniae* et *E. kuehniella* et par contact à l'égard du premier et le troisième stade de *P. interpunctella* et *E. ceratoniae*. Nous a permis de déduire que leur efficacité varie selon la saison, l'huile essentielle, la dose et le temps d'exposition.

T. vulgaris est plus toxique contre *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* et *P. interpunctella* par rapport à l'huile de *M. spicata*. Le premier et le troisième stade larvaire sont sensibles aux traitements, nous avons obtenu des mortalités importantes même avec les faibles doses aux différents temps d'exposition. L'huile essentielle de *T. vulgaris* et *M. spicata* échantillonnés en été ont prouvé leur efficacité par inhalation et par contact à l'égard des larves du troisième stade d'*E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*.

A l'ensemble des résultats intéressants obtenus, il est permis d'espérer une réduction de l'utilisation des pesticides contre les insectes ravageurs et les microorganismes dans les entrepôts de stockage avec une solution alternative que représente les substances naturelles dont nous avons démontré l'efficacité sur les redoutables ravageurs des dattes et les bactéries dans les entrepôts de stockage.

Il serait intéressant de tester les deux huiles essentielles de *M. spicata* et *T. vulgaris* sur d'autres stade de développement des pyrales de dattes.

Il serait intéressant également de tester d'autres huiles essentielles de la famille des Lamiacées extraite pendant l'été sur les différents stades larvaires des pyrales de dattes.

Tester les huiles essentielles sur d'autres insectes ravageurs des denrées stockées.

Une partie réalisée dans le cadre de cette thèse nous a conduit à la rédaction et la publication d'un article.

1. **Abada, M. B., Hamdi, S. H., Gharib, R., Messaoud, C., Fourmentin, S., Greige-Gerges, H., Jemâa, J. M. B., 2019.** Post-harvest management control of *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae): new insights through essential oil encapsulation in cyclodextrin. *Pest management science*, 75(7), 2000-2008.
2. **Abbott, W.S., 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol* 18(2):265-267.
3. **Abdelli, W., Bahri, F., Romane, A., Höferl, M., Wanner, J., Schmidt, E., 2017.** Chemical composition and anti-inflammatory activity of Algerian *Thymus vulgaris* essential oil. *Natural product communications*, 12 (4).
4. **Abdennabi, R., Gharsallah, N., 2018.** *Evaluation de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur le palmier dattier Phoenix dactylifera. Caractérisation physicochimiques et microbiologiques.* Edition Paf. p68.
5. **Abedessalam, N., Arnoux, E., Ben Chekroun, L., Bourjac, M., Chailleux, S., Sidi Ahmed, C., Lannes, M., Moulai, A., Oucharnit, A., Ahmed yahaya., 2020.** Le palmier dattier et l'agro biodiversité en Algérie. EL WAHA d'une oasis : des liens indissociables, 11p.
6. **Abu-Darwish, M. S., Alu'datt, M. H., Al-Tawaha, A. R., Ereifej, K., Almajwal, A., Odat, N., Al Khateeb, W., 2012.** Seasonal variation in essential oil yield and composition from *Thymus vulgaris* L. during different growth stages in the south of Jordan. *Natural product research*, 26(14), 1310-1317.
7. **Achoura, A., Belhamra, M., 2010.** Aperçu sur la faune arthropodologique des palmeraies d'El-Kantara, 10. 94p.
8. **Acourene, S., Ammouche, A., 2012.** Optimization of ethanol, citric acid, and α -amylase production from date wastes by strains of *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger*, and *Candida guilliermondii*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 39(5), 759-766.
9. **Adarkwah, C., Obeng-Ofori, D., Büttner, C., Reichmuth, C., Schöller, M., 2012.** Potential of *Lariophagus distinguendus* (Förster) (Hymenoptera: Pteromalidae) to suppress the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in bagged and bulk stored maize. *Biological Control*, 60(2), 175-181.
10. **Adarkwah, C., Sch, M., 2012.** Biological control of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) by single and double releases of two larval parasitoids in bulk stored wheat. *Journal of Stored Products Research*, 51, 1-5.

11. **Adler, C., 2010.** Low temperature to control *Plodia interpunctella* and *Stegobium paniceum*. *Julius-Kühn-Archiv*, (425), 608.
12. **AFNOR., 2009.** Recueil des normes française “Huiles essentielles ”Paris, NT 75-006.
13. **Ahmadi, B., Moharramipour, S., Sinclair, B. J., 2016.** Overwintering biology of the carob moth *Apomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Pest Management*, 62(1), 69-74.
14. **Aiboud, K., 2011.** Etude de l’efficacité de quelques huiles essentielles à l’égard du bruche de niébé *Callosobruchus maculatus* (Coléoptéra : Bruchidae) et impact des traitements sur la germination des graines de *Vigna unguiculata*. Mémoire de magister en sciences biologiques. Université de Tizi Ouzou. 58p.
15. **Aissaoui, A. B., El Amrani, A., Zantar, S., Toukour, L., 2018.** Activité acaricide des huiles essentielles du *Mentha pulegium*, *Origanum compactum* et *Thymus capitatus* sur l’acarien phytophage *Tetranychus urticae* Koch (Acari : Tetranychidae). *European Scientific Journal*, 14(3), 118.
16. **Aissaoui, F., Hedjal-Chebheb, M., Soltani, A., Haouel-Hamdi, S., Talhi, O., Ziani, B. E. C., Jemâa, J. M. B., 2021.** Variations of chemical composition of two Algerian essential oils collected for different seasons and assessment of their insecticidal toxicity against three moth pests. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(5) 1167-1176.
17. **Aissata, C., 2009.** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coléoptéra, curculionidae) et *Tribolium castaneum* herbest (Coléoptéra : Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d’étuvage traditionnelle pratiquée en basse guinée et l’utilisation des huiles essentielles. Thèse de doctorat en sciences de l’environnement. Université de Québec à Montréal .173p.
18. **Ait Youcef, M., 2006.** Plantes médicinales de Kabylie. Edition Ibis Press-Paris :217-283.
19. **Akbay, H., Isikber, A.A., Saglam, O., Tunaz, H., Kubilay Er, M., 2018.** Efficiency of ozone gas treatment against *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) (Indian meal Moth) in hazelnut. 12th International Working Conference on stored product protection (IWCSPP) in Berlin, Germany:7.
20. **Ali-Delille, L., 2010.** Les plantes médicinales d’Algérie, 2^{ème} édition Berti, Alger, pp. 239.

21. **Allahvaisi, S., Jahromi, K.T., Imani, S., Khanjani., M., 2017.** Efficacy of electrosupun bio nanofibers as fumigant pesticides in foodstuff storage. *Journal of Plant Protection Research*.57 (1):72-80.
22. **Allam, A., 2008.** Etude de l'évolution des infestations du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* Linné,1973) par *Parlatoria blanchardi* Targ. (Homoptera diaspididae Targ.1982) dans quelques biotopes de la région de Touggourt. Thèse de doctorat en sciences agronomiques (entomologie appliquée). Institut national agronomique-El-Harrach Alger-Algérie. 89p.
23. **Almeida, R.P., Cruz, I., Figueiredo, M.L., Silva, C.A.D., 2013.** Technologie de production de *Trichogramma spp.* Pour la lutte biologique contre les Lépidoptères-ravageurs. Edition, Embrapa. 86p.
24. **Alvarenga, J.P., Braga, A.F., Pacheco, F.V., Carvalho, A.A., Pereira Pinto, J.E., 2021.** Seasonal variation in essential oil content and chemical profile of min in southeast of Brazil. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 51 (11):10.
25. **Amri, I., Hamrouni, L., Hanana, M., Jamoussi, B., Lebdi, K., 2014.** Essential oils as biological alternatives to protect date palm (*Phoenix dactylifera* L.) against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lépidoptera: Pyralidae). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74 (3):7p.
26. **Anonyme., 1975.** Le palmier dattier en Algérie, Insti, Techno. Moyen. Agri, Mostaganem. 63p
27. **Anonyme., 2009.** De bonnes dattes Pendant toute l'année. Ed. Abou Dhabi. 30p.
28. **Anonyme., 2020.** Comité de l'Agriculture Vingt-septièmes session. Proposition relative à la célébration d'une année internationale du palmier dattier. 28p.
29. **Aouadi, G., Haouel, S., Soltani, A., Ben Abada, M., Boushah, E., Elkahoui, S., Bennadja, S., 2020.** Screening for insecticidal efficacy of two Algerian essential oils with special concern to their impact on biological parameters of *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127, 471-482.
30. **Arbogast, R. T., 2007.** A wild strain of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) from farm-stored maize in South Carolina: development under different temperature, moisture, and dietary conditions. *Journal of Stored Products Research*, 43(2), 160-166.

31. **Nezhad, A.S., Jabaleh, I., 2021.** Efficacy of eucalyptus essential oils fumigant control against *Ectomyelois ceratoniae* (Lépidoptera: Pyralidae) under various space occupation conditions. *Journal of Experimental Animal Biology*, 6 (1): 35-39.
32. **Aslan, İ., Çalmaşur, Ö., Şahin, F., Çağlar, Ö., 2005.** Insecticidal effects of essential plant oils against *Ephestia kuehniella* (Zell.), *Lasioderma serricorne* (F.) and *Sitophilus granarius* (L). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 257-267.
33. **Athamena, S., 2009.** Etude quantitative des flavonoïdes des graines de *Cuminum ayminum* et les feuilles de *Rosmarinus officinalis* et l'évaluation de l'activité biologique. Mémoire de magister. Université d'El Hadj Lakhdar de Batna.
34. **Attou, A., 2017.** Détermination de la composition chimique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques de l'Ouest Algérien (Région d'Ain Témouchent). Etude de leurs activité antioxydant et antimicrobienne. Thèse de doctorat en biologie. Univ. Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.124p.
35. **Auneau, M., Bermon, A., Bougler, J., Ney, B., Roger-Estrad, J., 2000.** Larouse agricole. 4^{eme} edition ,750p.
36. **Ayvaz, A., Sagdic, O., Karaborklu, S., Ozturk, I., 2010.** Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. *Journal of insect science*, 10 (1).
37. **Babahani, S., Eddoud, A., 2012.** Effet de la température sur l'évolution des fruits chez quelques variétés du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), *Algerian journal of arid Environment AJAE*, 2(1), 36-41.
38. **Bachrouch, O., Jemâa, J. M. B., Wissem, A. W., Talou, T., Marzouk, B., Abderraba, M., 2010.** Composition and insecticidal activity of essential oil from *Pistacia lentiscus* L. against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller and *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of stored products research*, 46(4), 242-247.
39. **Balachowsky, A. S., 1971.** Sur un nouveau genre de *Coccoidea diaspidinae* du sud de Madagascar. *Bulletin de la société entomologique de France*, 76 (3), 102-106.
40. **Balachowsky, A.S., 1966.** Entomologie appliquée à l'agriculture. Volume 2, Edition Masson-Paris.p1-3.
41. **Balachowsky, A.S., 1972.** Entomologie appliquée à l'agriculture, Edition Masson, Paris, pp.1634.
42. **Barbosa, L. C. A., Filomeno, C. A., Teixeira, R. R., 2016.** Chemical variability and biological activities of eucalyptus spp. Essential oil. *Molécules*, 21(12), 1671.

43. **Barchan, A., Bakkali, M., Arakrak, A., Laglaoui, A., 2016.** Effet antibactérien et anti-biofilm de trois espèces de *Mentha* : *Mentha spicata*, *Mentha pulegium* et *Mentha piperita*. *Phytothérapie*, 14(2), 88-96.
44. **Barreveld, W. H., 1993.** Date palm products. FAO. Bulletin 101. Rome. 275 p.
45. **Bedrani, S., 1981.** L'agriculture Algérienne depuis 1966. Edition française et l'office.
46. **Belaid, D., 2015.** La culture du palmier dattier en Algérie. Collection : Sciences et techniques agronomiques.35p.
47. **Belguedj, M., 1996.** Caractéristiques des cultivars de dattier du sud-est du Sahara Algérien. Vol. I. Conception et réalisation : Filière « cultures pérennes » de l'IIDAS, 67 p.
48. **Belguedj, M., 2001.** Caractéristiques des cultivars de dattes dans les palmeraies du sud-est Algérien. *Revue annuelle*. Vol.11. INRAA. Al-Harrach. Alger. 289p.
49. **Benayache, F., 2013.** Etude phytochimique et biologique de l'espèce *Thymus numidicus* Poiret. Mémoire de magister en synthèse organique et substance naturelle. Université de Constantine .155p.
50. **Benbouali, M., 2006.** Valorisation des extraits de plantes aromatiques et médicinales de : *Mentha rotundifolia* et *Thymus vulgaris*. Mémoire de magister en génie des procédés. Univ. Hassiba Ben Bouali-Chelef.177p.
51. **Bennadja, S., Bélair, G., Ait Kaki, Y., 2013.** La subéraie de la Numidie orientale : une source de biodiversité. *Quaderni Botanica ambientale applicata*, 24, 49-53.
52. **Bensalah, M.K., Ouakid, M.L., 2013.** Test for biological control of the moth dates *Apomyelois ceratoniae* Zeller,1983 (Lepidoptera: Pyralidae) by the use of *Phanerotoma flavitestacea* fisher (Hymenoptera: Braconidae) and *Bracon hebetor* SAY5Hymenoptera: Braconidae) in controlled conditions. *Courrier du Savoir*, 20.7p.
53. **Benziouche, S. E., Cheriet, F., 2012.** Structure and constraints of date industry in Algeria (*Structure et contraintes de la filière dattes en Algérie*) (4). 50p.
54. **Booij, I., Piombo, G., Risterucci, A. M., Coupe, M., Thomas, D., Ferry, M., 1992.** Etude de la composition chimique de dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Fruits*, 47(6), 667-678.
55. **Borugă, O., Jianu, C., Mișcă, C., Goleț, I., Gruia, A. T., Horhat, F. G., 2014.** *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity. *Journal of medicine and life*, 7(Spec Iss 3), 56.

56. **Bouchikhi, T.Z., 2011.** Lutte contre bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* (Coléoptéra, Bruchidae) et la mite *Tineola bisselliella* (Lépidoptera, Tineidae) par des plantes aromatiques et leurs huiles essentielles. Thèse de doctorat en écologie animale. Univ. Aboubakr-Belkaid.Telmcen.169p.
57. **Bouguedoura, N., 1979.** Contribution à la connaissance du palmier dattier. *Phoenix dactylifera L.*, étude des productions axillaires. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université Montpellier II, France.
58. **Bouguerra, N., 2019.** Efficacité comparée des extraits de deux plantes, *Thymus vulgaris* et *Origanum vulgare* à l'égard d'une espèce de moustique *Culex pipens* : Composition chimique, toxicité, biochimie et biomarqueurs. Thèse de doctorat en physiologie animale appliquée à la santé et l'environnement. Univ de Tebessa.160p.
59. **Bouka, H., Chemseddine, M., Abbassi, M., Brun, J., 2001.** La pyrale des dattes dans la région de Tafilalet au Sud-Est du Maroc. *Fruits*, 56 (3), 189-196.
60. **Boukhatem, M. N., Ferhat, A., Kameli, A., 2019.** Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Une*, vol 3, p 4.
61. **Boukhatem, M. N., Hamaidi, M.S., Saidi, S., Hakimy, Y., 2010.** Extraction, composition et propriétés physicochimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (*Pelargonium graveolens L.*) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie). *Nature et Technologie*. 2(2),37- 45p.
62. **Boukhebti, H., Chaker, A. N., Belhadj, H., Sahli, F., Ramdhani, M., Laouer, H., Harzallah, D., 2011.** Chemical composition and antibacterial activity of *Mentha pulegium L.* and *Mentha spicata L.* essential oils. *Der Pharmacia Lettre*, 3(4), 267-275.
63. **Boulanouar, A., Hamid, K., Ahmed, M., Larbi, B., Saliha, R., Siham, B., 2017.** Variability of the physicochemical composition between unscathed and dates infested by the moth *Ectomyelois ceratoniae* Zeller. *Applied Biology in Saharan Areas*,1(1), 7.
64. **Bounaga, N., Djerbi, M., 1990.** Pathologie du palmier dattier. *Les Systèmes Agricoles Oasiens*, 127-132.
65. **Bounagua, N., 1985.** Contribution à l'étude du *Fusarium oxysporum f. sp albedinis* (Killian et Maire) Gordon, agent de la fusariose du palmier dattier. Thèse de doctorat d'état. USTHB. Alger.
66. **Bouras, A., 2019.** Bio écologie de quelques espèces de Lépidoptères en milieux agricoles sahariens (Cas des régions d'Ouargla et de Biskra). Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Univ. Kasdi Merbah-Ouargla. Algerie.174p.

67. **Bousbia, N., 2013.** Extraction des huiles essentielles riches en antioxydants à partir de produits naturels et de coproduits agroalimentaires. Thèse en Chimie. Univ. Avignon et des pays de Vaucluse et école nationale supérieure agronomique. 176p.
68. **Brari, J., Thakur, D. R., 2018.** Larvicidal effects of eight essential oils against *Plodia interpunctella* and *Tribolium castaneum*, serious pests of stored products worldwide. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(5), 738-742.
69. **Brindley, T. A., 1930.** The Growth and Development of *Ephestia Kuehniella* Zeller (Lepidoptera) and *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera) under controlled conditions of temperature and relative humidity. *Annals of the Entomological Society of America*, 23(4), 741-757.
70. **Bruneton, J., 1999.** Phytochimie, plante médicinales. Ed. Technologie et documentation. Lavoisier, 385-623.
71. **Burgerjon, A., Grison, P., 1971.** Effets de *Bacillus thuriangiensis* Berliner (cristaux-spores et toxine thermostable) sur le potentiel biotique de *Zeiraphera diniana* Gn. in *Annales des Sciences Forestières*, 28 (4), pp. 391-401.
72. **Carlier-Loy, P., 2015.** *Mentha spicata* : Description et utilisations en thérapeutique et en agriculture comme anti germinatif sur la pomme de terre. Thèse de doctorat en en pharmacie. Univ. Picardie Jules Verne. 99p.
73. **Chargui, H., Soltani, A., Djebbi, T., Mediouni Ben-Jemaa, J., 2021.** Fumigant potential of essential oils from *Laurus nobilis* (Lauraceae) against the date moth *Ectomyelois ceratoniae* (Pyralidae). *Journal proceedings*, 68. p5.
74. **Chema, A., Longo, H. F., 2001.** Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation du bétail. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation-Biomasse*, 59-64.
75. **Chen, H., Akinkurolere, R. O., Zhang, H., 2011.** Fumigant activity of plant essential oil from *Armoracia rusticana* (L.) on *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *African Journal of Biotechnology*, 10 (7), 1200 -1205.
76. **Cheurfa, M., Allem, R., Sebahia, M., Belhireche, S., 2013.** Effet de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* sur les bactéries pathogènes responsables de gastroentérites. *Phytothérapie*, 11(3), 154-160.
77. **Chibane, H., Benamara, S., Noui, Y., Djouad, A., 2007.** Some physicochemical and morphological characterizations of three varieties of Algerian common dates. *European Journal of scientific research* 18 (1), pp.134-140.

78. **Chikhoune, A., 2007.** Huiles essentielles du thym et d'origan, étude de la composition chimique, de l'activité antioxydant et antimicrobiennes. Thèse de doctorat en sciences alimentaires. Institut national Agronomiques El-Harrach.151p.
79. **Chougar, S., 2020.** Bio écologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick,1917) dans la région de Tizi Ouzou. Essais de lutte. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université de Tizi Ouzou. p156.
80. **Chouicha, S., Boubekri, A., Bouguettaia, H., Mennouche, D., Berrebeuh, M. H., 2010.** Séchage et qualité de dattes Deglet-Nour réhumidifiées par utilisation d'un séchoir solaire hybride. *Annales des sciences et technologie Vol, 2*(1).
81. **Cissokhou., P.S., Gueye, M.T., Sow, E.H., Diarra, K., 2015.** Substances inertes et plantes à effet insecticides utilisés dans la lutte contre les insectes ravageurs des céréales et légumineuses au Sénégal et en Afrique de l'Ouest. *Int. J. Biol. Chem Sci.* 9,1644-1563.
82. **Clémente, S., Mareggiani, G., Brousalis, A., Martino, V., Ferraro, G., 2003.** Insecticidal effects of Lamiaceae species against stored products insects. *Buletín de Sanidad vegetal plagas, 29*,1-8.
83. **Daouda, T., 2015.** Etude chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques médicinales de Cote d'Ivoire. Thèse de doctorat en biochimie. Univ. Felix Houphouet-Boigny.153p.
84. **Dargali, L., Razovi-Azakhiavi, K., Ramezaoui, M., Reza Abaee, M., Beharvan, J., 2014.** Insecticidal activity of the essential oil of *Thymus transcaspicus* against *Anopheles stephensi*. *Asian pacific journal of tropical biomedicine, (4)* :589-591.
85. **Dawson, R.H.W., Aten, A., 1963.** Récolte et conditionnement des dattes. Organisation du Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Ed, FAO, Rome, Italie. 397p.
86. **Dehliz, A., Lakhadri, W., Acheuk, F., Hammi, H., Soud, A., M'lik, R., 2016.** Potentialité des parasitoïdes autochtones du sud-est algérien dans la lutte contre la pyrale des dattes. *Entomologie Faunistique, vol. 69*,75-75.
87. **Delmi, A., Taibi, F., Fissah, A., Gherib, S., Boulikari, M., Cheffrou, A., 2013.** Bio-activité des huiles essentielles de l'Armoise blanche *Artemessia herba alba* : effet sur la reproduction et la mortalité des adultes d'un ravageur des denrées stockées *Ephestia kuehniella* (Lépidoptera). *Afrique Science 09 (3)* : 82-90.

88. **Deschepper, R., 2017.** Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. Thèse de doctorat en Pharmacie. Marseille : Université d'Aix -Marseille.172p.
89. **Devshoney, S. E., Shani, A., 1992.** Nouveau dictionnaire des huiles végétales. Techniques et documentation. Lavoisier (1995).
90. **Dhouibi, H., 1989.** Etude bioécologique d'*Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lépidoptera, Pyralidae) dans les zones présahariennes de la Tunisie. Thèse de doctorat en entomologie. Univ. Pierre et Marie Curie-Paris 6-164p.
91. **Dhouibi, M. H., Jemmazi, A., 1996.** Lutte biologique en entrepôt contre la pyrale *Ectomyelois ceratoniae*, ravageur des dattes. *Fruits*, 51(1), 39-46.
92. **Dhouibi, M. H., Jerraya. A., 1991.** Trials of chemical control of the white fly *Aleurothrixus floccosus* mask (Homoptera Aleyrodidae) in Algeria in *international Symposium over fytofarmacie en fytiatricie*.
93. **Dhouibi, M.H., 1982.** Etude bioécologique d'*Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lépidoptera, Pyralidae) dans les zones présahariennes de la Tunisie. Thèse de doctorat en biologie animale. Université de Pierre et Marie Curie.164p
94. **Djerbi M., 1994.** Précis de phoeniciculture. FAO. 192 p.
95. **Djerbi, M., 1989.** Les maladies du palmier, projet régional sur le bayoud. Ed FAO. 195 p.
96. **Djerbi, M., 1992.** Pollinisateurs et soins apportés aux régimes. Précis de phoeniciculture. Pp 97-93.
97. **Djibo, A.K., 2000.** Analyse des huiles essentielles de quelques plantes de la flore Burkina Faso appartenant aux familles des Lamiacées (*Hyptis spicigera* Lam., *Hyptis suaveolens* Poit., *Ocimum americanum* L.) et des poacées (*Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng, *Cymbopogon giganteus chiov* et *Cymbopogon citratus* (DC) Stap. Thèse de doctorat en chimie organique appliquée. Univ. Ouagadougou.168p.
98. **Douay, S., 2009.** Menthe verte (*Mentha spicata*). SVB. Faculté libre des sciences et technologie. 2-3p.
99. **Doumandji mitiche, B., 1985.** Les parasites des pyrales de dattes dans quelques oasis algériennes et particulièrement ceux d'*Ectomyelois ceratoniae* Zeller, (Lépidoptera, Pyralidae). Essais de lâchers de *Trichogramma embryophagum* (Hymenoptera, Trichogrammatidae) dans les palmeraies à Ouargla (Algérie).

100. **Doumandji mitiche, B., Doumandji, S. E., 1988.** Note sur l'installation en Mitidja de *Cales noacki* How. (Hym. Aphelinidae) ennemi naturel de l'aleurode floconneux (*Aleurothrixus floccosus* Mask.) (Hom Aleurodidae).
101. **Doumandji, B., 1974.** Les pyrales de dattes stockées. 38p.
102. **Doumandji, S., 1972.** Action des radiations gamma sur la fertilité et longévité d'*Acan thoscelides obtectus* say (Coléoptéra, Bruchidae). Thèse de 3^{eme} cycle, Fac. Sci. Paris.
103. **Doumandji, S., 1978.** Contribution à l'étude biologique de la pyrale des caroubes, *Ectomyelois ceratoniae*. Extrait des comptes rendus des journées du CERAG.12p.
104. **Doumandji, S., 1981.** Biologie et écologie de la pyrale des caroubes dans l'Algérie *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lépidoptère, Pyralidae). Thèse de doctorat. Univ. Pierre et Marie Curie. Paris. 145p.
105. **Doumandji-Mitich, B et Doumandji, S., 1988.** La lutte biologique contre les déprédateurs des cultures. Collections cours d'agronomie. Office des publications universitaire. Alger. 99p.
106. **Doumandji-Mitich, B., 1983.** Contribution à l'étude bioécologique des parasites et prédateurs de la pyrale des caroubes *Ectomyelois ceratoniae* en Algérie en vue d'une éventuelle lutte biologique contre ce ravageur. Thèse de doctorat en Science. Univ. Paris VI. 253p.
107. **Draghi, L., Razoui, K.A., Ramezoni, M., Abaee, M.R., Behravan, J., 2014.** Insecticidal activity of the essential oil of *Thymus transcaspicus* against *Anopheles stephensi*. *Asian Pac J Trop Biomed*; 4 (Suppl2): 589-591.
108. **Dridi, I., Haouel-Hamdi, S., Cheraief, I., Mediouni Ben-Jemaa, J., Landoulsi, A., Chaouch, R., 2021.** Essential oil from flowering tops of *Lavandula dentate* (L): Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and insecticidal activities. *Journal of essential oil –Bearing Plants Taylor & Francis*. 24:17p.
109. **Dubost, D., 1972.** Le bayoud en Algérie-histoire et pronostics. *Revue de la recherche agronomique* (1). 33-39p.
110. **Ebadollahi, A., 2013.** Plant essential oils from *Apiaceae* family as alternatives to conventional insecticides. *Ecologia Balkanica* (5):149-172p.
111. **Eddine, B. S., Foued, C., 2010.** La conduite du palmier dattier dans les palmeraies des Zibans (Algérie) quelques éléments d'analyse. *European Journal of Scientific Research*, 42(4), 644-660.

112. **Ed-Dra, A., Nalbone, L., Filali, F.R., Trabelsi, N., El Majdoub, Y.O., Bouchrif, B., Giarratana, F., Giuffrida, A., 2021.** Comprehensive evaluation on the use of *Thymus vulgaris* essential oil as natural additive against different serotypes of *salmonella enterica*. *Journal Sustainability*,13,4597.
113. **El Oualilalami, A., El-Akhal, F., Ouedrhiri, W., Ouazzani chahdi, F., Guemmouh, R., Greche, H., 2013.** Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de deux plantes aromatiques du centre nord marocain : *Thymus vulgaris* et *Thymus satureioidis*. *Les technologies de laboratoires*, 8 (31) : 27-33.
114. **EL Ouar, I., Aribi, N., Soltani-Mazouni, N., 2010.** Dosage des ecdystéroïdes chez *Ephestia kuehniella*. *Travaux de l'institut scientifique, Série, Zoologie, Rabat*, 47(1) : 137-140.
115. **Elimem, M., Kalboussi, M., Lahfef, C., Rouz, Kharroubi, H., Kouki, S., Ragnoni, G., Pizzuti, G., Primavera, F., Riccini, A., Cari, A., 2021.** Evaluation of insecticidal efficiency of basalt powder “Farina di Basalto” to control *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera; Bostrichidae) and *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera; Pyralidae) on stored wheat. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 14:01-06.
116. **El-Khoumsi, W., Hammani, A., Kuper, M., Bouaziz, A., 2017.** La durabilité du système oasien face à la détérioration des ressources en eaux souterraines : cas de la palmeraie de Tafilalet. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 5(1) :41-51.
117. **Elzghari, M., 1969.** Elevage de la teigne de la farine *Anagasta kuehniella* Zeller et utilisation de la ponte comme nourriture de coccinelle prédatrices. *Al-Awamia*,33, p. 25-43.
118. **Ercan, F., Baş, H., Koç, M., Pandir, D., Öztemiz, S., 2013.** Insecticidal activity of essential oil of *Prangos ferulacea* (Umbelliferae) against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Trichogramma embryophagum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(6), 719-725.
119. **Escobar, A., Perez, M., Romanelli, G., Blustein, G., 2020.** Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. *Arabian Journal of Chemistry*., 13,9243-9269.
120. **Estanove, P., 1990.** Valorisation de la date. Cihame. Option méditerranéennes, Sér. A/ (11).318p.

121. **Fedala, N., Mokhtari, M., Mekimene, L., 2020.** Contribution à la valorisation des dattes (Deglet-Nour) dans la fabrication du fromage de chèvre. *Revue Agrobiologia*. 10 (1) pp : 1918 -1928.
122. **Fernandez, D., Lourd, M., Ouinten, M., Geiger, J. P., 1995.** Le Bayoud du palmier dattier : une maladie qui menace la phoeniciculture. *Phytoma : la Défense des Végétaux*, (469), 36-40.
123. **Figueredo, G., 2012.** Etude chimique et statistique de la composition d'huile essentielle d'origans (Lamiaceae) cultivé issus de graine d'origine méditerranéenne. Thèse de doctorat en chimie organique. Univ. Blaise Pascal. D.U.1932 :417p.
124. **Frédérique, A. B., 2010.** Biotechnologie du palmier dattier, IRD Edition, Marseille, 264p.
125. **Funny, B., 2008.** Effet larvicide des huiles essentielles sur *Stomoxys calmiras* à la réunion. Thèse de doctorat en vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire.78p.
126. **Gedikoglu, A., Sökmen, M., Civit, A., 2019.** Evaluation of *Thymus vulgaris* and *Thymus braspicata* essential oils and plants extracts for chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties. *Food Sciences & Nutrition* ;1-11.
127. **Gilles, P., 2000.** Cultiver le palmier dattier. Edition. Cirad, 110 p.
128. **Gilly, G., 2005.** Les plantes aromatiques et les huiles essentielles à Grasse : Botanique, Culture, Chimie, production et marché. Edition Harmattan, Paris, 418p.
129. **Girard, 1962.** Note sur le palmier dattier. C.F.P.A. de Touggourt. 133p.
130. **Gothilf, S., 1969.** The biology of the carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Zell.) in Israel. II. Effect of food, temperature, and humidity on development. *Israel Journal of Entomology*, 4(1), 107-116.
131. **Gothilf, S., 1970.** The biology of the carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Zell.) in Israel. III. Phenology on various hosts. *Israel Journal of Entomology*, 5, 161-175.
132. **Goto, K., Yagi, S., Oku, J., Tomura, S., Yamaguchi, D., Hirowatari, T., 2021.** Surveys on detritivorous moths using bait traps in Japan. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 21,39.
133. **Goucem, K., 2014.** Etude de l'activité insecticides des huiles essentielles et des poudres de quelques plantes à l'égard du bruche du haricot *Acanthocelides obtectus* Say (Coléoptéra, Chrysalidae, Bruchinae) et comportement de ce ravageur vis-à-vis des composés volatils de différentes variétés de la plante hôte (*Phaseolus*

- vulgaris* L.). Thèse de doctorat en sciences biologiques. Univ. Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.144p.
134. **Gvozdenac, S., Tanasković, S., Ovuka, J., Vukajlović, F., Čanak, P., Prvulović, D., Sedlar, A., 2019.** Low temperature tolerance of *Plodia interpunctella*, *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais*: The prevalent pests of stored maize in Serbia. *Acta Agriculturae Serbica*, 24(48), 143-155.
135. **Hached, W., 2019.** Les ravageurs des oranges Thomson, cas d'*Ectomyelois ceratoniae* Zeller, (Lépidoptères : Pyralidae) diversité génétiques, bioécologique. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Institut national agronomiques de Tunisie. 234p.
136. **Hached, W., Romdhane, S., Sahraoui, H., Grissa-Lebdi, K., 2018.** Control trials against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller 1881 (Lepidoptera: Pyralidae) under controlled conditions and in *citrus orchard*. Essais de lutte contre *Ectomyelois ceratoniae* Zeller 1881 (Lépidoptera : Pyralidae) sous conditions contrôlées et en verger. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 49 (3), 2961-2970.
137. **Hadjeb, A., 2012.** Influence de la qualité nutritive de trois variété de dattes sur le potentiel biologique de la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller,1939). Mémoire de magister en agriculture et environnement en région arides. Univ Mohamed Kheider-Biskra. 64p.
138. **Hamdi, S. H., Hedjal-Chebheb, M., Kellouche, A., Khouja, M. L., Boudabous, A., Jemâa, J. M. B., 2015.** Management of three pests' population strains from Tunisia and Algeria using eucalyptus essential oils. *Industrial Crops and Products*, 74, 551-556.
139. **Haouel, S., Mediouni-Ben Jemâa, J., Khouja, M. L., 2010.** Postharvest control of the date moth *Ectomyelois ceratoniae* using eucalyptus essential oil fumigation. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 5(2), 201-212.
140. **Haron, N. W., Moore, D. M., 1996.** The taxonomic significance of leaf micromorphology in the genus *Eugenia* L.(Myrtaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 120(3), 265-277.
141. **Hassani, A., Seharin, N., Sehari, M., Bouchenaf, N., Labdelli, F., Bouchenafa, N., 2017.** Etude des propriétés insecticides et bactéricides de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. dans la lutte contre les ravageurs des semences et denrées stockées. *Revue Ecologie Environnement*, (13), p11.

142. **Hedjal-Chebheb, M., 2014.** Identification des principes actifs des huiles essentielles de quelques résineux et plantes aromatiques de provenance Algérienne et Tunisienne. Etude de leurs activités biologiques à l'égard d'un insecte ravageur des graines stockées, *Callosobrochus maculatus* F.1775 (Coléoptéra : Bruchidae). Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université de Tizi Ouzou. p81.
143. **Hikal, W. M., Baeshen, R. S., Said-Al Ahl, H. A., 2017.** Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biology*, 3(1), 1404274.
144. **Huang, F., Subramanyam, B., 2003.** Effects of delayed mating on reproductive performance of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, 39(1), 53-63.
145. **Huignard, J., Glito, I.A., Monge, J.P., Regnault-Roger, C., 2011.** Insectes ravageurs des grains légumineux. Edition Quae France : 97-110pp.
146. **Hunoz, K., Calderon, J., Osoria, E., Castra, D., Serna, R., Diaz, J., London, J., 2011.** Rapid HPLC-based method for quality control: simultaneous chemical analysis and antioxidant activity determination in herbal nutraceutical and functional foods. 11th International congress on engineering and food. *Procedia Food Science*, 1:960-964.
147. **Idder, M. A., Idder-Ighili, H., Saggou, H., Pintureau, B., 2009.** Taux d'infestation et morphologie de la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) sur différentes variétés du palmier dattier *Phoenix dactylifera* (L.). *Cahiers Agricultures*, 18(1), 63-71.
148. **Idder, M.A., 1992.** Aperçu bioécologique sur *Parlatoria blanchardi* Targ. (Homoptera, Diaspididae) en palmeraies de Ouargla et utilisation de son ennemis *Pharoscygnus semiglbosus* karsh (Coléoptéra, Coccinellidae) dans le cadre d'un essai de lutte biologique. Thèse de magistère en sciences agronomiques. INA El-Harrach, Alger.
149. **Idder-Ighili, H., Idder, M. A., Doumandji-Mitiche, B., Chenchouni, H., 2015.** Modeling the effects of climate on date palm scale (*Parlatoria blanchardi*) population dynamics during different phenological stages of life history under hot arid conditions. *International journal of biometeorology*, 59 (10), 1425-1436.
150. **Ismahane, L., Khoula, B.A., Rahim, A.A., Ibrahim., Seghir, M.M., Ayoub, H., Laid, O.M., 2021.** Effect of two essentials oils from the Asteraceae family against *Ectomyelois ceratoniae* Zell. (Lepidoptera, pyralidae): case of *Artemisia herba-Alba asso*. And *Artemesia compestris* L. *J. Bio-Sci.*29(2):09-17.

151. **Ismaili, R., Lamiri, A., Moustaid, K., 2016.** Study of anti-eczema activity of essentials oils of *Thymus vulgaris*, *Citrus limonum* and *Mentha spicata* from Morocco (Etude de l'activité anti-eczémateuse des huiles essentielles de *Thymus vulgaris*, *Citrus limonum* et *Mentha spicata* du Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14(1), 113.
152. **Isman, M.B., 2000.** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop protection*, 19(8-10), 603-608.
153. **Ismane, M.B., 2006.** Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated word. *Ann, Rev, Entomol* 51,45-66.
154. **Jalas, J., 1971.** Note of *Thymus* L.(Labiatae) in Europe .1. Supra specific classification and nomenclature. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol.64 pp199-215.
155. **Jerraya, A., 1993.** Principaux ravageurs du palmier dattier et moyens préconisés pour les combattre.
156. **Jesser, E. N., Werdin-González, J. O., Murray, A. P., Ferrero, A. A., 2017.** Efficacy of essential oils to control the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4), 1122-1129.
157. **Kamatou, G. P., Van Zyl, R. L., Van Vuuren, S. F., Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., Viljoen, A. M., 2008.** Seasonal variation in essential oil composition, oil toxicity and the biological activity of solvent extracts of three south African salvia species. *South African Journal of botany*, 74(2), 230-237.
158. **Karabörklü, S., Ayvaz, A., Yilmaz, S., Akbulut, M., 2011.** Chemical composition and fumigant toxicity of some essential oils against *Ephestia kuehniella*. *Journal of economic entomology*, 104(4), 1212-1219.
159. **Karahacane, T., 2015.** Activité insecticide des extraits de quelques plantes cultivées et spontanées sur les insectes du blé en post récolte. Thèse de doctorat en entomologie appliquée. Ecole nationale supérieure d'agronomie.166p.
160. **Kassimi, A., El Watik, L., Moumni, M., 2011.** Action insecticide de certaines huiles essentielles et végétales. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 7(2) 85-93.
161. **Kechai, S., Daoud, Y., 2017.** Qualité de la datte Deglet-Nour produites sur des sols sales et gypseux dans les oasis des Zibans- Algérie. *Courrier du savoir* (22), p.27-34.

162. **Kerbouche, L., 2010.** Composition chimique et activité biologique des huiles essentielles de quelques plantes des familles de Labiacées et de Cupressacées. Mémoire de magister. E.N.S.A. El-Herrach-Alger. 183p.
163. **Khaddar, M.F., 2018.** Alternatives à l'antibiothérapie par les huiles essentielles et synergie d'action. Thèse de doctorat en pharmacie. Univ. Aix – Marseille, 106p.
164. **Khali, M., 2008.** Effets de traitements simples et combines sur la biologie et la biochimie de la datte en cours de conservation. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Institut national agronomique-El-Harrach (Alger). 174p.
165. **Kheirkhah, M., Ghasmi, V., Khoshnood, Y., Rahban, S., 2015.** Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Ziziphora Clinopodioides Lam.* used against the mediterranean flour moth, *Ephestia Kuehniella* Zeller. *Journal of plant protection research*, 55 (3):6p.
166. **Khelfane-Goucem, K., Medjdoub-Bensaad, F., Leppik, E., Frérot, B., 2014.** Dry bean volatile organic compounds mediating host choice in *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). In *Annales de la Société entomologique de France (NS)* (Vol. 50, No. 2, pp. 167-176). Taylor & Francis.
167. **Kheloul, L., 2021.** Etude de la biologie et de la sensibilité à l'action de quelques huiles essentielles de *Tribolium confusum* Duval (Coléoptéra : ténébrionidé), un insecte ravageur des denrées alimentaires stockées. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Univ. Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 131p.
168. **Kheloul, L., Anton, S., Gadenne, C., Kellouche, A., 2020.** Fumigant toxicity of *Lavandula spica* essential oil and linalool on different life stages of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(2), 320-326.
169. **Khoshraftar, Z., Safekordi, A. A., Shamel, A., Zaefizadeh, M., 2019.** Synthesis of natural Nano pesticides with the origin of *Eucalyptus globulus* extract for pest control. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 12(3), 286-298.
170. **Khoualdia, O., Rhouma, A., Marro, J. P., Brun, J., 1997.** Premières observations sur *Oryctes agamemnon*, ravageur du palmier dattier en Tunisie. *Fruits*, 52(2), 111-115.
171. **Kumar, R., 2017.** Insect pests of stored grain: Biology, behavior, and management strategies. *Apple Academic Press*. 64p

172. **Lahrech, K., 2010.** Extraction et analyse des huiles essentielles de *Mentha pulegium* L. et de *Saccocalyse satureioides* tests d'activités antibactériennes et antifongiques. Mémoire de magister en chimie moléculaires. Université d'Oran Es-Sénia. 121p.
173. **Le Berre, M., 1978.** Mise au point le problème du ver de la date *Myelois ceratoniae* Zeller. Bull. Agr.Sahar.1. (4) :1-35p.
174. **Lebon, A., 2020.** Guide à l'usage des huiles essentielles dans l'industrie cosmétique. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de Toulouse III. 252p.
175. **Lepigre, A.L., 1963.** Essais de lutte sur l'arbre contre la pyrale des dattes *Myelois ceratoniae* Zell, Pyralidae. *Ann. Epiphyties*,14 (2),85-101.
176. **Leplat, M., 2017.** Le Romarin, *Rosmarinus officinalis* L., une Lamiacée médicinale de la garrigue provençale. Thèse de doctorat en pharmacie. Univ. Aix-Marseille-France.229p.
177. **Likibi, B. N., Tsiba, G., Madiélé, A. B., Nsikabaka, S., Moutsamboté, J. M., Ouamba, J. M., 2015.** Constituants chimiques de l'huile essentielle de *Mentha piperata* L.(Lamiaceae) du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 92, 8578-8585.
178. **Lindquist, D. A., 2000.** Les pesticides : la chimie au service de la survie. *AIEA Bulletin*, 23(3).
179. **Loudhaief, R., 2018.** Effets des bio insecticides à base de *Bacillus thuriangiensis* sur la physiologie intestinale de la drosophile. Thèse de doctorat en science de la vie. Université Nice Sophia Antipolis Sciences. 214p.
180. **Maatallah, S., 1970.** Contribution à la valorisation de la datte Algérienne. Mémoire de magister en agronomie I.N.A. Alger,120p.
181. **Madkouri, M., 1977.** Notes sur deux Lépidoptères (Pyralidae, Phycitinae) infestant les dattes en palmeraie. *Al Awamia*, 53, 161-167.
182. **Mahmoud, M., Abbasipour, H., Basji, M., Hosseinpour, M.H., Rastegar, F., Nasiri, M.B., 2011.** Fumigant toxicity of some essential oils on adults of some stored-product pests. *CHILEAN JAR.RES*,71 (1) :7.
183. **Mahroof, R., Subramanyam, B., 2006.** Susceptibility of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) developmental stages to high temperatures used during structural heat treatments. *Bulletin of entomological research*, 96(6), 539-545.

184. **Mbata, G. N., 1986.** Combined effect of temperature and relative humidity on mating activities and commencement of oviposition in *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Phycitidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 7(5), 623-628.
185. **Mbata, G. N., Osuji, F. N., 1983.** Some aspects of the biology of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), a pest of stored groundnuts in Nigeria. *Journal of Stored Products Research*, 19 (3), 141-151.
186. **Mbata, G. N., Pascual-Villalobos, M. J., Payton, M. E., 2012.** Comparative mortality of diapausing and non diapausing larvae of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) exposed to monoterpenoids and low pressure. *Journal of economic entomology*, 105(2), 679-685.
187. **Mbata, G. N., Shapiro-Ilan, D. I., 2005.** Laboratory evaluation of virulence of heterorhabditid nematodes to *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology*, 34(3), 676-682.
188. **Mediouni Ben-Jemaa, J., Haouel, S., Khouja, M.L., 2012.** Control of the Carob moth *Ectomyelois ceratoniae* with essential oil fumigation. Arber professional congress services, Turkeu: 58-62p.
189. **Meftah, T., Saadi, A., 1992.** Etude de la composition chimique de la datte fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Research International*, 44 : 10p
190. **Meligi, M.A., Sourial, G.F., 1982.** Fruit qualité and général évaluation of some Iraqi date and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Research International*, 44:1812 -1822
191. **Messadi, F., 2013.** Production de dattes en Algérie : Une filière d'avenir. Alger. 2 p.
192. **Mohamed, M. A., Mustapha, Khali., 2018.** Étude d'effets d'une technique de désinfestation par traitements simples de thermisation sur les critères de qualité microbiologique de la datte Deglet-Nour (*Phoenix dactylifera* L.) au cours de différentes conditions de stockage. *Agrobiologia*, 8(2), 1047-1057.
193. **Mohandass, S., Arthur, F. H., Zhu, K. Y., Throne, J. E., 2007.** Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products. *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 302-311.
194. **Morère, J. L., Le Berre, J. R., 1967.** Etude au laboratoire du développement de la pyrale *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lep. Phycitidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 72(5), 157-166.

195. **Mortazavi, S., Ghajarieh, H., Samih, M., Jafari, A., 2016.** Effect of some diets on biological parameters of *Apomyelois ceratoniae* in laboratory and efficiency of natural pheromone traps in pomegranate orchards. *Journal of Crop Protection*, 5(1), 115-124.
196. **Mouhi, L., 2017.** Etude des activités biologiques de l'association des huiles essentielles des plantes de la flore Algérienne. Elaboration d'une forme pharmaceutique. Thèse de doctorat en génie des procédés pharmaceutiques. Université Houari Boumediene. 168p.
197. **Mourales, R., 2012.** The history, botany and taxonomy of the genre *Thymus* in thyme. Ed Taylor. 12p.
198. **Munier, P., 1961.** Note sur le séchage et le conditionnement des dattes communes. *Fruits* 16 (8). 3p.
199. **Munier, P., 1973.** Le jujubier et sa culture. *Fruits*, 28(5), 377-388.
200. **Munier, P., 1974.** Sur l'origine de la datte Deglet-Nour. *Fruits*, 29(12), 823-824.
201. **Ncibi, S., 2020.** Potentiel bio insecticide des huiles essentielles sur deux ravageurs des céréales stockées *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) et *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) et identification de leur ennemis naturels. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Tunisie. Institut nationale agronomique de Tunisie. 245p.
202. **Nciri, N., 2006.** Production des dattes en Tunisie. Institut national agronomique de Tunisie. 23p.
203. **Nea, F., Kambire, D. A., Genva, M., Tanoh, E. A., Wognin, E. L., Martin, H., Fauconnier, M. L., 2020.** Composition, seasonal variation and biological activities of *Lantana camara* essential oils from Côte d'Ivoire. *Molecules*, 25(10), 2400.
204. **Nedjib-Rejeb, M., Larbi-Khouja, M., Ghrabi, Z., Chemli, R., Albouchi, A., Khaldi A., Dahman., M., 2006.** Guide des plantes médicinales et aromatiques, Edition Maghreb, pp129.
205. **Nezhadali, A., Nabavi, M., Rajabian, M., Akbarpour, M., Pourali, P., Amini, F., 2014.** Chemical variation of leaf essential oil at different stages of plant growth and in vitro antibacterial activity of *Thymus vulgaris* Lamiaceae, from Iran. *Beni-Suef university Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2), 87-92.

206. **Nixon, R.W., Carpenter, B., 1978.** Growing dates in united states. Département of agriculture information. *Bulletin prepared by science and education administration*, pp.44-45.
207. **Norouzi, A., Talebi, A. A., Fathipour, Y., 2008.** Development and demographic parameters of the carob moth *Apomyelois ceratoniae* on four diet regimes. *Bulletin of Insectology*, 61(2), 291-297.
208. **Olsson, P. O. C., Anderbrant, O., Löfstedt, C., 2005.** Flight and oviposition behavior of *Ephestia cautella* and *Plodia interpunctella* in response to odors of different chocolate products. *Journal of insect behavior*, 18(3), 363-380.
209. **Ouis, N., 2015.** Etude chimique et bibliographies des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil. Thèse de doctorat en sciences organiques. Université d'Oran. 239p.
210. **Oumane, A.T., Bensalah, M.K., Djazouili, Z.E., 2017.** Approche au monitoring de la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* Zeller par le recours aux moyens biologiques. *Revue Agrobiologia*, 7 (1) :312-320.
211. **Padrini, F., Lucheroni M.T., 1996.** Le grand livre des huiles essentielles, Editions De Vecchi S.A, Paris, 206p.
212. **Pandir, D., Hatice, B. A. Ş., 2016.** Compositional analysis and toxicity of four plant essential oils to different stages of Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Turkish Journal of Entomology*, 40 (2).185-195p.
213. **Perez-Mendoza, J., Aguilera-Pena, M., 2004.** Development, reproduction, and control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hubert) (Lepidoptera: Pyralidae), in stored seed garlic in Mexico. *Journal of Stored Products Research*, 40(4), 409-421 224.
214. **Peyron, G., 1994.** Cultiver le palmier dattier. Édition Gridao, Montpellier, France. 69p.
215. **Peyron, G., 2002.** Cultiver le palmier dattier. Ed Cirad 19. 110 p.
216. **Ponce, A. G., Fritz, R., Del -Valle, C., Roura, S. I., 2003.** Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *LWT-Food Science and Technology*, 36 (7), 679-684.
217. **Quezel, P., Santa, S., 1963.** Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed CNRS, Paris.

218. **Raja, N., Albert, S., Ignacimuthu, S. E., Dorn, S., 2001.** Effect of plant volatile oils in protecting stored cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walpers against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) infestation. *Journal of Stored Products Research*, 37(2), 127-132.
219. **Raja, R. R., 2012.** Medicinally potential plants of Labiatae (Lamiaceae) family: an overview. *Research journal of medicinal plant*, 6(3), 203-213.
220. **Refrafi, T., 2011.** La pyrale des *Ectomyelois ceratoniae* Zeller, 1839 (Lépidoptera, Pyralidae) dans la région du Biskra : Paramètres bioécologiques et essai d'une lutte biologique. Mémoire de magister en sciences agronomiques. Univ. Mohamed Kheider de Biskra. 100p.
221. **Regnault-Roger C., Bernard J.R., Philogène, C.V., 2008.** Bio pesticides d'origine végétale. Ed. Tec & Doc. Lavoisier, Paris, pp.16-38.
222. **Regnault-Roger, C., Hamraoui, A., 1993.** Efficiency of plants from the south of France used as traditional protectants of *Phaseolus vulgaris* L. against its bruchid *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Stored prod. Res.* 29 (3): 259-264.
223. **Reynes, M., 1997.** Influence d'une technique de désinfestation par micro-ondes sur les critères de qualité physico-chimiques et biochimiques de la datte. Thèse de doctorat en biotechnologies et industries alimentaires, institut national polytechnique de Lorraine. 251p.
224. **Reynes, M., Bouabidi, H., Piombo, G., Risterucci, A. M., 1994.** Caractérisation des principales variétés de dattes cultivées dans la région du Djérid en Tunisie. *Fruits*, 49(4), 289-298.
225. **Righi-Assia, A.F., 2010.** Etude de la relation plante-insecte chez les Bruchidées : cas du bruche du pois-chiche *Callosobruchus chinensis*. Thèse de doctorat en sciences biologiques et animales. Univ. Mascara. Algérie. 133p.
226. **Robert, G., Footit., Peter, H., 2009.** Insect biodiversity, John Wiley & Sons. 327p.
227. **Sabraoui, A., El-Bouhssini, M., Lahloui, S., Boulamitat, R., Bouchelta, A., 2016.** Insecticidal effects of essential oils against chickpea leaf miner *Liriomyza cineraria* R. *Revue Marocaine de Protection des plantes*, 9 :36-46.
228. **Saheb, N., 2007.** Activité acaricide de quatre huiles essentielles sur *Tetranychus cinnabarinus* Bois duval 1867 (Acari, Tetranychidae) et contribution à l'étude de leur composition chimique par GC/MS. Mémoire de magister en protection des végétaux. Institut national agronomique d'El-Harrach-Alger. 92p.

229. **Sambaraju, K. R., Donelson, S. L., Bozic, J., Phillips, T. W., 2016.** Oviposition by female *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): Description and time budget analysis of behaviors in laboratory studies. *Insects*, 7(1), 4.
230. **Sawaya, W.N., Khalil J.K., Safi W.M., Al-Shalat A., 1983.** Physical and chemical characterization of three Saudi date cultivars at various stages of development. *Can. Ins. Food Sci. Technol. J.* 16, 2, pp 87-93.
231. **Sedra, H., 2003.** Le bayoud du palmier dattier en Afrique du nord, FAO, RNE/SNEA-Tunis. Edition FAO sur la production des plantes. Imprimerie signe, Tunis, Tunisie.125p.
232. **Shaaya, E., Kostyukovysky, M., 2006.** Essential oils: potency against stored product insects and mode of action. *Stewart Postharvest Review*, 4(5), 1-6.
233. **Shirner, M., 2004.** Huile essentielle, description et utilisation de plus de 200 huiles essentielles et huiles végétales. Guy trédaniel. 323p.
234. **Shojaaddini, M., Moharramipour, S., Sahaf, B., 2008.** Fumigant toxicity of essential oil from *Carum copticum* against Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Journal of Plant Protection Research* 48 (4).
235. **Siboukeur, O., 1997.** Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. Thèse de Magister, INA. El-Harrach, Alger, 106 p.
236. **Sidali, L., Brada, M., Fauconnier, M.L., Lognay, G., 2014.** Composition chimique et activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* du nord de l'Algérie. *Phyto Chem and Bio Sub Journal*.8(3) :156-161.
237. **Sokovic, M. D., Vukojević, J., Marin, P. D., Brkić, D. D., Vajs, V., Van Griensven, L. J., 2009.** Chemical composition of essential oils of *Thymus* and *Mentha* species and their antifungal activities. *Molecules*, 14(1), 238-249.
238. **Stanier, R.Y., Palleroni, N. J., Doudoroff, M., 1966.** The aerobic pseudomonads a taxonomic study. *Microbiology*, 43(2), 159-271.
239. **Taleb-Toudert, K., 2014.** Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérie). Evaluation de leurs effets sur bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coléoptéra : Bruchidae). Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.160p.
240. **Tavares, J., 1989.** *Mythimna unipuncta* (Haworth) (Lep., Noctuidae) aux Açores. Bio écologie et lutte biologique. Doctorat d'état des sciences, en écologie. Mention Zoo écologie. 205p.

241. **Tia, E.V., Cisse, M., Douan, G.B., Kone, A., 2019.** Etude comparée de l'effet insecticide des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* DC et d'*Ocimum canum sinus*, un charançon de la patate douce. *International journal of biological and chemical sciences* 13 (3) :1789-1799.
242. **Toudert-Taleb, K., Hedjal-Chebheb, M., Hami, H., Kellouche, A., Debras, J. F., 2014.** Composition of essential oils extracted from six aromatic plants of kabylian origin (Algeria) and evaluation of their bioactivity on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Bruchidae). *African Entomology*, 22(2), 417-427.
243. **Touhani, A., Cherfour, A., Boukhari, A., Ismail, F., 2016.** Comparative study of chemical composition and antimicrobial effect of different genius of *Thymus* harvested during two period of development. *Journal of Applied Pharmaceutical Sciences* 6(08), pp,051-056.
244. **Toutain, G., 1967.** Le palmier dattier culture et production. Edition, *Al Awania*, 86p.
245. **Toutain, G., 1972.** Le palmier dattier et fusariose vasculaire Bayoud. Publication sur les travaux réalisés en coopération entre la direction de recherche agronomique Maroc et Algérie.
246. **Upadhyay, R.K., Ahmad, S., 2011.** Management Strategies for control of stored grain insect pests in farmer stores and public ware houses. *World: Journal of Agricultural Science*, 7 (5):527-549.
247. **Vukajlovic, F., Predojevic., Tanaskovic, S., Miljkovic, K., Gvozdenc, S., Pesic, V., Pesic, S., 2018.** Susceptibility of dried berries to infestation by *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in correlation with total sugar content. 12 th international working conference on stored product protection (IWCSPP) in Berlin, Germany, October:6p.
248. **Wango, A., Yamkoulga, M., Dabire-Binso., C.L., Ba, M.N., Sanon, A., 2013.** Conservation post-récolte des céréales en zones soudanienne du Burkina Faso : Perception paysanne et évaluation des stocks-*Int.J. Biol. Chen. Sci.*7.1157-1167.
249. **Wertheimer, M., 1958.** Un des principaux parasites du palmier-dattier algérien, le *Myelois decolor*. *Fruits*, 13(8), 309-323.
250. **Wu, Y. P., Su, T. J., He, B., 2020.** Complete mitochondrial genome of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Mitochondrial DNA Part B*, 5(1), 583-585.

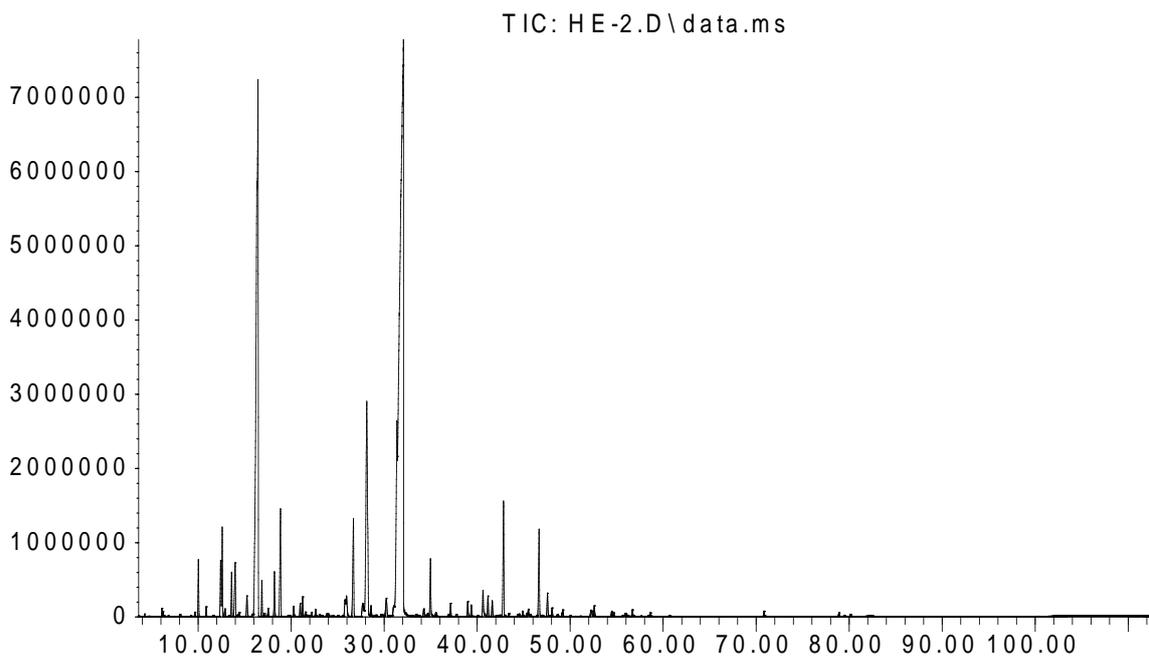
251. **Yaakoub, A., 2008.** Etude de l'interaction entre la pyrale de dattes *Ectomyelois ceratoniae* (Lépidoptera : Pyralidae) et certains cultivars de palmier dattier. Mémoire de magister en entomologie agricole et forestière. Univ.de Batna.74p.
252. **Yakhlef, G., 2010.** Etude de l'activité biologique des extraits de feuilles de *Thymus vulgaris* L. et *Laurus nobilis* L. Mémoire de magistère en biologie appliquée Université de Batna 2.110p.
253. **Zouioueche, F. Z., 2011.** Comportement de la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* Zeller, vis-à-vis de trois variétés de palmier dattier dans la région de Biskra. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université de Mohamed kheider, Biskra.

Annexe 1 : pH mètre papier (Originale, 2019).



Annexe 2: Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *T.vulgaris* extraite en hiver.

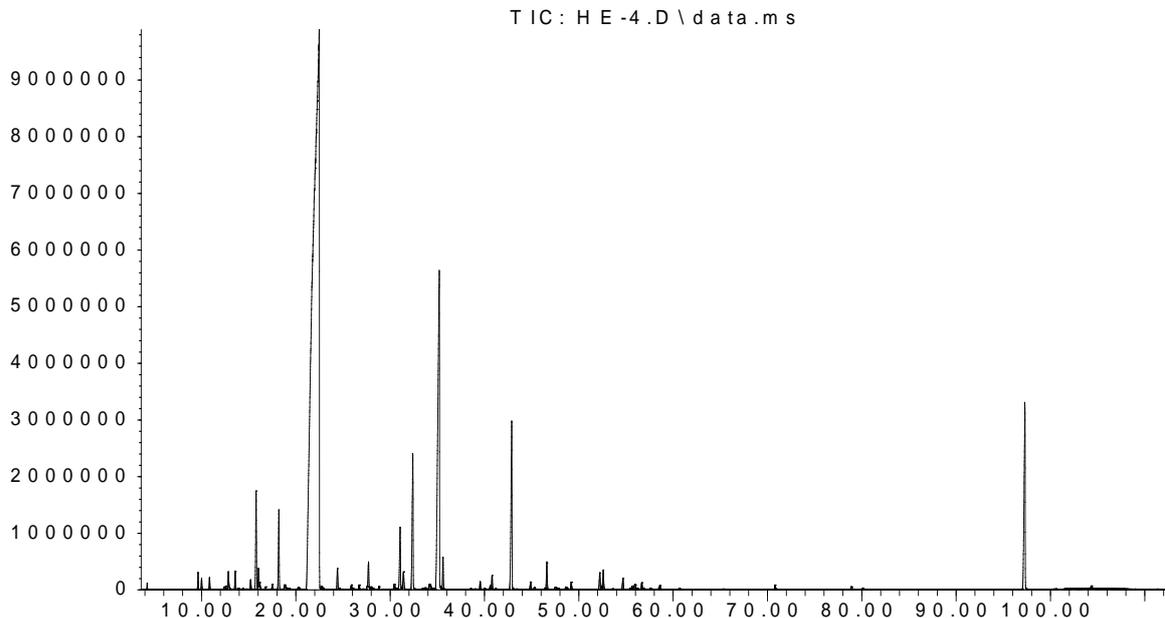
Abundance



Time-->

Annexe 3: Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *T.vulgaris* extraite en été

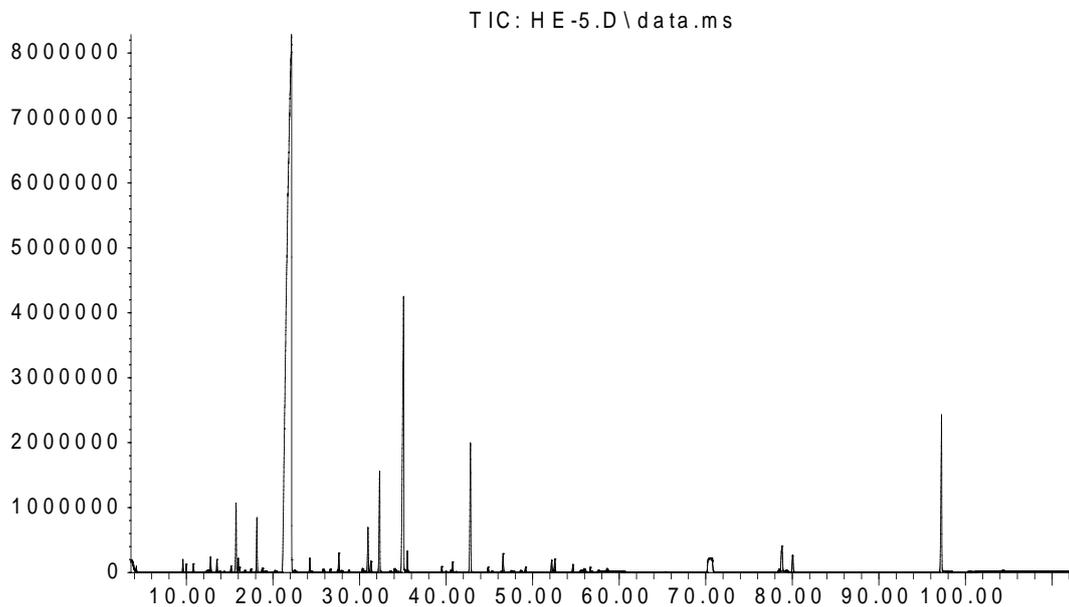
Abundance



Time-->

Annexe 4: Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *T.vulgaris* extraite en automne.

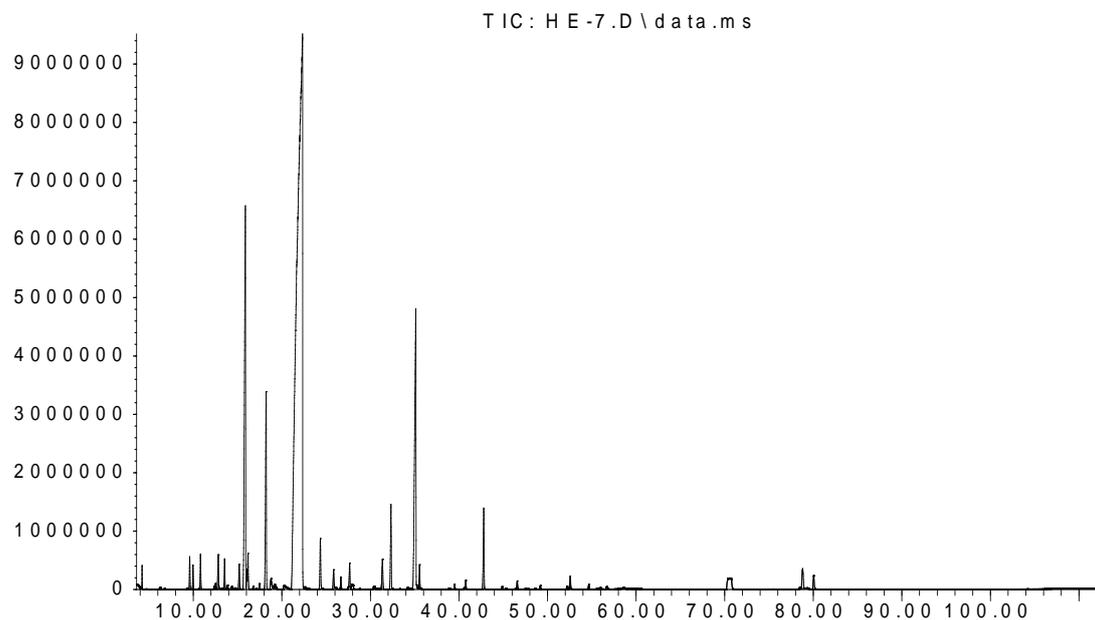
Abundance



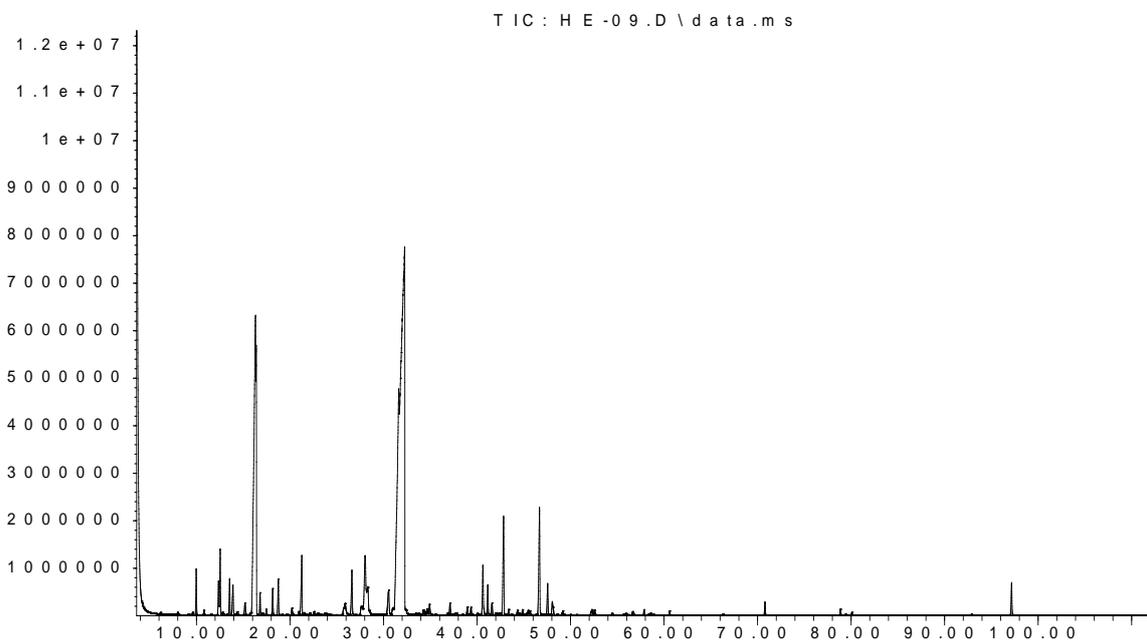
Time-->

Annexe 5: Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *T.vulgaris* extraite au printemps.

Abundance

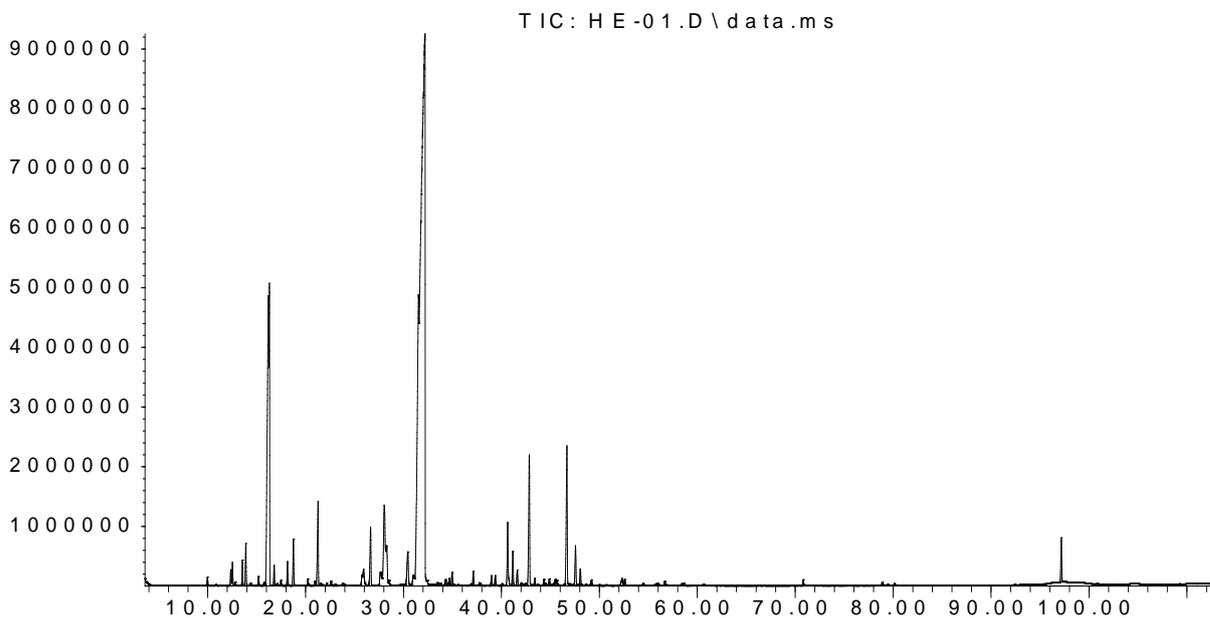
**Annexe 6:** Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *M.spicata* extraite en été.

Abundance



Annexe 7: Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *M.spicata* extraite en automne.

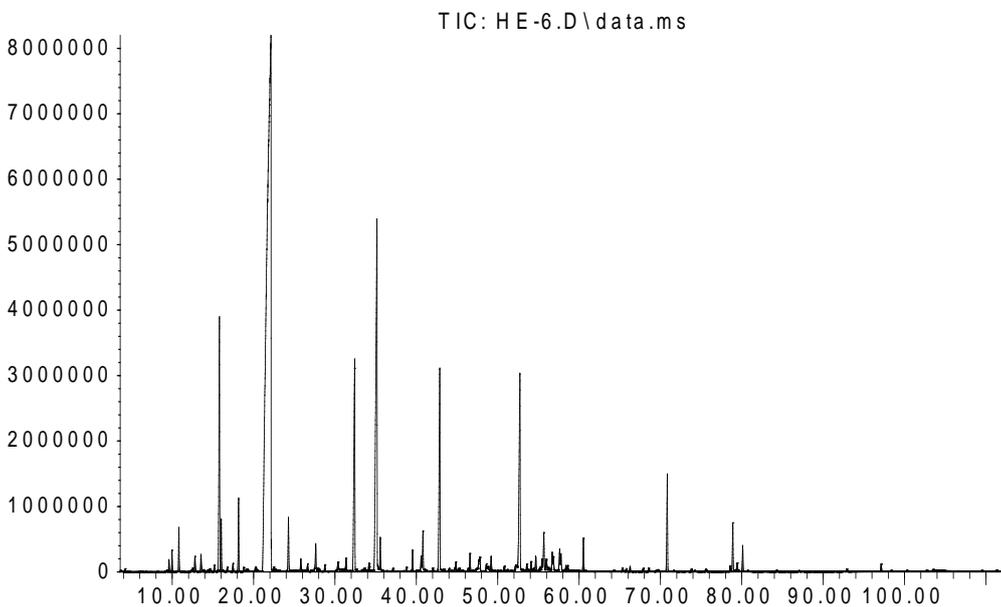
Abundance



Time-->

Annexe 8: Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *M.spicata* extraite en hiver.

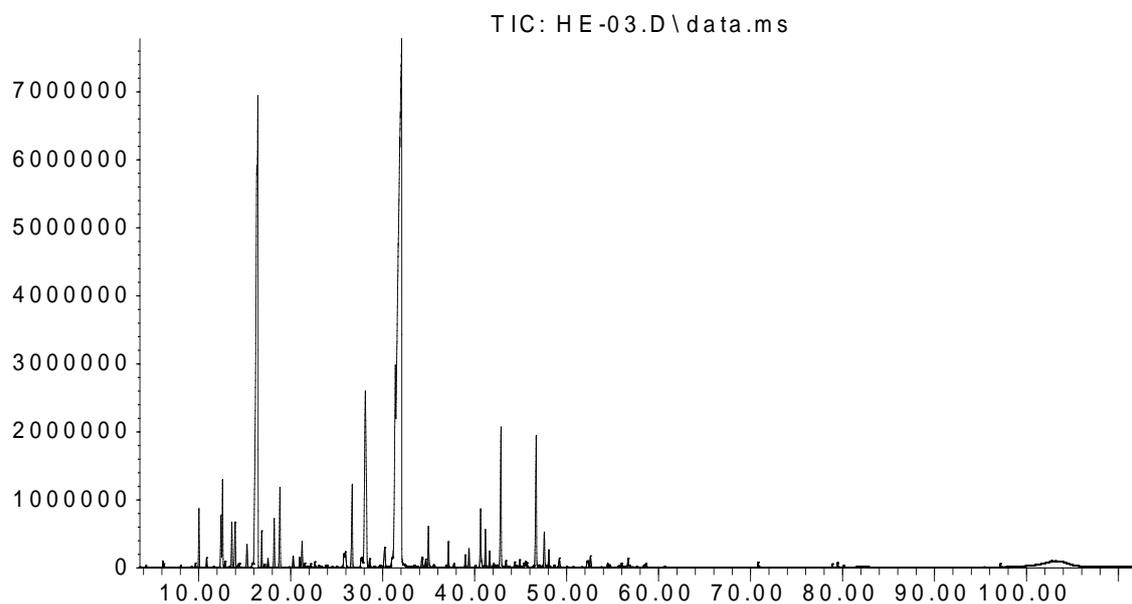
Abundance



Time-->

Annexe 9: Chromatogramme (CG/MS) de l'huile essentielle de *M.spicata* extraite au printemps.

Abundance



Annexe 10 : Résultats du test de Tukey sur les différentes espèces *P. interpunctella*,
E. ceratoniae et *E. kuehniella*.

Insecte	Moyenne	Groupement
<i>P.interpunctella</i>	88.15	A
<i>E.kuehniella</i>	87.12	A
<i>E.ceratoniae</i>	85.48	A

Annexe 11 : Résultats du test de Tukey de l'effet des doses sur la mortalité larvaire.

Doses	Moyennes	Groupement
16µl	95.370	A
12µl	90.996	B
8µl	85.624	C
4µl	75.67	D

Annexe 12 : Résultat du test de Tukey de l'effet de temps d'exposition sur la mortalité des larves chez *E. ceratoniae*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella*.

Temps d'exposition	Moyennes	Groupement
30j	85.268	A
15j	77.84	B
7j	72.79	C

Annexe13 : Résultat du test de Tukey de l'efficacité de deux huiles essentielle sur les L3 d'*E.ceratoniae*, *P. interpunctella* et *E. kuehniella*.

Huile essentielle	Moyenne	Groupement
<i>T.vulgaris</i>	88.01	A
<i>M.spicata</i>	85.823	A

Annexe 14 : Résultats du test de Tukey de l'effet saison d'extraction des huiles essentielles testées par inhalation.

Saison	Moyenne	Groupement
Eté	89.79	A
Printemps	82.92	B

Annexe 15 : Résultats du test de Tukey de l'effet doses des huiles essentielles testées par inhalation.

Dose (μL)	Moyenne	Groupement		
16	93,20	A		
12	88,91	A	B	
8	83,60		B	
4	76,96			C

Annexe 16 : Résultats du test de Tukey de l'effet temps d'exposition aux huiles essentielles testées par contact.

Temps d'exposition	Moyenne	Groupement
7j (168h)	96,875	A
5j (120h)	95,417	A
3j (72h)	81,67	B
1j (24h)	69,17	C

Annexe 17 : Résultats du test de Tukey pour le facteur saison d'extraction des huiles essentielles testées par contact.

Saison	Moyenne	Groupement
Eté	87,71	A
Printemps	81,35	B

Annexe 18 : Résultats du test de Tukey pour le facteur stade larvaire d'*E.ceratoniae* traités par contact avec des huiles essentielles.

Stade larvaire	Moyenne	Groupement
L3	87,70	A
L1	81,67	B

Annexe 19 : Résultats du test de Tukey pour le facteur temps d'exposition aux huiles essentielles testées par contact.

Temps	Moyennes	Groupement
7j	97,083	A
5j	90,21	B
3j	82,29	C
1j	68,54	D

Annexe 20 : Résultats du test de Tukey pour le facteur doses d'huiles essentielles testées par contact.

Doses	Moyennes	Groupement		
16µl/L	92,29	A		
12µl/L	87,92	A	B	
8µl/L	82,92		B	
4µl/L	75,00			C

Annexe 21 : Résultats de l'analyse de la variance à 4 facteurs et test de Tukey pour le facteur saison d'huile essentielle *T. vulgaris* testée par contact.

Saison	Moyennes	Groupement
Eté	93,85	A
Printemps	78,02	B

Annexe 22 : Résultats du test de Tukey pour le facteur saison d'huile essentielle *M. spicata* testée par contact.

Saison	Moyennes	Groupement
Eté	89,79	A
Printemps	73,33	B

Annexe 23 : Résultats du test de Tukey pour le facteur doses d'huile essentielle *T. vulgaris* testée par contact.

Doses	Moyennes	Groupement		
16µl	94,58	A		
12µl	90,00	A	B	
8µl	83,96		B	
4µl	75,21			C

Annexe 24 : Résultats du test de Tukey pour le facteur dose d'huile essentielle *M. spicata* testée par contact.

Doses	Moyennes	Groupement		
16 μ l	91,88	A		
12 μ l	85,83	A	B	
8 μ l	79,58		B	
4 μ l	68,96			C

Annexe 25 : Résultats de l'analyse de la variance à 4 facteurs et test de Tukey pour le facteur durée d'exposition d'huile essentielle *T. vulgaris* testée par contact.

Durée d'exposition	Moyennes	Groupement
7j	98,542	A
5j	88,33	B
3j	83,75	B
1j	73,14	C

Annexe 26 : Résultats de l'analyse de la variance à 4 facteurs et test de Tukey pour le facteur durée d'exposition d'huile essentielle *M. spicata* testée par contact.

Durée d'exposition	Moyennes	Groupement
7j	94,58	A
5j	88,33	A
3j	78,33	B
1j	65,00	C



Variations of chemical composition of two Algerian essential oils collected for different seasons and assessment of their insecticidal toxicity against three moth pests

Fatima Aissaoui¹ · Mariam Hedjal-Chebheb¹ · Abir Soltani² · Soumaya Haouel-Hamdi² · Oualid Talhi³ · Borhane Eddine Chérif Ziani³ · Jouda Mediouni-Ben Jemâa² 

Received: 20 February 2021 / Accepted: 9 June 2021

© Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft 2021

Abstract

The aims of this work were to point out the seasonal variation in chemical composition and evaluate the insecticidal activities of *Mentha spicata* and *Thymus vulgaris* essential oils against larvae of three moths *Ectomyelois ceratoniae*, *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella*. GC–MS analyses indicated that major components of *M. spicata* essential oil were carvone, 1, 8-cineole and limonene. However, linalool, camphor and γ -terpinene were the main compounds for *T. vulgaris*. Results showed that chemical composition varied with plant species, as well as seasons. On the other hand, results indicated that mortality percentages were highest during the summer season at the concentration 16 μ l/l air. Thus, fumigant toxicity depends on insect species, plants, seasons and concentrations. Besides, *E. kuehniella* was more sensitive to both oils as compared to *E. ceratoniae* and *P. interpunctella*. The LC₅₀ values were 0.29, 4.40 and 2.51 μ l/l air, respectively, for *M. spicata*. Concerning *T. vulgaris*, the respective LC₅₀ values were 0.062, 4.61 and 3.23 μ l/l air for *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella*. Furthermore, for the most toxic season, LT₅₀ values of *M. spicata* were 0.7, 5.2 and 3.2 days, respectively, for *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella*. Regarding *T. vulgaris*, LT₅₀ values were 0.35, 6.5 and 4.58 days, respectively, for *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella*. Therefore, essential oils collected during summer season could be considered as an effective tool of control against moths of stored products.

Keywords *Mentha spicata* · *Thymus vulgaris* · *Ephestia kuehniella* · *Ectomyelois ceratoniae* · *Plodia interpunctella* · Fumigation

Fatima Aissaoui and Abir Soltani are contributed equally.

✉ Jouda Mediouni-Ben Jemâa
joudamediouni1969@gmail.com; j_mediouni@hotmail.fr

¹ Applied Entomology Laboratory, Department of Biology, Mouloud Mammeri University of Tizi Ouzou, Tizi Ouzou, Algeria

² LR11INRAT06 Laboratory of Biotechnology Applied to Agriculture, University of Carthage, National Agricultural Research Institute of Tunisia (INRAT), Rue Hedi Karray, El Menzah, 1004 Tunis, Tunisia

³ Center for Scientific and Technical Research in Physico-Chemical Analysis (CRAPC), Tipaza, Algeria

Introduction

Pyralid moths are among the most destructive insect pests attacking stored products worldwide (Subramanyam et al. 1993; Schöller and Prozell 2014; Gautam et al. 2014). Three main species namely the carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller), the Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* (Zeller) and the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) were pests on stored dates and other dried fruits (Burks et al. 2015; Jemâa et al. 2012; Idder-Ighili et al. 2015).

The moth *E. ceratoniae* is a polyphagous pest infesting many economic crops such dates, pomegranates and Citrus (Mediouni and Dhouibi 2007; Van Rooyen 2017; Ahmadi et al. 2016). It is the most destructive and economic important pest that attacks dates both in oasis and storage in Tunisia and Algeria (Jemâa et al. 2013; Ghoul et al. 2018).

The Mediterranean flour moth, *E. kuehniella*, is a cosmopolitan and major stored grains products pest mainly in industrial flour mills (Rees 2004). Larvae provoked significant losses to both quality and quantity of stored commodities caused by feeding, webbing and fecal matter (Jensen and Hansen 2002).

The Indian meal moth *P. interpunctella* is a major economic cosmopolitan insect pest that attacks numerous stored products including dried vegetables and fruits; cereals, seeds and processed foods and meals (Na and Ryou 2000; Madrid and Sinha 1982; Perez-Mendoza and Aguilera-Pena 2004; Jesser et al. 2017).

However, because of the important economic damage that it causes to dates which are the most valuable export commodity, the carob moth *E. ceratoniae* is by far the most important pest of this product in Algeria (Boulanouar et al. 2017).

Use of synthetic fumigants is the prevailing control practice employed in storage depots (Karabörklü et al. 2011). Indeed, Azelmat et al (2006) indicated that the use of synthetic fumigants is the main economical procedure for the management of stored pests. However, owing to the undesirable impacts of these chemicals on human health and environment, safer alternative control strategies have been developed (Kostyukovsky et al. 2002; Jemâa et al. 2012; Haouel et al. 2010). In these regards, essential oils from aromatic plants are among promising methods (Zerrifi et al. 2020). Algeria holds rich flora estimated at around 3139 wild species, among them 600 have medicinal properties (Mokkadem 1999). Lamiaceae is one of the richest botanical families well-known by essential oils (Zerrifi et al. 2020). Several works documented the remarkable pesticidal potential of various species in this family (Singh and Pandey 2018; Ebadollahi 2013).

The Spearmint *Mentha spicata* (L.) and Thyme *Thymus vulgaris* (L.) essential oils are known to be the source of essential oils with potential uses as insecticides (Ebadollahi et al. 2020). This work aims to explore the seasonal variation in chemical composition of *M. spicata* and *T. vulgaris* essential oils collected from the northeast of Algeria and to assess their fumigant toxicity toward larvae of the three moths *E. ceratoniae*, *E. kuehniella* and *P. interpunctella*.

Materials and methods

Insect rearing

E. ceratoniae was collected in the northeast of Algeria Tolga, Biskra (34° 51' 0" North, 5° 44' 0" East) and reared on dates (*Phoenix dactylifera* L.). Mass rearing of *Ephesia kuehniella* and *Plodia interpunctella* was carried out, respectively, on flour and semolina in glass jars. Then jars

were kept at temperature of 30 ± 1 °C, relative humidity of $70 \pm 5\%$ and a photoperiod of 12 h L/12 h D.

Plant material

Leaves of *Mentha spicata* and *Thymus vulgaris* were collected from the North of Algeria Boufarik, Blida (36° 28' 7" North, 2° 49' 44" East). The sampling has been done for the four seasons during 2019: autumn, winter, spring and summer. The leaves were dried for 1 week in the dark at room temperature. Subsequently, the dried leaves were cut into small pieces and prepare for essential oil extraction.

Essential oil extraction and chemical analysis

Essential oil was extracted by hydrodistillation of dried leaves (100 g in 1 L of distilled water) using a modified Clevenger type apparatus for 90 min. This time was fixed after kinetic survey. The extracted oil was stored at 4 °C.

Essential oils were analyzed using a Hewlett Packard Agilent 5973. GC system equipped with a flame ionization detector and HP-5MS (dimension: 30 mm*0.25 mm, film 0.25 µm).

The injector and detector temperatures were set at 250 °C and 270 °C, respectively. The column temperature was programmed from 60 to 250 °C at a rate of 2 °C/min, with the lower and upper temperature being held for 2 and 10 min, respectively. The flow rate of the carrier gas (Helium) was 0.5 ml/min. A sample of 0.2 µl was injected, using split mode (split, 80:1). All quantifications were determined through built-in handling program given by the manufacturer of the gas chromatograph. The composition was reported as a relative percentage of the total peak area. The identification of the essential oil constituents was carried out by using a comparison of their retention times to n-alkenes, compared to published data and spectra of authentic compounds.

Fumigant toxicity bioassay

To determine the fumigant toxicity of *M. spicata* and *T. vulgaris* essential oils collected during the four seasons, the filter papers were impregnated with the tested oil doses calculated to give equivalent fumigant concentrations of 4 and 16 µl/l air. Trials were assessed against third-stage larvae. For *E. ceratoniae*, each larvae was placed inside a fruit. A total of 30 larvae were used (three replications of 10 larvae/jar). Regarding *E. kuehniella* and *P. interpunctella*, a density of 10 larvae/10 g of semolina was employed. Each concentration and control were replicated three times. The impregnated filter papers were then attached to the screw caps of 1 L glass jars and were screwed firmly. Mortality was recorded after 7 days of exposure. When no leg or antennal movements were observed, insects were considered dead.

The mortality was calculated using the Abbott correction formula (Abbott 1925).

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SPSS statistical software version 20.0. All obtained values were the mean of three replications and were expressed as the mean \pm standard error. Significant differences between the mean values ($P \leq 0.05$) were determined using the Duncan test. For the percentage mortality parameter, data were subjected to ANOVA, with exposure time, essential oil, concentration and season as main fixed factors plus their interactions. In addition, statistical analysis using Probit test (Finney 1971) was conducted to estimate median lethal concentration (LC_{50}) (Concentration that causes 50% mortality of the exposed insects) and median lethal time (LT_{50}) (time that kills 50% of exposed insects). Correlation coefficient using the test “r” Bravais Pearson was performed between the major compounds of *T. vulgaris* and *M. spicata* essential oils, season of extraction, used doses and mortality percentages of insect pests.

Results

Seasonal variations in *Mentha spicata* essential oils composition

The volatile compounds in *M. spicata* essential oils collected during the four seasons and obtained by hydrodistillation were qualitatively analyzed by GC/MS (Table 1). The total of compounds identified in all essential oils was 40; distributed as 26, 25, 30 and 28 compounds, respectively, for summer, autumn, winter and spring. Results pointed out that high amount of oxygenated monoterpenes varied depending on the seasonal periods between 76.36% for winter and 57.9% for summer. Moreover, results showed high percentage of monoterpenes, mainly oxygenated compounds, while lower quantities of sesquiterpenes were recorded throughout the four seasons. For summer season oil, 87.02% of the contents were monoterpenes. Additionally, for spring season, monoterpenes were prevalent 84.27%, while sesquiterpenes hydrocarbons 7.17% were less represented (Table 1).

Besides, results revealed that the main compounds identified are hydrocarbon monoterpenes mainly represented by limonene (9.52% for summer and 19.48% for spring). Furthermore, the oxygenated monoterpenes are dominated by carvone (62.93% for summer, 46.91% for, autumn 45.19% for winter and 50.47% for spring) and 1, 8-cineole (22.15% for summer, 4.21% for spring, 20.71% for winter and 0% for autumn).

Seasonal variations in *Thymus vulgaris* essential oil composition

Composition and chemical class of *T. vulgaris* essential oils collected during the four seasonal periods are illustrated in Table 2. Results show that high percentage of monoterpenes, mainly hydrocarbons compounds, while, lower quantities of sesquiterpenes are recorded throughout the four seasons. The high amount of monoterpenes hydrocarbons varied depending on the seasonal periods. Moreover, for spring season monoterpenes hydrocarbons were prevalent 72.74% against 54.87% for winter season (Table 2). The main compounds identified are hydrocarbon monoterpenes mainly represented by linalool (68.60% autumn, 0% winter 65.04% spring and 68.62% summer) and γ -terpinene (1.26% autumn, 1.16% winter, 3.81% Spring and 1.28% summer). The oxygenated monoterpenes are presented essentially by camphor (9.93% autumn, 11.82% winter, 9.20% spring and 10.71% summer).

Fumigant toxicity

Results related to the mortality percentage of *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella* treated by *T. vulgaris* and *M. spicata* essential oils during 7 days are shown in Fig. 1. Results indicated that the two oils were toxic against *E. kuehniella* followed by *P. interpunctella* and *E. ceratoniae*. Highest mortalities were obtained with summer season essential oils for both plant species at the concentrations 4 and 16 μ l/l air. However, the lowest mortalities were observed for autumn season essential oils. Results demonstrated that larval mortality percentages of the three moths depended on oils concentration. However, *T. vulgaris* oil was more toxic toward the three pests' larvae at the lowest concentration (4 μ l/l air).

Statistical analysis revealed significant differences between mortality percentages of the three insects treated with *T. vulgaris* and *M. spicata* essential oils at the concentration 4 μ l/l air ($df = 1$, $F = 195.25$, $P \leq 0.00$), while no significant differences have been observed at the concentration 16 μ l/l air ($df = 2$, $F = 1.77$, $P \leq 0.19$). Besides, significant differences have been obtained between insect species [For 4 μ l/l air ($df = 2$, $F = 102.41$, $P \leq 0.00$) and for 16 μ l/l air ($df = 3$, $F = 9.13$, $P \leq 0.00$)]. Furthermore, the season has an effect on insect species mortalities [For 4 μ l/l air ($df = 3$, $F = 367.41$, $P \leq 0.00$) and for 16 μ l/l air ($df = 3$, $F = 30.14$, $P \leq 0.00$)]. The interaction between Oil \times Insect has significant effects on *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella* at the concentrations 4 and 16 μ l/l air [($df = 2$, $F = 13.2$, $P \leq 0.00$) and ($df = 2$, $F = 22.2$, $P \leq 0.00$), respectively]. Moreover, interaction between Oil \times Insect \times Season has influenced the mortality of the three insects [For 4 μ l/l air ($df = 6$, $F = 62.02$, $P \leq 0.00$) and for 16 μ l/l air ($df = 6$, $F = 5.62$, $P \leq 0.00$)].

Table 1 Chemical composition, chemical class and total identified compounds of the essential oils obtained from leaves of *Mentha spicata* collected during the four seasonal periods (%)

N ^o	RT ^a	Compounds	S1 ^b	S2 ^b	S3 ^b	S4 ^b
		Monoterpene hydrocarbons	12.75	6.27	7.82	26.37
1	9.986	α -Pinene	0.14	0.81	0.86	0.86
2	18.205	γ -Terpinene	–	0.73	0.83	0.56
3	10.866	Camphene	–	0.15	0.16	0.1
4	42.032	3-Carene	–	–	0.09	–
5	33.71	β -ocymene	0.86	0.67	0.71	0.55
6	12.363	β -Phellandrene	0.27	–	–	0.74
7	12.535	β -Pinene	0.39	1.34	1.38	1.33
8	15.198	α -Terpinene	0.18	0.39	0.45	0.34
9	16.193	Limonene	9.52	–	–	19.48
10	40.638	β -Bourbonene	1.39	0.53	1.2	1.32
11	9.649	α -Thujene	–	0.06	0.07	0.05
12	12.415	Thujene	–	0.9	0.88	–
13	13.598	β -Myrcene	–	0.69	0.73	0.75
14	20.970	Sabinene hydrate	–	–	0.19	–
15	20.932	Sabinene	–	–	–	0.08
16	34.277	Bornylacetate	–	–	0.27	0.21
		Oxygenated Monoterpenes	74.27	76.36	71.6	57.9
17	16.295	1,8-cineole	0	4.21	20.71	22.15
18	25.766	Borneol	0.25	0.14	0.31	–
19	53.287	α -Terpineol	0.95	1.35	0.79	1.13
20	69.817	Carvacrol	–	0.26	–	–
21	20.228	α -Terpinolene	0.15	0.2	0.23	0.19
22	18.795	β -Terpineol	0.86	2.26	–	–
23	49.229	Terpineol	1.38	1.99	3.35	2.11
24	21.268	Linalool	1.72	0.34	0.46	1.57
25	63.421	Carvone	62.93	46.91	45.19	50.47
26	31.013	Carveol	1.01	0.48	0.56	0.89
27	31.539	Pulegone	0.34	0.28	–	0.28
28	34.276	Borneol acetate	0.17	–	–	–
29	34.962	Thymol	0.3	–	–	–
30	28.322	Dihydro-carveol	–	–	–	1.26
		Sesquiterpenes hydrocarbons	7.02	2.46	8.06	7.17
31	41.163	β -Elemene	0.67	0.37	0.73	0.71
32	43.398	β -Cubebene	0.14	1.74	3.03	0.3
33	182.195	Germacrene	3.52	–	–	0.13
34	44.884	α -Humulene	0.17	0.12	0.2	0.16
35	52.309	Spathulenol	0.22	–	0.24	–
36	42.839	Caryophyllene	2.14	–	2.88	2.63
37	52.583	Caryophyllene oxide	0.16	0.23	0.26	0.17
38	90.043	Germacrene-D	–	–	0.26	3.07
39	45.33	α -Murolene	–	–	0.09	–
40	48.073	Bisabolene	–	–	0.37	–
		Others compound	3.62	12.12	12.5	0.77
		Total	97.66	97.21	99.98	92.42

Bold values indicate the chemical class and the major compound

^aRT: retention times are determined using the homologous series of n-alkanes (C9–C24)

^bS1: autumn, S2: winter, S3: spring and S4: summer

Table 2 Chemical compositions, chemical class and total identified compounds of the essential oils obtained from leaves of *Thymus vulgaris* collected during the four seasonal periods (%)

N ^o	RT ^a	Compounds	S1 ^b	S2 ^b	S3 ^b	S4 ^b
		Monoterpene hydrocarbons	71.63	54.87	72.74	71.91
1	9.972	α -Pinene	–	0.29	0.34	0.15
2	18.156	γ -Terpinene	1.26	1.16	3.81	1.28
3	10.818	camphene	0.17	0.61	0.51	0.17
4	53.581	3-Carene	–	0.17	–	–
5	17.465	<i>b</i> -ocymene	0.07	0.21	0.09	0.08
6	12.351	<i>b</i> -Phellandrene	–	–	0.05	–
7	12.515	<i>b</i> -Pinene	–	0.06	0.09	0.05
8	15.173	α -Terpinene	–	0.11	0.43	0.15
9	16.025	Limonene	0.28	0.76	0.26	0.32
10	26.633	terpineol	0.08	–	0.22	0.09
11	21.123	Linalool	68.60	–	65.04	68.62
12	31.325	Carvone	0.34	50.8	0.65	0.38
13	40.595	<i>b</i> -bourbonene	–	0.27	0.06	–
14	9.595	α -Thujene	0.58	0.15	0.43	0.23
15	13.533	β -myrcene	0.25	0.28	0.45	0.27
16	18.822	Sabinene hydrate	–	–	–	0.12
		Oxygenated Monoterpenes	10.91	13.26	11.36	11.9
17	16.181	1,8-Cineole	0.1	–	0.52	0.11
18	25.798	Borneol	–	0.29	0.42	0.1
19	27.627	α -terpineol	0.44	0.51	0.5	0.49
20	35.532	Carvacrol	0.44	0.51	0.5	0.49
21	20.22	α -Terpinolene	–	0.13	0.22	–
22	59.602	Camphor	9.93	11.82	9.2	10.71
		Sesquiterpenes hydrocarbons	3.92	11.34	1.98	1.13
23	44.884	α -Humulene	–	0.5	–	0.15
24	42.859	Caryophyllene	–	4.39	1.48	–
25	52.57	Caryophyllene oxide	0.29	5.8	0.26	0.39
26	46,591	Germacrene-D	0.45	0.37	0.17	0.46
27	49.168	α -Cadinene	3.18	0.28	0.07	0.13
		Oxygenated Sesquiterpenes	–	–	–	3.42
28	42.878	β -caryophyllene	–	–	–	3.42
		Others compound	10.18	10.13	11.73	7.443
		Total	96.64	89.6	97.81	95.803

Bold values indicate the chemical class and the major compound

^aRT: retention times are determined using the homologous series of *n*-alkanes (C9–C24)

^bS1: autumn, S2: winter, S3: spring and S4: summer

Median lethal concentration (LC₅₀ values)

Table 4 shows the LC₅₀ values of the *T. vulgaris* and *M. spicata* essential oils extracted during the four seasons. Results demonstrate that the two tested oils exhibited high fumigant toxicity against *Ephestia kuehniella* as compared to *Ectomyelois ceratoniae* and *Plodia interpunctella*. The LC₅₀ values of *T. vulgaris* against *Ephestia kuehniella* after 7 days of exposure were 0.062; 1.16; 4.81 and 8.80 µl/l air, respectively, for summer, winter, spring and autumn seasons. However, those of *M. spicata* against *Ephestia kuehniella* were 2.29; 5.41; 8.66 and 2.57 µl/l air, respectively,

for summer, winter, spring and autumn. Thus, it seemed that the toxicity of both oils was ranged as follows: summer > winter > spring > autumn, with more efficacies in favor of *T. vulgaris* essential oil. Additionally, regarding insect species susceptibility to oils fumigation, results indicated the following order: *E. kuehniella* > *P. interpunctella* > *E. ceratoniae* (Table 3).

Median lethal time (LT₅₀ values)

Since the highest and the lowest fumigant toxicities were observed with the essential oils from the summer and

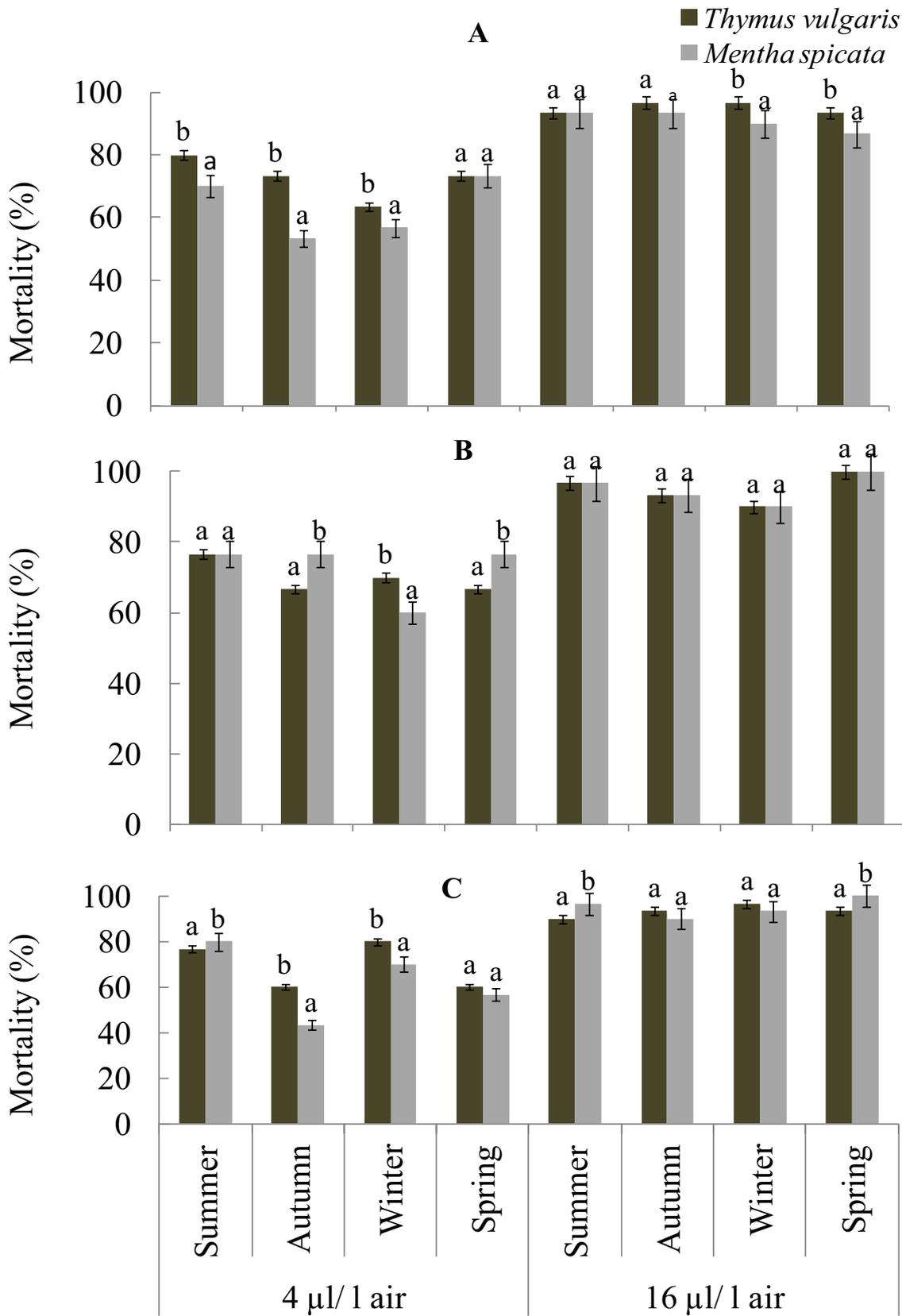


Fig. 1 Mortality (%) of **a** *Ephesthia kuehniella*, **b** *Ectomyelois ceratoniae* and **c** *Plodia interpunctella* adults after 7 days of exposure at the concentrations 4 and 16 µl/l air of *Thymus vulgaris* and *Mentha spicata* essential oils extracted during the four seasons

Table 3 Seasonal variations in LC₅₀ values (µl/l air) of *Thymus vulgaris* and *Mentha spicata* essential oils against larvae of *Ephestia kuehniella*, *Ectomyelois ceratoniae* and *Plodia interpunctella* after 7 days of exposure

Season	Oil	Insect	LC ₅₀	χ^2	Slope ± SE	
Summer	<i>T. vulgaris</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	0.062	1.40	0.85 ± 0.18	
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	4.61	0.54	3.67 ± 1.30	
		<i>Plodia interpunctella</i>	3.23		2.44 ± 0.84	
	<i>M. spicata</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	0.29	0.51	3.24 ± 1.55	
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	4.40	0.78	00.09 ± 0.02	
		<i>Plodia interpunctella</i>	2.51	1.29	2.25 ± 0.86	
	Winter	<i>T. vulgaris</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	1.16	3.11	2.71 ± 1.02
			<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	5.66	1.43	4.1 ± 1.12
			<i>Plodia interpunctella</i>	3.75	1.35	2.21 ± 0.78
<i>M. spicata</i>		<i>Ephestia kuehniella</i>	5.41	2.51	1.51 ± 0.78	
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	7.64	1.23	1.58 ± 0.24	
		<i>Plodia interpunctella</i>	2.39	0.64	4.30 ± 1.36	
Spring		<i>T. vulgaris</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	4.81	1.02	3.43 ± 1.1
			<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	2.78	1.47	2.37 ± 0.81
			<i>Plodia interpunctella</i>	1.37	1.52	1.24 ± 0.68
	<i>M. spicata</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	8.66	0.88	8.01 ± 3.14	
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	5.2	1.30	3.77 ± 1.01	
		<i>Plodia interpunctella</i>	4.50	1.44	3.17 ± 0.97	
	Autumn	<i>T. vulgaris</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	8.80	1.32	1.95 ± 0.86
			<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	5.84	0.60	2.26 ± 1.22
			<i>Plodia interpunctella</i>	5.16	2.96	4.62 ± 1.41
<i>M. spicata</i>		<i>Ephestia kuehniella</i>	2.57	4.72	0.94 ± 0.68	
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	4.94	1.90	3.09 ± 1.15	
		<i>Plodia interpunctella</i>	9.36	0.6	8.78 ± 3.19	

autumn samples, the determination of the median lethal time values (LT₅₀ values) was limited to these seasons (Table 4). Results demonstrated again that *T. vulgaris* oil was more toxic against the insect pests. Furthermore, *E. kuehniella* seemed to be more susceptible to *M. spicata* and *T. vulgaris* oils. The LT₅₀ for *E. ceratoniae* ranged between 5.2 and 16.74 days, as well as, for *P. interpunctella* was 3.2 and 6.65 days.

Correlations between major chemical compounds and insecticidal activity

Table 5 presents the correlations coefficients (0–1) between mortality percentages of the three insect pests and the major compounds of *M. spicata* and *T. vulgaris* oils. Correlating the fumigant toxicity of *M. spicata* and *T. vulgaris* with their major chemical compounds showed that the insecticidal activity of *M. spicata* was highly related to 1, 8-cineole content. Besides, results demonstrated that limonene, 1, 8-cineole and carvone compounds were proportional to seasons. Furthermore, significant correlations have been observed between the collect season and proportion of α -terpinene ($r=0.79$, $P \leq 0.001$). Nevertheless, no significant correlations have been observed between insects' mortality percentages and any major chemical compounds of *Thymus vulgaris*. The mortality percentage was found to be correlated with the concentrations of essential oils [$r=0.86$, $P \leq 0.001$]; ($r=0.91$, $p \leq 0.001$), respectively, for *M. spicata* and *T. vulgaris*].

Discussion

In this work, we found that, respectively, 40 and 28 compounds were found in *M. spicata* and *T. vulgaris* essential oils. Higher records of major components from both oils were observed during spring with carvone (62.93%) for *M. spicata* and camphor (10.71%) for *T. vulgaris*. Earlier studies pointed out that camphor was identified among major compounds of Algerian *T. vulgaris* essential oil (Bouguerra et al. 2017). However, Abdelli et al. (2017) and Mancini et al. (2015) indicated that *T. vulgaris* was mostly predominated by thymol and carvacrol. Regarding *M. spicata* essential oil, Chauhan et al. (2013) showed that carvone was the major component with 75.65% followed by limonene 22.31% and finally 1, 8-cineole that varied between 1.32 and 2.62%. Similarly, Brahmi et al. (2016) noted that carvone (48.5%), limonene (20.8%) and 1, 8-cineole (5.4%) were the main constituents of Algerian oil (Bejaia).

Quantitative and qualitative composition of both spearmint and thyme essential oils varied from a season to another. Variation in essential oil components ratios can be related to different factors such as phenophases,

Table 4 Seasonal variations in LT_{50} values (h) of *Thymus vulgaris* and *Mentha spicata* essential oils against larvae of *Ephestia kuehniella*, *Ectomyelois ceratoniae* and *Plodia interpunctella*

Season	Oil	Insect	LT_{50}	χ^2	Slope \pm SE
Summer	<i>T. vulgaris</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	0.35	1.17	0.34 ± 0.12
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	6.5	0.03	0.01 ± 0.009
		<i>Plodia interpunctella</i>	4.58	0.68	0.09 ± 0.03
	<i>M. spicata</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	0.7	19.22	0.03 ± 0.009
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	5.2	2.40	0.036 ± 0.01
		<i>Plodia interpunctella</i>	3.2	0.03	0.01 ± 0.009
Autumn	<i>T. vulgaris</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	4.6	0.5	0.06 ± 0.02
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	8.64	0.02	0.3 ± 0.07
		<i>Plodia interpunctella</i>	6.65	0.13	0.02 ± 0.01
	<i>M. spicata</i>	<i>Ephestia kuehniella</i>	1.6	0.5	0.06 ± 0.02
		<i>Ectomyelois ceratoniae</i>	16.74	0.03	0.02 ± 0.01
		<i>Plodia interpunctella</i>	6.54	1.02	0.12 ± 0.01

Table 5 Correlation coefficients between the major compounds of *Thymus vulgaris* and *Mentha spicata* essential oils and mortality percentages of *Ephestia kuehniella*, *Ectomyelois ceratoniae* and *Plodia interpunctella* larva

<i>Mentha spicata</i>						
	Carvone	1,8-cineole	Limonene	Insect	Dose	Season
Season	0.941**	0.92**	0.54**	–	–	–
Mortality	0.542	0.87**	0.45	0.95	0.86**	0.05
<i>Thymus vulgaris</i>						
	α -Terpinene	Benzene	Camphor	Insect	Dose	Season
Season	0.79**	0.29	0.00	–	–	–
Mortality	0.14	0.04	0.09	– 0.75	0.91**	0.14*

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

photoperiod and climatic parameters (Fahlén et al. 1997). In the same context, Kamatou et al. (2008) indicated that seasonal variation has an effect on the chemical composition of essential oils. In this research, results demonstrated that the majority of constituents have been observed during summer season for both oils. Furthermore, concerning spearmint, 1,8-cineole was absent only during autumn.

On the other hand, insecticidal activity is influenced by chemical composition of essential oils. Thus, the pesticidal potential may be attributed to oils' seasonal variability. According to Batish et al. (2008), the insecticidal activity of essential oils depends upon the chemical constituents and their rates. The present work reports the investigation of the fumigant activity of *T. vulgaris* and *M. spicata* against *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella*. Our data clearly demonstrated the fumigant toxicity against larva of these three pests. Highest mortalities were observed during summer season. Similarly, Jemâa et al. (2012) reported that the highest mortalities of *E. kuehniella* and *E. ceratoniae* were observed during summer season.

This work demonstrated that *T. vulgaris* essential oil was more toxic against *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella* compared to *M. spicata* oil. Earlier studies reported the high insecticidal activity of *T. vulgaris* essential oil against insect pests of stored products (Clemente et al. 2003; Passino et al. 2004).

Obviously, the toxicity of essential oils to stored product pests is influenced by the insect species. Results showed that *E. ceratoniae* was more tolerant than *P. interpunctella* and *E. kuehniella*. In the same context, Abbasipour et al. (2011) showed that *E. kuehniella* moths were more sensitive than coleopteran adult insects. Additionally, our results demonstrated that *T. vulgaris* essential oil exhibited strong fumigant activity against *E. kuehniella* with an $LC_{50} = 0.062 \mu\text{l/l}$ air compared to *M. spicata* essential oil with $LC_{50} = 0.29 \mu\text{l/l}$ air. Moreover, *E. kuehniella* was more sensitive than *E. ceratoniae* and *P. interpunctella* to both essential oils extracted during the four seasons. Likewise, previous fumigant bioassays, using *Pistacia lentiscus* essential oil achieved 100% mortality for *E. kuehniella* adults against 57.1% for *E. ceratoniae*. However, Bouzeraa et al. (2018) demonstrated that

E. kuehniella was more tolerant to *Artemisia herba-alba* essential oil than *P. interpunctella*.

Regarding *T. vulgaris*, previous researches indicated the insecticidal potential of its essential oil against major stored product pests. For Lepidopteran pests, Moazeni et al. (2014) pointed out that *Thymus* oil revealed strong repellent and fumigant toxicities toward *E. kuehniella* and *P. interpunctella* adults. Besides, Song et al. (2017) indicated that it is possible to control *P. interpunctella* in granary through the application of *T. vulgaris* oil. For Coleopteran pests, Lazarević et al. (2020) reported that thyme oil has the potential to be considered as a biological insecticide for *Acanthoscelides obtectus* control. Additionally, El-Sayed (2020) cited that *T. vulgaris* essential oil was effective against *Tribolium castaneum* and *Oryzaephilus surinamensis*.

Concerning spearmint *M. spicata*, essential oils had interesting insecticidal properties against either Coleopteran or Lepidopteran pests. In these regards, Ainane et al. (2019) mentioned the toxicity of *M. spicata* oils against three major weevils infesting stored cereals namely *Sitophilus granarius*, *S. oryzae* and *S. zeamais*. Moreover, Souza et al. (2016) proved the fumigant toxicity of *M. spicata* essential oil against *Rhyzopertha dominica* adults. As to Lepidopteran pests, Eliopoulos et al. (2015) pointed out that spearmint oils exhibited satisfactory insecticidal activities against *E. kuehniella* and *P. interpunctella* adults.

Conclusion

To conclude, the observed variability of essential oils' insecticidal activity could depend upon their chemical components. In reality, the most important issue to be considered is the search of the appropriate collecting season for which essential oils from *T. vulgaris* and *M. spicata* provide the highest biological activities. According to our work, the both essential oils demonstrated the highest toxicity against *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella* during summer season. Therefore, it is recommended that the collections will be done during the summer season to have oils with high biological potential.

References

- Abbasipour H, Mahmoudvand M, Rastegar F, Hosseinpour MH (2011) Fumigant toxicity and oviposition deterrence of the essential oil from cardamom, *Elettaria cardamomum*, against three stored-product insects. *J Insect Sci* 11(165):1–10
- Abbott WS (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol* 18(2):265–267
- Abdelli W, Bahri F, Romane A, Höferl M, Wanner J, Schmidt E et al (2017) Chemical composition and anti-inflammatory activity of Algerian *Thymus vulgaris* essential oil. *Nat Prod Commun* 12(4):611–614
- Ahmadi B, Moharrampour S, Sinclair BJ (2016) Overwintering biology of the carob moth *Apomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *Int J Pest Manag* 62(1):69–74
- Ainane A, Khammour F, M'hammed E, Talbi M, Oussaid A, Lemhidi A et al (2019) Evaluation of the toxicity of the essential oils of certain mints grown in the region of Settat (Morocco): *Mentha piperita*, *Mentha pulegium* and *Mentha spicata* against, *Sitophilus granarius*, *Sitophilus Oryzae* and *Sitophilus Zeamais*. *J Anal Sci Appl Biotechnol* 1(1):2021–2010
- Azelmat K, El Garrouj D, Mouhib M, Sayah F (2006) Irradiation of 'Boufeggous' dates: effects on chemical composition during storage. *Postharvest Biol Technol* 39(2):217–222
- Batish DR, Singh HP, Kohli RK, Kaur S (2008) Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *For Ecol Manag* 256(12):2166–2174
- Boulanouar A, Hamid K, Ahmed M, Larbi B, Saliha R, Siham B et al (2017) Variability of the physicochemical composition between unscathed and dates infested by the moth *Ectomyelois ceratoniae* Zeller. *Appl Biol Sahar Areas* 1(1):1–7
- Bouzeraa H, Bessila-Bouzeraa M, Labeled N, Sedira F, Ramdani L (2018) Evaluation of the insecticidal activity of *Artemisia herba alba* essential oil against *Plodia interpunctella* and *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera, Pyralidae). *J Entomol Zool Stud* 6(5):145–150
- Brahmi F, Adjaoud A, Marongiu B, Falconieri D, Yalaoui-Guellal D, Madani K et al (2016) Chemical and biological profiles of essential oils from *Mentha spicata* L. leaf from Bejaia in Algeria. *J Essent Oil Res* 28(3):211–220
- Burks CS, Yasin M, El-Shafie HA, Wakil W (2015) Pests of stored dates. Sustainable pest management in date palm: current status and emerging challenges. Springer, New York, pp 237–286
- Chauhan SS, Agarwal R (2013) Evaluation of antibacterial activity of volatile oil from *Mentha spicata* L. *J Drug Deliv Ther* 3(4):120–121
- Clemente S, Mareggiani G, Broussalis A, Martino V, Ferraro G (2003) Insecticidal effects of Lamiaceae species against stored products insects. *Bol De Sanid Veg Plagas* 29(6):421–426
- Ebadollahi A (2013) Essential oils isolated from Myrtaceae family as natural insecticides. *Annu Res Rev Biol* 3(3):148–175
- Ebadollahi A, Ziaee M, Palla F (2020) Essential oils extracted from different species of the Lamiaceae plant family as prospective bioagents against several detrimental pests. *Molecules* 25(7):1556
- Eliopoulos P, Hassiotis C, Andreadis S, Porichi A-E (2015) Fumigant toxicity of essential oils from basil and spearmint against two major pyralid pests of stored products. *J Econ Entomol* 108(2):805–810
- EL-Sayed KK, EL-Sheikh E-SA, Sherif RM, Gouhar KA (2020) Comparative insecticidal activity of *Anethum graveolens*, *Thymus vulgaris* and *Myristica fragrans* essential oils against *Tribolium castaneum* and *Oryzaephilus surinamensis*. *Ann Agri Bio Res* 25(2):263–269
- Fahlén A, Welander M, Wennersten R (1997) Effects of light–temperature regimes on plant growth and essential oil yield of selected aromatic plants. *J Sci Food Agric* 73(1):111–119
- Finney DJ (1971) Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve, 3rd edn. Cambridge University Press, Cambridge, p 333p
- Gautam N, Mantha AK, Mittal S (2014) Essential oils and their constituents as anticancer agents: a mechanistic view. *Biomed Res Int* 2014(23):1–23
- Ghouar M, Sabeg K, Boudjouref M (2018) Etude des activités biologiques de la plante. <http://hdl.handle.net/123456789/5560>.
- Haouel S, Mediouni-Ben Jemâa J, Khouja ML (2010) Postharvest control of the date moth *Ectomyelois ceratoniae* using *Eucalyptus* essential oil fumigation. *Tunis J Plant Prot* 5(2):201–212
- Idder-Ighili H, Idder MA, Doumandji-Mitiche B, Chenchouni H (2015) Modeling the effects of climate on date palm scale (*Parlatoria*

- blanchardi*) population dynamics during different phenological stages of life history under hot arid conditions. *Int J Biometeorol* 59(10):1425–1436
- Jemâa JMB, Haouel S, Bouaziz M, Khouja ML (2012) Seasonal variations in chemical composition and fumigant activity of five *Eucalyptus* essential oils against three moth pests of stored dates in Tunisia. *J Stored Prod Res* 48(8):61–67
- Jemâa JMB, Haouel S, Khouja ML (2013) Efficacy of *Eucalyptus* essential oils fumigant control against *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae) under various space occupation conditions. *J Stored Prod Res* 53(8):67–71
- Jensen OM, Hansen PF (2002) Water-entrained cement-based materials: II. Experimental observations. *Cem Concr Res* 32(6):973–978
- Jesser EN, Werdin-González JO, Murray AP, Ferrero AA (2017) Efficacy of essential oils to control the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *J Asia-Pac Entomol* 20(4):1122–1129
- Kamatou GP, Van Zyl R, Van Vuuren S, Figueiredo A, Barroso J, Pedro L et al (2008) Seasonal variation in essential oil composition, oil toxicity and the biological activity of solvent extracts of three South African *Salvia* species. *S Afr J Bot* 74(2):230–237
- Karabörklü S, Ayvaz A, Yilmaz S, Akbulut M (2011) Chemical composition and fumigant toxicity of some essential oils against *Ephestia kuehniella*. *J Econ Entomol* 104(4):1212–1219
- Kostyukovsky M, Rafaeli A, Gileadi C, Demchenko N, Shaaya E (2002) Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. *Pest Manag Sci Former Pestic Sci* 58(11):1101–1106
- Lazarević J, Jevremović S, Kostić I, Kostić M, Vuleta A, Manitašević Jovanović S et al (2020) Toxic, oviposition deterrent and oxidative stress effects of *Thymus vulgaris* essential oil against *Acanthoscelides obtectus*. *Insects* 11(9):563–582
- Madrid F, Sinha R (1982) Feeding damage of three stored-product moths (Lepidoptera: Pyralidae) on wheat. *J Econ Entomol* 75(6):1017–1020
- Mancini E, Senatore F, Del Monte D, De Martino L, Grulova D, Scognamiglio M et al (2015) Studies on chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of five *Thymus vulgaris* L. essential oils. *Molecules* 20(7):12016–12028
- Mediouni J, Dhoubi M (2007) Mass-rearing and field performance of irradiated carob moth *Ectomyelois ceratoniae* in Tunisia. Area-wide control of insect pests. Springer, New York, pp 265–273
- Moazeni N, Khajeali J, Izadi H, Mahdian K (2014) Chemical composition and bioactivity of *Thymus daenensis* Celak (Lamiaceae) essential oil against two lepidopteran stored-product insects. *J Essent Oil Res* 26(2):118–124
- Mokkadem A (1999) Cause de dégradation des plantes médicinales et aromatiques d'Algérie. *Rev Vie Et Nat* 7:24–26
- Na JH, Ryoo MI (2000) The influence of temperature on development of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on dried vegetable commodities. *J Stored Prod Res* 36(2):125–129
- Passino GS, Bazzoni E, Moretti M (2004) Microencapsulated essential oils active against indianmeal moth. *Bol San Veg Plagas* 30(8):125–132
- Perez-Mendoza J, Aguilera-Pena M (2004) Development, reproduction, and control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), in stored seed garlic in Mexico. *J Stored Prod Res* 40(4):409–421
- Rees D (2004) *Insects of stored products*. CSIRO publishing, Clayton
- Schöller M, Prozell S (2014) Stored-product insects and their natural enemies in Germany: a species-inventory. *Integr Prot Stored Prod IOBC-WPRS Bull* 98:27–34
- Singh P, Pandey AK (2018) Prospective of essential oils of the genus *Mentha* as biopesticides: a review. *Front Plant Sci* 9(14):1–14
- Song J, Lee SG, Lee H-S (2017) Insecticidal activities of *Eucalyptus dives* and *Thymus vulgaris* oils against *Plodia interpunctella* and *Tribolium castaneum* in the granary. *J Appl Biol Chem* 60(1):69–71
- Souza VND, Oliveira CRFD, Matos CHC, Almeida DKFD (2016) Fumigation toxicity of essential oils against *Rhyzopertha dominica* (f.) in stored maize grain. *Rev Caatinga* 29(2):435–440
- Subramanyam B, Hagstrum D, Schenk T (1993) Sampling adult beetles (Coleoptera) associated with stored grain: comparing detection and mean trap catch efficiency of two types of probe traps. *Environ Entomol* 22(1):33–42
- Van Rooyen A (2017) An ecological analysis of stink bug and lepidopteran borer complexes associated with pecan and citrus orchards in the Vaalharts region. University of the Free State
- Zerrifi SEA, Kasrati A, Tazart Z, El Khalloufi F, Abbad A, Oudra B et al (2020) Essential oils from Moroccan plants as promising ecofriendly tools to control toxic cyanobacteria blooms. *Ind Crops Prod* 143(8):11–19

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Résumé

Ectomyelois ceratoniae, *Ephestia kuehniella* et *Plodia interpunctella* sont les principaux insectes ravageurs de dattes dans les stockages. Leur contrôle requiert une bonne maîtrise du cycle de développement de ravageur d'*E. ceratoniae* et *P. interpunctella* étudiés sur les dattes dans des conditions de laboratoire. La durée du cycle de développement d'*E. ceratoniae* est $43,47 \pm 2$ jours et $36,5 \pm 4,81$ jours pour *P. interpunctella*. Les deux insectes passent par cinq stades larvaires. La durée de la nymphose est presque similaire pour les deux pyrales, $7,93 \pm 0,25$ jours pour *E. ceratoniae* et $7,41 \pm 0,60$ jours pour *P. interpunctella*. Par ailleurs, nous avons évalué la variation de la composition chimique de *T. vulgaris* et *M. spicata* ainsi leurs effet bio insecticide par fumigation et par contact à l'égard du premier et troisième stade larvaire d'*E. kuehniella*, *E. ceratoniae* et *P. interpunctella*. Il en ressort globalement que les deux huiles essentielles extraites en été et au printemps manifestent une toxicité importante par contact et inhalation. Les huiles essentielles extraites en été sont plus toxiques à l'égard d'*E. kuehniella*, *E. ceratoniae* et *P. interpunctella*. Le taux de mortalité est fonction de la dose, le temps, l'huile essentielle et la saison de récolte.

Mots clés : *E. ceratoniae*, *E. kuehniella*, *P. interpunctella*, huile essentielle, saison, fumigation, contact, cycle de développement.

Abstract

Ectomyelois ceratoniae, *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* are the main insect pests of dates in storage, their control requires a good mastery of the development cycle of *E. ceratoniae* and *P. interpunctella* which were studied on date fruit under laboratory conditions. The duration of the development cycle of *E. ceratoniae* was $43,47 \pm 2$ days and $36,5 \pm 4,81$ days for *P. interpunctella*. Both insects undergo five larval instars. The duration of pupation is almost similar for both moths, $7,93 \pm 0,25$ days for *E. ceratoniae* and $7,41 \pm 0,60$ days for *P. interpunctella*. In addition, we evaluated the variation of the chemical composition of *T. vulgaris* and *M. spicata* as well as their bio-insecticidal effect by fumigation and contact against the first and third larval instars of *E. kuehniella*, *E. ceratoniae*, and *P. interpunctella*. Overall, the two essential oils extracted in summer and spring show a significant toxicity by contact and inhalation, the essential oils extracted in summer are more toxic to *E. kuehniella*, *E. ceratoniae* and *P. interpunctella*, the mortality rate is a function of the dose, time, essential oil and the season of harvest.

Keywords: *E. ceratoniae*, *E. kuehniella*, *P. interpunctella*, essential oil, season, fumigation, contact, cycle of development.