

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Science Biologique et des Science Agronomiques
Département Agronomie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Thème

Activité insecticide de l'association de trois huiles essentielles de *Mentha piperita*, *Lavandula spica* et *Ocimum basilicum* à l'égard d'un ravageur de stock *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera : Silvanidae).

Présenté par ELNAJJAR Anis

Devant le jury composé de :

Présidente	Mme LARDJANE-AIT SLIMANE N.	Professeur	UMMTO
Promotrice	Mme KHELFAANE-GOUCHEM K.	MCA	UMMTO
Co-promotrice	Melle LAOUDI T.	Doctorante	UMMTO
Examinatrice	Mme TALEB-TOUDERT K.	MCA	UMMTO

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier le bon Dieu le tout puissant et miséricordieux qui m'a donné la force et la patience afin d'accomplir ce modeste travail, qui a été réalisé au sein du laboratoire d'entomologie à l'université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU (UMMTO).

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à ma promotrice M^{ME} KHELFAANE-GOUCHEM K., pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, la qualité de ses conseils et la confiance qu'elle m'a accordé, m'ont permis de mener mon travail à bon port.

Je remercie aussi particulièrement ma Co-promotrice LAOUDI T., pour sa disponibilité et sa patience.

Mes vifs remerciements vont également aux membres de jury Mme LARDJANE-AIT SLIMANE N. et Mme TALEB-TOUDERT K. Pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

A ma source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice ma mère « Leila ». Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'une grande source tout au long de ma vie. Quoique je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. Puisse Dieu tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon cher père « Adel ». Pourriez-Vous trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et tous vos efforts. En ce jour, j'espère réaliser l'un de tes rêves. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes respects, ma reconnaissance et mon profond amour, puisse dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.

A mon frère « Amir » et mes sœurs « Nada » et « Amira », aucune dédicace ne peut exprimer la profondeur des sentiments fraternels et d'amour, d'attachement que j'éprouve à votre égard. Puisse dieu vous protéger.

A ma fiancée « Rania », ainsi que sa famille.

A tous mes très chers amis et collègues. Veuillez trouver ici l'expression de mes profonds sentiments de respect et reconnaissance pour le soutien que vous n'avez jamais cessé de m'apporter.

Liste des abréviations

ANOVA : Analysis Of Variance (Analyse de la Variance).

CG/MS : Chromatographie en phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse.

DSA : Direction des Services Agricoles.

FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation).

HE : Huile essentielle.

HR : Humidité Relative.

IGC : International Grains Council (Conseil international des céréales).

Mt : Millions de tonne.

OGTR : Office of the Gene Technology Regulator (Bureau de l'organisation de réglementations de la technologie génétique).

PR : Pourcentage de Répulsion.

QX : quintaux.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Principaux producteurs mondiaux d'orge (IGC, 2013).....	12
Tableau 02 : Production mondiale (en millions de tonnes) de l'orge durant les six dernières années (FAO, 2022)	13
Tableau 03 : Production d'orge en Algérie (en quintaux) durant différentes années (DSA, 2022)	14
Tableau 04 : Composition biochimique de l'orge (Allosio-Ouarnier, 1999)	15
Tableau 05 : Principaux coléoptères ravageurs d'orge (Christine, 2001).....	19
Tableau 06 : Répartition géographique du genre <i>Oryzaephilus</i> (Rees 2004)	21
Tableau 07 : Ennemis naturels d' <i>O. surinamensis</i>	27
Tableau 08 : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et <i>al.</i> (1970) ..	46
Tableau 09 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) concernant l'effet du traitement par inhalation vis-à-vis des adultes d' <i>O. surinamensis</i>	49
Tableau 10 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement (F1) testées par inhalation, sur la mortalité des adultes d' <i>O. surinamensis</i>	49
Tableau 11 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition (F2) au traitement par inhalation sur la mortalité des adultes d' <i>O. surinamensis</i>	50
Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) concernant l'effet du traitement par inhalation vis-à-vis des larves âgées d' <i>O. surinamensis</i>	51
Tableau 13 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement (F1) testées par inhalation, sur la mortalité des larves âgées d' <i>O. surinamensis</i>	51
Tableau 14 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition (F2) au traitement par inhalation sur la mortalité des larves âgées d' <i>O. surinamensis</i>	52
Tableau 15 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) concernant l'effet du traitement par inhalation vis-à-vis des jeunes larves d' <i>O. surinamensis</i>	53
Tableau 16 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement (F1) testée par inhalation, sur la mortalité des jeunes larves d' <i>O. surinamensis</i>	53

Tableau 17 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition (F2) au traitement par inhalation sur la mortalité des jeunes larves d' <i>O. surinamensis</i>	54
Tableau 18 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) concernant l'effet du traitement par inhalation vis-à-vis des œufs d' <i>O. surinamensis</i>	55
Tableau 19 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement (F1) testées par inhalation, sur la mortalité des œufs d' <i>O. surinamensis</i>	55
Tableau 20 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition (F2) au traitement par inhalation sur la mortalité des œufs d' <i>O. surinamensis</i>	56
Tableau 21 : Résultat de l'analyse de la variance à un seul critère de classification pour le facteur dose concernant l'effet répulsif des trois huiles essentielles (menthe poivrée, lavande aspic et basilic tropical) vis-à-vis d' <i>O. surinamensis</i>	57
Tableau 22 : Résultats du test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour le facteur dose de l'association des trois huiles essentielles (menthe poivrée, lavande aspic et basilic tropical) vis-à-vis d' <i>O. surinamensis</i>	57
Tableau 23 : Pourcentage de répulsion de l'association des trois huiles essentielles (lavande aspic, menthe poivrée et basilic tropical) sur les adultes d' <i>O. surinamensis</i>	58

Liste des figures

Figure 01. Carte géographique du Croissant-Fertile (zone en vert). aire de domestication de l'orge (<i>Hordeum vulgare</i> ssp., <i>vulgare</i>) (Usubaliev, 2013).....	6
Figure 02. Morphologie de l'orge à deux rangs et l'escourgeon (Simon et <i>al.</i> , 19).....	9
Figure 03. Coupe longitudinale d'un grain d'orge (Palmer, 1989)	11
Figure 04. Coupe transversale des enveloppes, de la couche à aleurone et de l'endosperme amylicé d'un grain d'orge (Palmer, 1989)	11
Figure 05. Symptômes de rhynchosporiose sur les feuilles d'orge (BAFS, 2008)	16
Figure 06. Taches brunes longitudinales des feuilles d'orge (Lacroix, 2002)	16
Figure 07. Charbon couvert d'orge (Anonyme, 2021).....	17
Figure 08. Œuf d' <i>O. surinamensis</i> (G×60) (Originelle, 2022)	22
Figure 9. Larve d' <i>O. surinamensis</i> (G×60) (Originelle, 2022)	23
Figure 10. Nymphe d' <i>O. surinamensis</i> face dorsale (G×80) (Originelle, 2022)	24
Figure 11. Adulte d' <i>O. surinamensis</i> face dorsale (G×60) (Originelle, 2022)	25
Figure 12. Pattes postérieure du mâle d' <i>O. surinamensis</i> (G×80) (Hamoutene et Ben Ouarab, 2022).....	25
Figure 13. Farine d'orge infestée par <i>O. surinamensis</i> (Originelle, 2022)	26
Figure 14. Matériel expérimental utilisé (Originelle, 2022)	34
Figure 15. Adulte d' <i>O. surinamensis</i> (Gx60) (Originelle, 2022)	35
Figure 16. Farine d'orge (Originelle, 2022)	36
Figure 17. Huiles essentielles utilisées (Originelle, 202).....	36
Figure 18. <i>Mentha piperita</i> (Gayda, 2013)	37
Figure 19. Lavande aspic (Anonyme 2022)	39
Figure 20. Partie aérienne d' <i>Ocimum basilicum</i> (Anonyme, 2009)	40
Figure 21. Elevage de masse d' <i>O. surinamensis</i> (Originelle, 2022)	42
Figure 22. Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association des trois huiles essentielles à l'égard des adultes d' <i>O. surinamensis</i> (Originelle, 2022)	43
Figure 23. Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des œufs d' <i>O. surinamensis</i> (Originelle, 2022)	44

Figure 24. Dispositif expérimental du test de répulsion des trois huiles essentielles combinées à l'égard des adultes d' <i>O. surinamensis</i> (Originelle, 2022)	45
Figure 25. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des adultes d' <i>O. surinamensis</i> traités par la combinaison de trois huiles essentielles de la menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition	48
Figure 26. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des larves âgées d' <i>O. surinamensis</i> traitées par la combinaison de trois huiles essentielles de la menthe poivrée, le basilic tropical et la lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition	50
Figure 27. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des jeunes larves d' <i>O. surinamensis</i> traités par la combinaison de trois huiles essentielles de la menthe poivrée, basilic tropical et la lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition	52
Figure 28. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des œufs d' <i>O. surinamensis</i> traités par la combinaison de trois huiles essentielles de la menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition	54
Figure 29. Taux de répulsion (%) (Moyenne ±ET) des adultes d' <i>O. surinamensis</i> après traitement de l'association des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic)	56
Figure 30. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	58
Figure 31. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	59
Figure 32. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des larves âgées d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	60
Figure 33. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des larves âgées d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	60

Figure 34. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des jeunes larves d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	61
Figure 35. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des jeunes larves d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	62
Figure 36. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des œufs d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	63
Figure 37. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des œufs d' <i>O. surinamensis</i> en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées	63

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des Tableaux

Listes des figures

Introduction.....1

Chapitre I : Présentation de la plante hôte

1. Généralités sur l'orge.....	4
2. Origine.....	5
3. Systématique de l'orge.....	6
4. Description de la plante.....	7
4.1. Appareil racinaire.....	7
4.2. Appareil aérien.....	7
4.3. Appareil reproducteur	8
5. Histologie du grain.....	10
6. Composition chimique du grain d'orge.....	12
7. Importance économique de l'orge	13
7.1. Dans le monde.....	13
7.2. En Algérie	14
8. Maladies et ravageurs	15
8.1. Maladie de l'orge	15
8.2. Ravageurs de l'orge	17
8.2.1. Dans les champs	17
8.2.2. Dans les stocks.....	18

Chapitre II : Généralités sur l'insecte ravageur *O. surinamensis*

1. Généralités	20
2. Origine et répartition	20
3. Classification	21

4. Cycle de développement	22
4.1. L'œuf	22
4.2. Larve	22
4.3. Nymphe	23
4.4. L'Adulte	24
5. Dégâts	26
6. Ennemis naturels	26
7. Méthode de lutte	27
7.1. Lutte préventive	27
7.2. Lutte curative	28
7.2.1. Lutte chimique	28
7.2.1.1. Insecticides de contacts	29
7.2.1.2. Traitement par fumigation	29
7.2.2. Lutte physique	29
7.2.2.1. Les températures extrêmes	29
7.2.2.2. Les radiations	30
a. Les radiations ionisantes	30
b. Les radiations électromagnétiques (non ionisantes) ...	30
7.3. Lutte biologique	30
7.3.1. Les biopesticides	30
7.3.1.1. Poudre de plantes	31
7.3.1.2. Huiles végétales	31
7.3.1.3. Huiles essentielles	31
a. Propriétés et action des huiles essentielles	31

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Matériel	33
1.1. Matériels de laboratoire	33
1.2. Matériels biologiques	35
1.2.1. Insecte	35
1.2.2. Matériel végétal.....	35

1.3. Huiles essentielles	36
1.3.1. Menthe poivrée	36
1.3.1.1. Origine	36
1.3.1.2. Description	37
1.3.1.3. Classification	38
1.3.1.4. Composition chimique	38
1.3.2. Lavande aspic	38
1.3.2.1. Origine et répartition géographique	38
1.3.2.2. Description	38
1.3.2.3. Classification	39
1.3.2.4. Composition chimique	40
1.3.3. Basilic tropical	40
1.3.3.1. Origine	40
1.3.3.2. Description	40
1.3.3.3. Classification	41
1.3.3.4. Composition chimique	41
2. Méthodes	41
2.1. Elevage de masse	41
2.2. Test par inhalation	42
2.2.1. Test par inhalation à l'égard des adultes	42
2.2.2. Test par inhalation à l'égard des larves âgées	43
2.2.3. Test par inhalation à l'égard des jeunes larves	43
2.2.4. Test par inhalation à l'égard des œufs	44
2.3. Test par répulsion	44
2.4. Estimation de la dose létale DL_{50}	46
2.5. Estimation du temps létale TL_{50}	46
2.6. Analyse statistique	47

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Résultats	48
1.1. Evaluation de la toxicité par inhalation des huiles essentielles	48
1.1.1. Toxicité des adultes	48
1.1.2. Toxicité sur les larves âgées	50

1.1.3. Toxicité sur les jeunes larves	52
1.1.4. Toxicité sur les œufs	54
1.2.Evaluation de l'effet par répulsion des huiles essentielles	56
1.3.La DL ₅₀ et La TL ₅₀	58
1.3.1. Test par inhalation vis-à-vis des adultes	58
1.3.2. Test par inhalation vis-à-vis des larves âgées	59
1.3.3. Test par inhalation à l'égard des jeunes larves	61
1.3.4. Test par inhalation pour les œufs	62
2. Discussion	64
2.1.Evaluation de la toxicité par inhalation sur les adultes, larve âgées, jeunes larves et les œufs d' <i>O. surinamensis</i>	64
2.2.Test par répulsion des trois huiles essentielles à l'égard des adultes d' <i>O.</i> <i>surinamensis</i>	67
Conclusion	68
Références bibliographiques	71

Introduction

Les céréales constituent depuis toujours la principale ressource alimentaire pour l'homme et les animaux domestiques, elles sont cultivées pour leur grain, dont l'albumen amylicé est réduit en farine (Moule, 1971). Ces dernières années, l'offre mondiale des céréales a dépassé la demande, entraînant une accumulation sensible des stocks et une diminution des prix sur les marchés internationaux (FAO, 2018).

La production céréalière mondiale en 2022 est estimée à 7 milliards de tonnes en juillet et s'établit désormais à 2739 million de tonnes (FAO, 2022). Parmi les céréales, l'orge est utilisée pour l'alimentation animale, les malts de brassage et l'alimentation humaine (Aidani, 2015). Aujourd'hui l'orge occupe la troisième place après le blé et le riz avec une production de 156.58Mt (FAO, 2022).

En Algérie, les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75% de l'apport protéique de la ration alimentaire nationale (Feillet, 2000). La production des céréales a augmenté d'environ 50 000 qx entre les campagnes agricoles 2015-2016 et 2016-2017. Elle a atteint 169 131 qx pour la campagne agricole 2020-2021 (DSA, 2022). L'orge couvre 35% de la superficie céréalière en Algérie (Menad et *al.*, 2011),sa production en 2020-2021 a enregistré un chiffre de 5193 qx (DSA, 2022).

Selon Keskin et Okazaya (2015), au cours du stockage, les céréales subissent des altérations biologique, biotique et abiotique. Le regroupement des récoltes sous forme de stocks, crée un système écologique artificiel particulièrement vulnérable aux attaques des ravageurs (Sigaut, 1978). Les pertes sont essentiellement dues aux insectes, aux rongeurs, aux moisissures et aux bactéries. Certaines conditions physiques, notamment la teneur en eau, l'humidité relative, la température, peuvent aussi entraîner la dégradation et des pertes qualitatives des denrées stockées (Ndiaye, 1999). Les pertes dues aux insectes sur les céréales et les légumineuses peuvent atteindre jusqu'à 10% des pertes à l'échelle mondiale (De Carvalho et *al.*, 2013).

Les ravageurs primaires et les ravageurs secondaires, sont les deux classes des insectes d'entrepôts. Les ravageurs primaires sont capables d'envahir des grains non endommagés et les

infester, ils sont également capables de lancer leurs attaques dans les champs c'est le cas du petit capucin des grains *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera : Bostrychidae) et le charançon des grains *Sitophilus oryzae* (Coleoptera : Curculionidae). Les ravageurs secondaires s'établissent dans les grains déjà endommagées comme le tribolium brun de la farine *Tribolium confisum* (Coleoptera : Teneberionidae) et le silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera : Silvanidae) (Feillet, 2000).

Le silvain dentelé des grains, *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera : Silvanidae), est un insecte cosmopolite des grains qui peut infester une large gamme de produits comme les noix, la levure, le sucre, le tabac, les grains et les fruits secs (Kumar, 2017). Le silvain cause la diminution du poids et de la qualité des produits et la perte de leur valeur commerciale.

Il existe plusieurs méthodes de lutttes qui permettent de maintenir les populations des ravageurs à un niveau assez bas pour que les dégâts occasionnées soient économiquement tolérable. La lutte chimique demeure le moyen de protection le plus efficace avec cependant des avantages et des inconvénients (Haubruge et *al.*, 1988; Relinger et *al.*,1988).

La lutte chimique provoque non seulement des problèmes de résistance chez les insectes ravageurs mais, entraînerait aussi des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine. En raison des inconvénients de cette lutte, les méthodes sont orientées vers celles qui entrent dans le cadre du développement durable et de la sauvegarde des écosystèmes, il s'agit de l'utilisation des plantes aromatiques, riches en huiles essentielles, qui agissent comme biopesticides contre de nombreux ravageurs des denrées stockées (Kellouche, 2005).

C'est dans ce contexte, que nous nous proposons d'étudier au cours de ce travail, l'activité insecticide de trois huiles essentielles combinées, de trois plantes aromatiques : la menthe poivrée *Mentha piperita*, le basilic tropical *Ocimum basilicum* et la lavande aspic *Lavandula spica*, par inhalation, sur les adultes, les larves âgées, les jeunes larves et les œufs d'*O. surinamensis*, et par répulsion sur les adultes de ce coléoptère.

Ce travail comprend deux parties et quatre chapitres, une partie bibliographique qui présente la plante hôte, une revue bibliographique sur *O. surinamensis* et une partie expérimentale qui présente le matériel utilisé et les méthodes adoptées, les résultats obtenus suivis d'une discussion. Ce travail est terminé par une conclusion et quelques perspectives de recherche.

*Chapitre I : Présentation de la
plante hôte*

1. Généralités sur l'orge

L'orge est l'une des premières céréales domestiquées par l'Homme et sa culture fut l'une des cultures fondatrices de l'agriculture de l'Ancien Monde (OGTR, 2008; Andrew et al., 2017). L'orge *Hordeum vulgare* L. est cultivée principalement pour l'alimentation du bétail et la fabrication de malt (Newton et al., 2011). D'après Faostat (2018), elle est l'une des plus grandes cultures céréalières du monde.

C'est une plante herbacée monocotylédone dont les graines sont très utiles pour l'homme (Weibe, 1979). Cette espèce est cultivée dans une large gamme d'environnements ; elle s'adapte aux zones très fertiles à forte production mais s'adapte aussi bien aux environnements caractérisés par une grande variabilité climatique (Dawson Ian et al., 2015). Elle est cultivée sur des sols calcaires aux ; on distingue des orges d'hiver et des et d'orge du printemps (Clerget, 2011).

D'après Zohary et Hopf (1994), des centaines de variétés connues de l'orge sont regroupées en une seule espèce polymorphe *Horedum vulgare* où on distinguer des orges d'hiver et des orges du printemps.

L'orge est divisé en deux sous-espèces : l'orge cultivé *Horedum vulgare* L.ssp. *vulgare* et l'orge sauvage *H. vulgare* .L.ssp. *spanteum* (Koch) (OGTR, 2008). Les deux espèces sont distinguées dans l'ancienne terminologie selon le nombre d'épillets fertiles portés par chaque nœud de l'épi (Bouby, 2011).

D'après Clerget (2011), les quatre principales espèces d'orge cultivées sont :

- La paumelle *Hordeum distichum* L., aux grains disposés sur deux rangs dans l'épi.
- L'orge pyramidale *Hordeum zeocriton* L., aux grains également disposés sur deux rangées.
- L'orge carrée *Hordeum vulgare* L., dont les grains sont disposés sur quatre rangées.
- L'orge à six rangs *Hordeum hexastichum* L., dont les grains sont répartis sur six rangées dans l'épi. C'était l'espèce ancestrale cultivée dans l'Antiquité dans le Croissant Fertile, mais actuellement elle est de moins en moins cultivée.

En Algérie, il existe huit variétés d'orge multipliées sur treize variétés autorisées à la production et à la commercialisation. Le nombre de variétés importées de l'orge a diminué alors qu'une progression des variétés locales est notée avec un taux d'occupation de 89%, du fait qu'elles sont très appréciées par les agriculteurs (Boufenar-Zeghouane, 2006).

2. Origine

L'orge fait partie du premier groupe de céréales, émergeant dans le Triangle Fertile, berceau des civilisations occidentales qui ont donc leur point de départ au Moyen Orient et au Proche Orient (Clerget, 2011).

Selon Newman (2006), le développement historique des humains et leurs tentatives de cultiver de l'orge sont étudiées par des archéologues et d'autres scientifiques, et la théorie actuellement acceptée est que l'orge a été d'abord domestiqué dans le Croissant Fertile au Proche-Orient, qui couvre aujourd'hui Israël, le Nord de la Syrie, le Sud de la Turquie, l'Est de l'Irak et l'Ouest de l'Iran. L'ancêtre de l'orge moderne est considéré comme identique à l'actuel *Hordeum spontaneum*.

Les premiers vestiges d'orge découverts jusqu'à présent dans des sites archéologiques, datant d'environ 8000 avant J-C, étaient ceux de la phase Bus Mordeh d'Ali Kosh, près de DehLuran en Iran et Tell Mureybat en Syrie (Newman, 2006). Le centre d'origine de l'orge (*Hordeum vulgare*) se trouve dans le moyen orient où elle a été cultivée depuis au moins 8000 ans (Figure 01) (Shephred et *al.*, 2017 ; Van Oosterom et Acevedo, 1992).



Figure 01. Carte géographique du Croissant Fertile (zone en vert) : aire de domestication de l'orge (*Hordeum vulgare* ssp., *vulgare*) (Usubaliev, 2013).

3. Systématique de l'orge

D'après Feillet (2000), la classification d'orge cultivée est la suivante :

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous classe	Commelinidae
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Sous famille	Hordeoideae
Tribu	Hordeae (Hordées)
Sous tribu	Hordeinae
Genre	<i>Hordeum</i>
Espèce	<i>Hordeum vulgare</i> L.

4. Description de la plante

L'orge avec ses caractères morphologiques et physiologiques, se distingue très bien des autres espèces de céréales (Bouafenar-Zaghouane, 2006). L'orge est une graminée annuelle qui peut atteindre 1m de hauteur (Paquereau, 2013) ; elle est constituée de racines, de tiges cylindriques et de feuilles alternées. Le sommet de la tige (l'épi) est constitué de fleurs. Le grain de l'orge est un caryopse comme chez toutes les autres céréales (Gallais et Bennerot, 1992).

4.1. Appareil racinaire

L'appareil racinaire est composé de deux systèmes racinaires successifs :

- Un système séminal, fonctionnel de la levée au début du tallage ; les racines de ce système sont au nombre de six, rarement sept (Benlaribi et *al.*, 1990).
- Un système adventif ou coronal, apparaissant au moment où la plante émet ses talles. Ce système se substitue progressivement au précédent durant l'avancement du cycle biologique des céréales à paille (Soltner, 2005).

4.2. Appareil aérien

L'appareil aérien est constitué de ramifications, appelées talles, qui partent d'une zone, appelée court-nouée située à la base de la tige (le plateau de tallage). Le nombre de talles chez l'orge est élevé, avec une tige creuse et formée d'entre-nœuds, séparés par des nœuds, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. La hauteur de la tige chez (*Hordeum vulgare* L.) s'étend de 60 cm à 150 cm (Pétrequin et Baudoin, 1997).

Les feuilles de l'orge sont alternes, longues, étroites et à nervures parallèles. La feuille comprend deux parties :

- Une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la gaine.
- Une portion supérieure qui correspond au limbe foliaire pouvant atteindre 25 cm de long sur environ 1.5 cm de large. Les gaines, attachées au niveau des nœuds, sont emboîtées les unes dans les autres et forment un tube cylindrique entourant la tige qui se déboîte au fur et à mesure de la croissance des entre-nœuds (Soltner, 1990).

4.3. Appareil reproducteur

L'inflorescence de l'orge est indéfinie et termine l'appareil végétatif, c'est une grappe dont les fleurs sont sans pédoncules, c'est l'épi-terminal. L'épi de l'orge est donc constitué d'un empilement d'épillets rattachés au rachis. Chacun des épillets est lui-même constitué d'un ensemble de fleurs, dont certaines donneront des grains alors que d'autres avorteront (Holloway et Jeffree, 2017).

L'ensemble des épillets est inclus dans deux glumes, une inférieure et une supérieure. Le nombre de fleurs fertiles par épillet chez *Hordeum vulgare* L. est de 1 à 3 (Gallais et Bannerot, 1992). Elles sont hermaphrodites, chaque fleur est protégée par deux glumelles et comprend un ovaire avec un seul ovule, un stigmate et trois étamines. La fleur d'orge est constituée d'un verticille de trois anthères et d'un ovaire surmonté de deux stigmates plumeux (Figure 02) (Jacquard, 2007).

Selon Soltner (2005), l'orge sauvage est composé de deux rangées d'épillets fertiles, un sur chaque axe du rachis, entouré de quatre épillets stériles ; dans ce type existe surtout des variétés de printemps. L'orge à six rangs (domestique), a une section rectangulaire et tous les épillets sont fertiles ; dans ce type d'orge domestique il n'existe pratiquement que des variétés d'hiver (Figure 02).

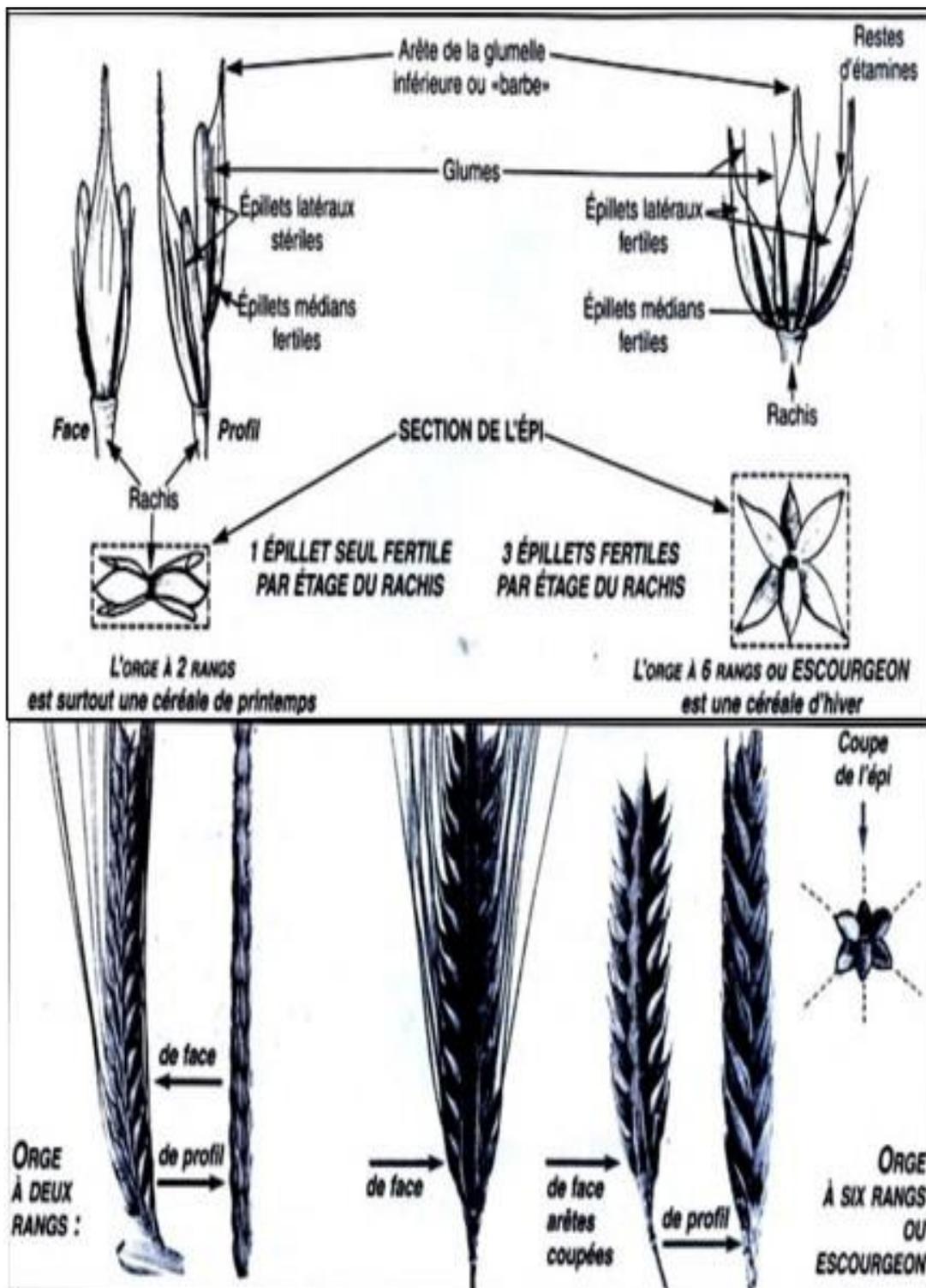


Figure 02. Morphologie de l'orge à deux rangs et l'escourgeon (Simon et al., 1989).

5. Histologie du grain de l'orge

L'orge est une graine vêtue ; les glumelles adhèrent au grain et ne s'en séparent pas au battage (Stanca *et al.*, 2016 ; Irma *et al.*, 2017). Les figures 03 et 04 présentent des coupes longitudinale et transversale d'un grain d'orge.

Selon Doumandji *et al.*, (2003) ; de l'extérieur vers l'intérieur, les principales parties constituant une graine d'orge sont :

- La paroi externe : a paroi externe entoure complètement le grain sauf aux 2 extrémités. Elle doit être intacte pour permettre une absorption d'eau homogène lors du trempage et pour protéger l'embryon des infections pendant la germination.
- Le péricarpe – testa (membrane semi-perméable) : le péricarpe est séparé de l'enveloppe par une couche cireuse et est soudé à la testa par une couche de cellules à parois lignifiées. Le péricarpe est composé majoritairement de cellulose (20%) mais contient également 6% de protéines, 2% de cendres, 0,5% de lipides et de pentosanes.
- La couche à aleurone, périphérique (réservoir enzymatique) : la couche à aleurone est constituée de 3 ou 4 assises de cellules vivantes riches en matières azotées et en globules lipidiques. Pendant le développement du grain, ces cellules vont se différencier. Les plus internes vont permettre la synthèse de protéines et d'amidon.
- L'endosperme (réserve de matières nutritives) : il est constitué de cellules mortes remplies de granules d'amidon entourés de protéines.
- L'embryon (plantule complète) : représente le siège des activités vitales du grain, formé principalement par une radicule, une tigelle et une plumule. L'embryon situé sur la face dorsale du grain, est séparé de l'endosperme par le scutellum qui a une fonction de sécrétion et permet la diffusion des enzymes hydrolytiques de l'embryon vers l'endosperme.

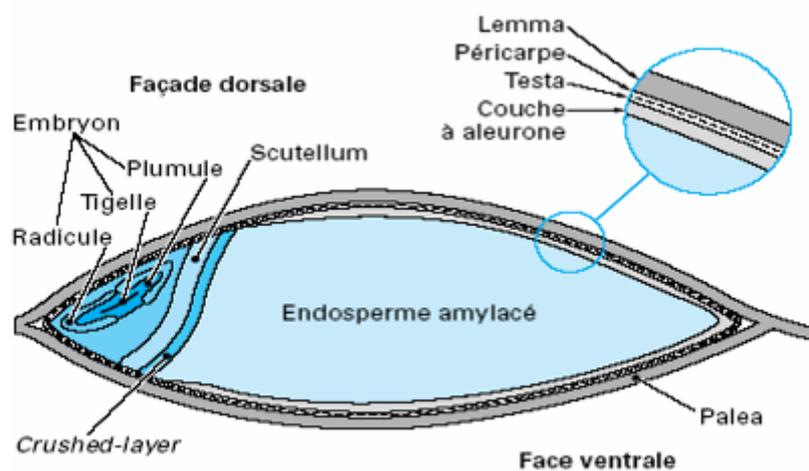


Figure 03. Coupe longitudinale d'un grain d'orge (Palmer, 1989).

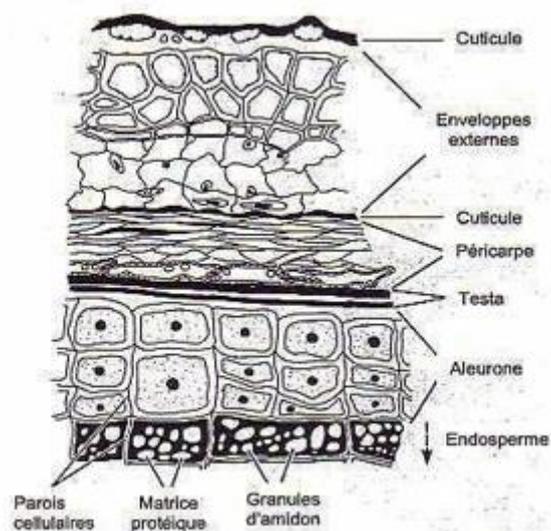


Figure 04. Coupe transversale des enveloppes, de la couche à aleurone et de l'endosperme amylicé d'un grain d'orge (Palmer, 1989).

6. Composition chimique du grain d'orge

L'orge constitue une matière alimentaire précieuse. Les glucides représentent environ 80% de la matière sèche des graines et sont constitués essentiellement d'amidon localisé au niveau du caryopse. Il constitue la principale source d'énergie dans les grains d'orge (Tableau 01) (Soleymani, 2017).

Tableau 01 : Composition biochimique de l'orge (Allosio-Ouarnier, 1999).

Constituants biochimiques	Orge (teneur en% du sec)
Glucides	78-85
Amidon	63-65
Saccharose	1-2
Sucres réducteurs	0.1-0.2
Polysaccharides solubles dans l'eau (gommes)	1-1.5
Polysaccharides solubles dans les solvants organiques (hémicellulose)	8-10
Cellulose	4-5
Autres	1
Lipides	2-3
Protéines	8-11
Albumine	0.5
Globuline	3
Hordéine	3-4
Glutéline	3-4
Acides aminés et peptides	0.5
Acides nucléiques	0.2-0.3
Sels minéraux	2
Autres dont lignine	5-6

D'après Mazza et Gao (2005), les graines et les feuilles d'orge contiennent principalement :

- des acides phénoliques, comme l'acide syringique (McDonough et *al.*, 2000) et l'acide O-coumarique et l'acide m-coumarique.
- des flavonoïdes, comme la cyanidine, la delphindine, la lutéoline et la lutoarine.

7. Importance économique de l'orge

7.1. Dans le monde

D'après la FAO (2012), la production mondiale de l'orge avoisine les 135 millions de tonnes pour une superficie emblavée de près de 57 millions d'hectares. Les producteurs majeurs dans le monde durant la période 2010/2011 sont : la Russie, l'Australie, l'Union Européenne, l'Ukraine et le Canada (Tableau 02).

En 2016, la production mondiale de l'orge atteint les 145,8 millions de tonnes, soit environ 1,6% (4,6 millions de tonnes) de plus que le niveau de 2015 avec des exportations de 3 millions de tonnes d'orge pour l'Australie, l'Union Européenne et l'Ukraine (FAO, 2016). Selon la FAO (2022), l'orge prend la troisième place après le riz et le blé avec une production de 156.58 Mt.

Tableau 02 : Les principaux producteurs de l'orge dans le monde (chiffres de 2013) (International Grains Council, 2013).

Producteurs	Production (en million de tonnes)
Union européen	59
France	10
Allemagne	10
Espagne	10
Royaume-Uni	7
Danemark	4
Pologne	3
Autres	15
Russie	14
Australie	8
Canada	8
Ukraine	7
Turquie	6
Etats Unis	5
Monde	131

Comme pour les autres céréales, la production est très variable d'une année à l'autre, en raison des aléas climatiques (Tableau 03).

Tableau 03 : Production mondiale (en millions de tonnes) de l'orge durant les six dernières années (FAO, 2022).

Année	Production en millions de tonne
2015-2016	149,64
2016-2017	145,96
2017-2018	142,37
2018-2019	140,6
2019-2020	154,2
2020-2021	146,58
2021-2022	156,58

L'orge est aussi une culture qui s'adapte bien à des environnements différents, elle est cultivée à partir de 330 m au-dessus du niveau de la mer à proximité de la Mer Morte et à 4200 m sur les Andes Boliviennes (FAO, 2009). L'orge est également une plante modèle bien connue et utilisée pour développer des méthodologies de sélection végétale, génétique et cytogénétique (Ospina, 2014).

La culture d'orge est utilisée pour l'alimentation animale, les malts de brassage et l'alimentation humaine (Aidani, 2015). On distingue l'orge brassicole qui représente environ 30% de la production mondiale et l'orge fourragère, destinée à l'alimentation animale qui représente environ 70% (Bourras, 2001).

7.2. En Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009).

Depuis l'indépendance, le secteur agricole cherche à améliorer le niveau de production des céréales en Algérie en raison de leur importance pour l'agriculture algérienne et pour subvenir aux besoins de la population toujours croissants (Bourras, 2001).

Durant les cinq dernières années, la production de l'orge est restée stable et a atteint son pic en 2019-2020 avec une production de 5981 qx (Tableau 04).

Tableau 04 : Production d'orge en Algérie (en quintaux) durant différentes années (DSA, 2022).

Année	2015- 2016	2016- 2017	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2020- 2021
Production (en quintaux)	5104	5027	5565	5237	5981	5193

La production nationale des céréales couvre moins de 30% des besoins. Le blé représente la production alimentaire la plus importante pour une grande partie de la population algérienne (Morsli, 2010). L'orge couvre 35% de la superficie céréalière (Menad et *al.*, 2011).

La production algérienne des céréales et spécialement d'orge est très variable d'une année à une autre. Elle est confrontée à des contraintes d'ordre climatique et technique (DSA, 2022 ; Bouzerzour et Benmahammed, 1993).

Cependant, ces dernières années, la production nationale de l'orge a progressivement augmenté car plusieurs programmes et projets ont été mis en place pour l'amélioration de la production, et le développement de variétés résistantes aux maladies. Depuis 2009, l'Algérie est devenue auto-suffisante en production d'orge (Menad et *al.*, 2011).

8. Maladies et ravageurs

8.1. Maladies de l'orge

Comme toutes les céréales, l'orge est concernée par de nombreuses maladies qui réduisent les rendements agricoles et nécessitent des traitements phytosanitaires, ces maladies sont de type, virales, bactériennes et fongiques (Soltner, 2005).

Parmi ces maladies, celles dus au champignon sont les plus importants, nous avons :

- **Rhynchosporiose**

C'est l'une des plus importantes maladies de l'orge dans le monde, elle cause des taches elliptiques, grisâtres avec une marge brun foncée (10 et 15mm). Elle est causée par un champignon ascomycète *Rhynchosporium secalis* (Figure 05) (Aouali et Douici-Khalfi, 2013).



Figure 05. Symptômes de rhynchosporiose sur les feuilles d’orge (BAFS, 2008).

- **Rayure réticulée**

C’est une maladie qui touche les feuilles et les tiges de l’orge. Des taches en réseau de stries longitudinales formant des rayures brunes foncées, entourées des zones chlorotiques sont observées sur les feuilles (Figure 06).

Elle est causée par un champignon ascomycète *Pyrenophora teres*. Il peut aussi s’attaquer aux grains, pouvant réduire les rendements de plus de 40% et déprécier la qualité des grains (Alihaimoud et *al.*, 1993).

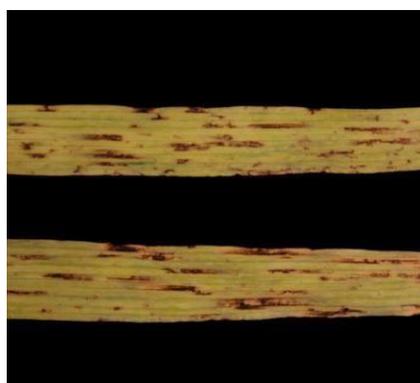


Figure 06. Taches brunes longitudinales des feuilles d’orge (Lacroix, 2002)

- **Strie foliaire**

Cette maladie est causée par un champignon sexuée *Pyrenophora graminea* (Champion, 1997). Elle cause des stries jaunâtres, parallèles aux nervures qui se développent sur toute la longueur du limbe (Bouakaz et Oussaid, 2013).

- **Charbon couvert**

Cette maladie causée par un champignon basidiomycète *Ustilago hordei*, qui attaque les épis d'orge. C'est une maladie qui se transmet essentiellement par les semences, les symptômes sont visibles à partir de l'épiaison. Les épis sont recouverts d'une masse noire pulvérulente formée par les spores du champignon, recouverte d'une masse blanchâtre (Figure 07) (Soltner, 2005).



Figure 07. Le charbon couvert d'orge (Anonyme, 2021).

8.2. Ravageurs de l'orge

Les insectes ravageurs qui attaquent les cultures de céréales et les semences stockées causent des différentes détériorations et dégâts à différents stades de développements des céréales.

8.2.1. Dans les champs

Les cultures de céréales subissent de multiples détériorations, au cours de leur développement, par des insectes nuisibles tels que :

- **Pucerons**

Cet insecte est un vecteur de jaunisse nanisante. En piquant les feuilles d'orge pour se nourrir, le puceron *Rhopalosiphum padi* prélève de la sève et en échange, leur injecte des virus.

Ce puceron est surtout présent à l'automne mais les symptômes apparaissent à la reprise de végétation, sous forme de décolorations des dernières feuilles. Les pertes dues à ce ravageur peuvent atteindre 15 q/ha (Caspiano, 1997).

- **Cicadelles**

Cet insecte provoque des dommages directs par l'ingestion des chloroplastes et la chlorophylle des cellules des feuilles, ce qui provoque l'apparition de pointillés blanc sur les feuilles (Saguez et *al.*, 2015). Il induit aussi des dommages indirects en piquant la sève des plantes pour s'alimenter, ce ravageur transmet le virus des pieds chétifs, responsable de pertes de rendement pouvant dépasser les 20 q/ha. Les attaques de cicadelles aux stades précoces des céréales sont les plus dommageables.

8.2.2. Dans les stocks

Selon Arrab (2016), ces insectes se répartissent en trois catégories :

- Les ravageurs primaires, appelés aussi à forme cachées, ces espèces sont capables de s'attaquer à des grains entiers sains, sont les plus dangereux car, certains pondent leurs œufs à l'intérieur du grain, d'autres à la surface du grain et les larves pénètrent l'enveloppe dure des grains et se nourrissent de l'amande. C'est l'exemple le petit capucin des grains *Ryzopertha dominica* (Fleurat-Lessard, 2015).
- Les ravageurs secondaires, appelés à formes libres, ne sont pas capables d'attaquer les grains sains qu'à partir des dégâts causés par les ravageurs primaires. C'est l'exemple de silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis* (Fleurat- Lessard, 2015).
- Les ravageurs tertiaires se nourrissent de graines cassées, de poussières de graines et de la poudre laissée par les groupes précédents. C'est l'exemple de *Trogoderma variabile* des denrées (De Groot, 2004).

Les dégâts sont causés principalement par les insectes qui appartiennent à deux ordres : lescoléoptères et les lépidoptères (Tableau 05) (Berhaut et *al.*, 2003).

Tableau 05 : Principaux coléoptères ravageurs d'orge (Christine, 2001).

<p>Petit capucin des grains, <i>Rhyzopertha dominica</i></p> 	<p>Appelé le perceur des grains, de couleur brun foncé, mesure 3mm de longueur avec une forme cylindrique et allongée.</p>	<p>Creuse des galeries dans tout le grain, dégage une odeur fétide en situation de forte infestation.</p>
<p>Charoncon des grains, <i>Sitophilus granarius</i></p>	<p>Mesure 2.5 à 4.5 mm de long. Brun foncé et de forme ovale. Possède de longues pièces buccales.</p>	<p>Le plus nuisible aux grains, en raison de sa propre prédation et aussi parce qu'il ouvre la porte à tous les détritivores.</p>
<p><i>ribolium, Tribolium</i> <i>Astaneum</i></p>	<p>L'adulte mesure 3 à 4mm de long. Brun rougeâtre. Corps étroit et allongé.</p>	<p>Infeste les Denrées alimentaires stockées, notamment la farine et les grains. Les produits attaqués sont imprégnés d'une odeur désagréable persistante.</p>
<p><i>Silvain, Oryzaephilus</i> <i>surinamensis</i></p> 	<p>Taille comprise entre 2.5 et 3.5mm de long. Couleur brune avec un corps aplati.</p>	<p>Espèce psychophage se nourrit de débris, des grains de céréales ou de leurs dérivés.</p>

**Chapitre II : Généralités sur
l'insecte ravageur
*Oryzaephilus surinamensis***

1. Généralités

Oryzaphilus surinamensis appelé le cucujide ou le silvain dentelé des grains est un important ravageur des produits stockés au monde (Al-Dosari et al., 2002 ; Mallah et al., 2016). C'est un ravageur secondaire qui peut infester une large gamme de produits comme les noix, la levure, le sucre, le tabac, les grains et les fruits secs (Hill, 2003 ; Mahroof et Hagstrum, 2012 ; Klys et Przystupinska, 2015 ; Kumar, 2017).

Ce ravageur a une large distribution dans le monde entier par le biais des échanges du commerce international (Rees, 2004 ; Cabi, 2019). Il se nourrit des grains endommagés en produisant de la sciure (Throne et al., 2003), mais il infeste également le germe des grains intacts (Hill, 2003).

Cet insecte a été trouvé à l'intérieur et à l'extérieur des entrepôts et dans les fissures et les crevasses des installations de stockage (Hill, 2003 ; Mahroof et Hagstrum, 2012). L'odeur des aliments l'attire et sa forme aplatie lui permet de pénétrer dans les emballages de nourriture fermés (Sahitou et al., 2017).

Les adultes utilisent des mandibules pour mâcher des boîtes de carton non ouvertes ou passent à travers des ouvertures d'emballage en cellophane. Une fois qu'elles atteignent la source de nourriture, les densités de population peuvent augmenter rapidement, et les individus se propageront ensuite à d'autres produits entreposés (Rivers et Dahlem, 2014).

O. surinamensis pourrait être une menace pour la santé publique en provoquant des allergies aux humains car à partir de différentes parties des stades de vie de cet insecte, des antigènes ont été identifiés auxquels les humains présentent une réaction allergique positive et qui peuvent donc être dangereux lorsqu'ils sont présents dans des produits stockés (Jakubas Zawalska et al., 2016).

2. Origine

O. surinamensis est un insecte cosmopolite qui fréquente les minoteries et les entrepôts (Kumar, 2017). Il est d'origine tropicale, les milliers d'années des échanges commerciaux ont fait de cette espèce nuisible une espèce à distribution mondiale (Tableau. 06) (Mallah et al., 2016 ; Cabi, 2019).

Cette espèce est résistante au froid et elle est commune dans les endroits non chauffés des régions tempérées fraîches telles que l'Europe du Nord (Rees, 2004).

Tableau 06 : Répartition géographique du genre *Oryzaephilus* (Rees, 2004).

Espèce	Statut de nuisible	USA et Canada	Amérique centrale et Sud	Europe	Bassin Méditerranéen	Asie	Afrique	Australie
<i>O. gibbosus</i>	●						X	
<i>O. mercator</i>	●●●	X	X	X	X	X	X	X
<i>O. surinamensis</i>	●●●●	X	X	X	X	X	X	X

Statut de nuisible ● : ravageur mineure à majeur ●●●●

X : espèce présente.

3. Classification

D'après Delobel et Tran (1993), *O. surinamensis* occupe la position systématique suivante :

- ❖ Règne : Animalia
- ❖ Embranchement : Arthropoda
- ❖ Classe : Insecta
- ❖ Sous-classe : Pterygota
- ❖ Ordre : Coleoptera
- ❖ Sous-ordre : Polyphaga
- ❖ Famille : Silvanidae
- ❖ Sous-famille : Silvaninae
- ❖ Genre : *Oryzaephilus*
- ❖ Espèce : *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus (1758)

4. Cycle de développement

Le stade immature du silvain ne ressemble pas au stade adulte. C'est un insecte holométabole qui subit une métamorphose complète.

Durant toute sa vie, la femelle adulte de silvain pond 50 à 400 œufs à raison de 6 à 10 œufs par jour. Le nombre moyen d'œufs pondus par ces insectes est de 375 œufs (Kumar, 2017). Ils sont pondus en vrac dans le milieu alimentaire ou dans les fissures et les crevasses des grains (Rees, 2004).

La reproduction et la capacité de développement, le cycle de vie de l'insecte et la survie des stades immatures, sont influencés par la qualité et la quantité de la nourriture et même par la valeur nutritionnelle des aliments infestés (Nika et *al.*, 2020).

4.1. Œuf

Les œufs du silvain dentelé sont petits, blancs et brillants à la ponte et de forme allongée ovale avec des extrémités plus ou moins arrondies. Ils mesurent 0.8 à 0.9mm de long (Figure 08) (Steffan, 1978). Les œufs éclosent dans 3 à 5 jours après la ponte aux températures de 35°C et 40°C et 70 % d'humidité relative (Kumar, 2017).



Figure 08. Œuf d'*O. surinamensis* (G×60) (Originelle, 2022).

4.2. Larve

Les larves sont de forme subcylindrique, aplaties, de couleur blanche à jaune pâle, se déplacent librement parmi les aliments. Elles possèdent une tête brune bien développée avec trois paires de pattes sur le thorax (Kumar, 2017).

Les larves de dernier stade atteignent une longueur de près de 4 à 5 mm et finissent par se transformer en chrysalide dans un cocon fait de petits grains ou de particules alimentaires (Figure 09).

La larve est dotée d'une tête présente des pièces buccales broyeuses, une paire d'antennes de deux articles et des yeux minuscules. Elle possède trois paires de pattes et trois segments thoraciques sont distingués, à plaque dorsale portant quatre longues soies au bord postérieur ainsi que deux taches brunes sur chaque segment du thorax et de l'abdomen (Steffan, 1978).

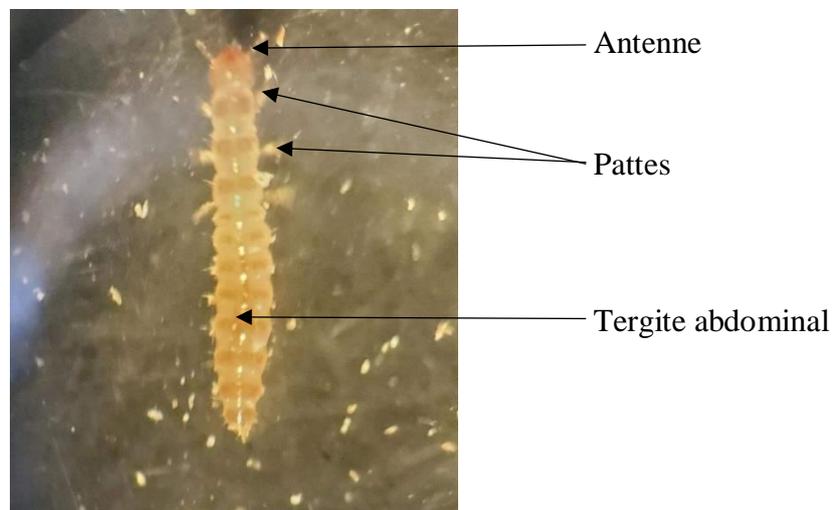


Figure 09. Larve âgée d'*O. surinamensis* (G×60) (Originelle, 2022).

4.3. Nymphe

La nymphe est blanche puis devient marron avant de devenir adulte, immobile et ne se nourrit pas (Sinha et Watters, 1985). Sa forme est aplatie avec des prolongements de chaque côté du thorax et sur l'abdomen, elle mesure entre 2.5 et 3 mm de long (Figure 10). La nymphose se déroule dans un cocon protecteur fait de petits grains ou de particules alimentaires au bout d'une semaine (Rees, 2004).

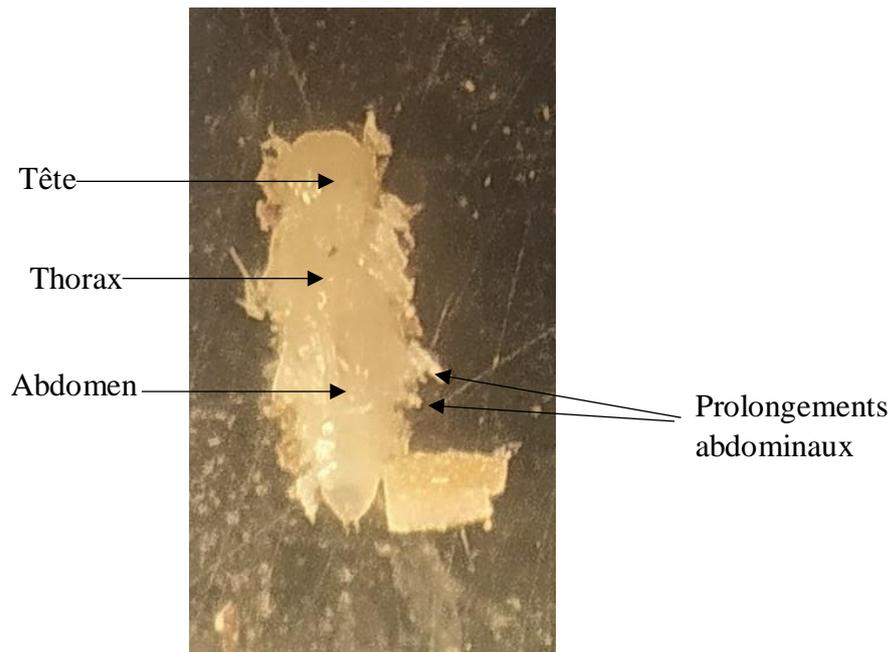


Figure 10. Nympe d'*O. surinamensis* face dorsale (Gx80) (Originelle, 2022).

4.4. Adulte

L'adulte du silvain est aplati dorso-ventralement avec un exosquelette brun-rougeâtre, il est de forme élancée et mesure de 2.5 à 3.5 mm de long. Sur les bords du thorax se trouvent six projections en forme de dent de scie ce qui explique son nom « dentelé » (Hagstrum & Subramanyam, 2008). La tête possède des antennes relativement courtes et caudales (Figure 11) (Kumar, 2017).

Selon Halstead (1980) :

- La tête est de forme triangulaire, plus étroite vers l'avant, elle porte des pièces buccales broyeuses, une paire d'antennes et deux petits yeux latéraux.
- Le prothorax porte six dents aigues en forme de dent de scie. Sur chaque bordure latérale, porte une paire de pattes. Le mésothorax porte une paire de pattes articulées et une paire d'élytres. Le métathorax porte une paire de pattes articulées et une paire d'aile membraneuse.
- L'abdomen porte cinq segments dont le dernier renferme les organes génitaux.

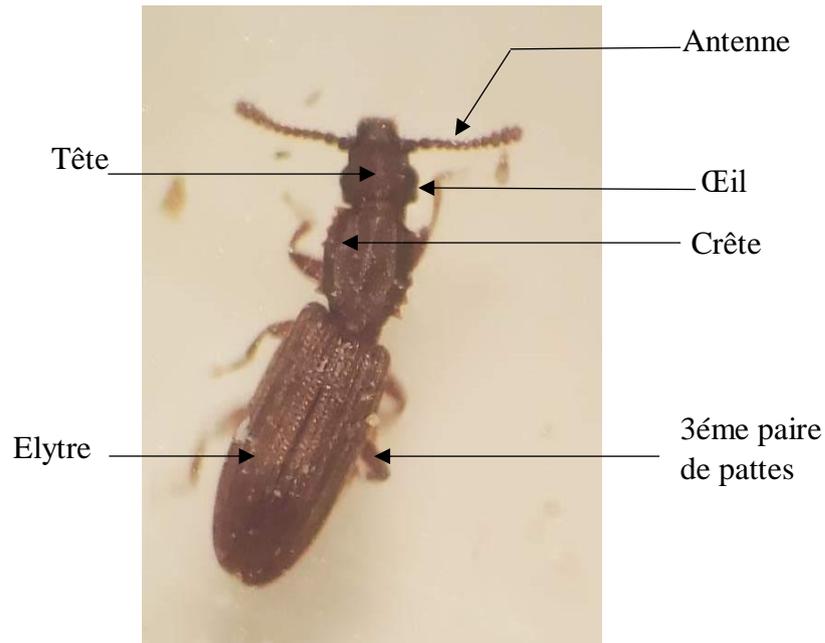


Figure 11. Adulte d'*O. surinamensis* face dorsale (G×60) (Originelle, 2022).

La distinction entre le mâle et la femelle est impossible à l'œil nu, mais à l'aide d'une loupe binoculaire, il est possible de distinguer le mâle par la présence d'une épine (dent) sur le fémur de la patte postérieure à la face ventrale de la femelle qui n'en possède pas (Figure 12) (Halstead, 1980).

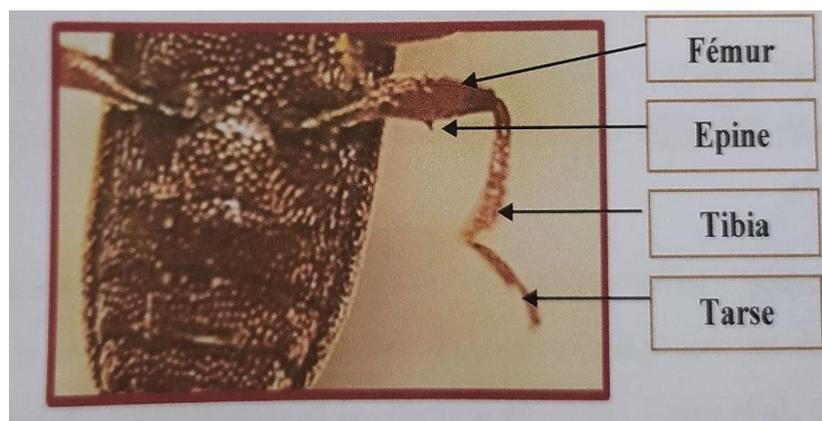


Figure 12. Pattes postérieure du mâle d'*O. surinamensis* (G×80) (Hamoutene et Ben Ouarab, 2022).

5. Dégâts

D'après Kumar (2017), *O. surinamensis* se reproduit sur la partie endosperme des céréales. Cet insecte est un ravageur important des céréales stockées, en particulier des produits moulus et transformés, il est également présent sur d'autres produits comme les fruits secs ; les noix et les oléagineux.

Les infestations de ce ravageur peuvent entraîner une contamination du produit par les excréments et les cadavres (Figure 13). L'activité métabolique des insectes et l'augmentation de moisissures causent la diminution de la masse sèche du produit infesté et une augmentation de sa teneur en eau (Steffan, 1978).

La présence d'*O. surinamensis* dans les denrées stockées indique la détérioration du grain (Nurul et Noor, 2019).



Figure 13. Farine d'orge infestée par *O. surinamensis* (Originelle, 2022).

6. Ennemis naturels

D'après Hagsturm (2013), *O. surinamensis* possède plusieurs ennemis naturels dont les Hyménoptères (*Cephalonomia meridionalis*, *Cephalonomia tarsalis*, *Holepyris sylvanidis*, *Palorus shikhae*, *Peregrina torbiannulipes*) et les Hémiptères (*Xylocoris cursitans* et *Xylocoris flavipes*) (Tableau 07).

Tableau 07 : Ennemis naturels d'*O. surinamensis* (ANSES, 2016).

Espèce	Description
<p data-bbox="236 331 539 360"><i>Cephalonomia tarsalis</i></p> 	<p data-bbox="598 353 1417 555"><i>C. tarsalis</i> est un micro-hyménoptère parasitoïde des larves d'<i>Oryzaephilus surinamensis</i>. Il pond ses œufs sur les larves de cet insecte, après l'éclosion, les larves de <i>C. tarsalis</i> se nourrissent et se développent sur ces dernières.</p>
<p data-bbox="252 667 523 696"><i>Holepyris sylvanidis</i></p> 	<p data-bbox="598 770 1417 853"><i>H. sylvanidis</i> est un micro-hyménoptère qui parasite en cas de besoin, les larves d'<i>O. surinamensis</i>.</p>
<p data-bbox="256 987 518 1016"><i>Xylocoris cursitans</i></p> 	<p data-bbox="598 1077 1417 1211"><i>Xylocoris cursitans</i> est un hémiptère qui peut parasiter ou prédateur <i>O. surinamensis</i>, mais ces espèces, non-indigènes, ne semblent pas être en mesure de contrôler <i>O. surinamensis</i>.</p>

7. Méthodes de lutte

Des méthodes de lutte ont été mises en place pour faire face aux menaces des insectes ravageurs et diminuer leur nuisibilité sur les grains stockés.

7.1. Lutte préventive

La lutte préventive est toutes techniques destinées à réduire l'infestation et assurer une bonne protection des denrées stockées avant infestation, au début et pendant le stockage (De Groot, 2004 ; Cruz et al., 2016).

D'après le secteur de l'agriculture et l'agroalimentaire canadien (AAC) (2001) ; Cruz et al. (2016), cette lutte consiste en :

- L'élimination des mauvaises herbes dans les cultures, les insectes ne pullulent pas dans les récoltes entreposées contenant peu d'impuretés ;
- Le nettoyage des entrepôts des grains à l'aide d'un aspirateur (brûler ou enfouir les balayures) ;
- Réparation des entrepôts et les rendre étanches aux intempéries avant de les utiliser ;
- Ne pas laisser de déchets de grains ou d'aliments pour animaux s'accumuler à l'intérieur ou à l'extérieur des entrepôts ;
- Le séchage des graines avant le stockage pour diminuer le taux d'humidité qui doit-être maintenu entre 13% et 14% ;
- Vendre comme aliments pour animaux les grains les plus humides d'abord ;
- Entreposer les récoltes uniquement dans des cellules propre et vides ; les cellules qui renferment du vieux grain risquent d'être infestées ;
- La conservation dans des emballages plus résistants pour éviter l'infiltration des ravageurs ;
- Toutes les deux semaines, inspecter les grains et oléagineux entreposés à l'état gourde soit en enfonçant la main en différents points de la masse pour y déceler des signes éventuels d'échauffement ou d'encroûtement ; ou bien en plongeant une tige de métal dans la masse à diverses profondeurs afin d'y déceler des signes d'échauffement et en retirant cette tige, après au moins 15 minutes mais préférablement après 60 minutes, pour en apprécier la chaleur sur le poignet ou dans la paume.

7.2. Lutte curative

Lorsque les grains sont infestés par les ravageurs et les mesures de lutte préventive se révèlent insuffisantes pour faire face aux attaques et surtout lorsqu'il s'agit d'une longue période de stockage, le traitement curatif devient obligatoire. Ces méthodes font appel à des procédés physiques, chimiques et biologiques (Jerraya, 2003).

7.2.1. Lutte chimique

La méthode la plus répandue pour lutter contre les attaques des ravageurs des denrées entreposées consiste à employer des produits chimiques, traitement avec des insecticides de contact et des fumigants (Jerraya, 2003 ; Khan et *al.*, 2019).

7.2.1.1. Insecticides de contact

Cette méthode consiste à recouvrir les grains, l'emballage ainsi que les locaux de stockage d'une pellicule de produit insecticide qui agit par contact sur les déprédateurs, dont l'effet est plus ou moins rapide avec une persistance d'action plus longue (Cruz et *al.*, 1988).

Ces produits doivent en effet répondre à la fois aux critères de non toxicité pour l'homme et l'environnement et une grande efficacité biologique vis-à-vis des insectes cibles (White et Leesch, 1996).

7.2.1.2. Traitement par fumigation

Ce traitement utilise une substance qui, à une température et une pression donnée, dégage un gaz. La fumigation est une technique répandue dans le monde entier, utilisée pour sa capacité de diffusion occupant tout l'espace inter-granulaire et donc détruire les œufs, les larves et les nymphes des insectes des denrées stockées (Cruz et *al.*, 1988). L'efficacité de ce traitement, dépend de la concentration, de la durée d'exposition ainsi que de la température utilisée (Daglish, 2004).

7.2.2. Lutte physique

Ces méthodes reposent sur la manipulation de l'environnement physique des insectes, de sorte que la population soit éliminée ou ramenée sous un seuil de nuisibilité économiquement tolérable. L'efficacité des méthodes physiques reposent sur une combinaison de mode d'actions, physiologiques ou comportementales, alors que les modes d'action des méthodes chimiques sont bien ciblés et parfaitement définis (Crepon et Cabacos, 2020).

7.2.2.1. Températures extrêmes

La température ambiante de l'environnement de stockage est considérée comme l'une des variables critiques qui affecte la qualité du grain. Au cours d'une période de stockage de 12 mois à 35°C, il y a diminution de la couleur jaune du grain, du pH, de la solubilité des protéines, de la viscosité de dégradation, de la propriété de collage et une augmentation du pourcentage de grains infestés par la moisissure (Paraginski et *al.*, 2014).

Le chauffage et le refroidissement des produits entreposés infestés par les insectes sont largement utilisés depuis longtemps comme étant un moyen de lutte pour contrôler les ravageurs (Vincent et *al.*, 2000).

Selon Fleurat-Lessard (2018) :

- Abaisser la température de stockage entraîne un ralentissement de développement d'insecte qui est freiné à une température inférieure à 10°C.
- Elever la température plus de 50°C entraîne la mort des insectes.

7.2.2.2. Radiations

a. Radiation ionisantes

Les radiations ionisantes rendent stériles les insectes nuisibles des denrées stockées, elles n'altèrent pas la composition biochimique de la denrée et n'ont pas d'incidences sur la santé du consommateur (Jerraya, 2003).

L'irradiation des aliments utilise les rayons-gamma, les rayons-X ou des faisceaux d'électrons accélérés (El-Naggar et Mikhael, 2011).

b. Radiations électromagnétiques (non ionisantes)

L'utilisation des radiofréquences, des microondes, de l'infrarouge ou du lit fluidisé, tuent les insectes par réchauffement interne des individus (Vincent et *al.*, 2000). Cette méthode affecte la qualité des graines traitées (Blaszczak et *al.*, 2002).

7.3. Lutte biologique

La lutte biologique consiste en l'utilisation des ennemis naturels des insectes ravageurs en utilisant des organismes vivants comme : les parasitoïde, les parasites ou les prédateurs ou encore d'un produit provenant d'un organisme vivant comme les extraits de plantes pour contrôler l'action néfaste d'un organisme nuisible (Guèye et *al.*, 2011).

7.3.1. Biopesticides

Les biopesticides sont définies comme étant des substances présentes dans le milieu naturel, d'origine minérale ou organique, utilisées contre les ravageurs des insectes nuisibles. Ils ont plusieurs avantages écologiques, ils sont biodégradables, ont une activité sélective, diminuent les effets non intentionnels sur les espèces non cibles et diminuent les résistances pour certains d'entre eux (Bertrand, 2008).

7.3.1.1. Poudre de plantes

Certaines plantes ont des propriétés insecticides et peuvent être considérées comme un moyen efficace contre l'infestation des denrées stockées par les insectes. Leurs poudres ont un effet protecteur contre de nombreux insectes ravageurs et les propriétés insecticides sont souvent plus fortes dans certaines parties de plantes (Campolo et *al.*, 2018).

Elles réduisent de façon significative l'infestation, la durée de vie, la fécondité et l'émergence de l'insecte dans les stocks (Johnson et *al.*, 2006).

7.3.1.2. Huiles Végétales

Une huile végétale résulte de l'extraction d'une huile brute ou raffinée, sans modification chimique, à partir de plantes oléagineuses, par simple pression à froid (de préférence), voire par extraction ou technique comparable (Couic-Marinier, 2018). Utilisées comme insecticides de contact, elles agissent par leurs propriétés physiques et chimiques. Elles empêchent la ponte des adultes de plusieurs espèces de ravageurs à l'intérieur des grains (Belouaer et Selhadja, 2020).

7.3.1.3. Huiles essentielles

Elles s'obtiennent à partir d'une matière première végétale (plante ou arbre aromatique) par entraînement à la vapeur, procédé mécanique ou distillation à sec (Couic-Marinier, 2018). La composition des huiles essentielles (HEs) est très complexe, c'est un mélange hétérogène de molécules aromatiques renfermant des centaines de molécules différentes dont chacune possède une propriété particulière mais qui peuvent agir en synergie, ce qui explique leurs efficacités et leurs polyvalences (Smad, 2009). Les HEs ont toujours fait l'objet d'étude biologique pour montrer leurs activités anti-inflammatoires, insecticides et antiparasitaires (Erhan et *al.*, 2012).

a. Propriétés et action des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont des propriétés insecticides très importantes. La toxicité des huiles essentielles est ovicide, larvicide, anti-nutritionnelle et par inhalation (Regnault-Roger, 2005).

Les huiles essentielles agissent aussi comme des composés neurotoxiques, elle exercent un effet sur l'octopamine qui affecte les neuromodulateurs spécifiques des invertébrés (Tirakmet, 2015 ; Jankowska et *al.*, 2018). Elles peuvent agir sur les paramètres de développement de l'insecte, sur la reproduction et l'oviposition, comme elles réduisent l'appétit des insectes et par conséquent réduisent la perte du poids des produits entreposés ; cet effet anti-

appétant affecte la croissance, la mue, la fécondité et le développement et empêchent l'insecte de se nourrir (Tirakmet, 2015 ; Rajkumar et *al.*, 2019).

Les huiles essentielles s'expriment par plusieurs type de toxicité dont :

- Une toxicité par inhalation provoquée par leur richesse en composés volatils.
- Une toxicité par contact résultant de la formation d'un film imperméable, isolant l'insecte de l'air et provoquant son asphyxie.
- Une toxicité par répulsion.

Chapitre III : Matériel et méthodes

Notre travail expérimental s'est déroulé durant la période allant du mois de Mars jusqu'au mois de Juin 2022, au niveau du laboratoire d'entomologie à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Il consiste à déterminer l'activité insecticide, par inhalation et par répulsion, de trois huiles essentielles combinées, celles de la menthe poivrée, du basilic tropical et de lavande aspic sur différents stades de vie du silvain dentelé.

1. Matériel

1.1. Matériel de laboratoire

Nous avons utilisé le matériel de laboratoire suivant (Figure 14) :

- Etuve réfrigérée équipée d'un thermomètre, réglée en vue d'avoir les conditions les plus propices qui permettent d'assurer un développement optimal du silvain, une température de $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de $50\pm 5\%$;
- Une loupe binoculaire pour observer et récolter les individus à leurs différents stades de développement ;
- Bocaux en verre et en plastique utilisé pour l'élevage de masse ;
- Une micropipette (0.5-10 μL) pour le dosage des huiles essentielles ;
- Des boîtes de Pétri en plastique pour effectuer les différents essais ;
- Une balance électronique afin de peser la farine d'orge ;
- Papier filtre ;
- Ciseaux, pinceaux, étiquettes, scotch, fil...



Figure 14. Matériel expérimental utilisé (1 : Tamis, 2 : Balance électronique, 3 : Loupe binoculaire, 4 : Boîtes de Pétri, 5 : Boîtes en plastiques, 6 : Etuve obscure, 7 : Autres accessoires, 8 : Micropipette) (Originelle, 2022).

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Insecte

L'espèce étudiée est le silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis*, appelée aussi cucujide dentelé des grains, un coléoptère ravageur secondaire des divers denrées alimentaires (Figure 15).

Elle est obtenue à partir des élevages de masse réalisés au niveau du laboratoire sur des grains de blé, farine de blé et d'orge et la semoule.



Figure 15. Adulte d'*O. surinamensis* (Gx60) (Originelle, 2022).

1.2.2. Matériel végétal

La poudre d'orge est utilisée comme substrat pour l'élevage de masse et les différents tests expérimentaux (Figure 16).

La poudre est obtenue à partir des grains d'orge achetés du marché local, lavés, broyés puis stérilisés dans une étuve à une température de 60°C pendant une heure avant leur broyage.



Figure 16. Farine d'orge utilisée pour l'expérimentation (Originelle, 2022).

1.3. Huiles essentielles

Nous avons utilisé et testé trois huiles essentielles durant cette étude et qui sont celles de la menthe poivrée, du basilic tropical et de la lavande aspic. Les trois huiles essentielles sont combinées et testés à la fois (Figure 17).

Elles proviennent d'un point de vente du laboratoire Français Aromazone © situé à Tizi-Ouzou.



Figure 17. Huiles essentielles utilisés (Originelle, 2022).

1.3.1. Menthe poivrée

1.3.1.1. Origine

Le mot « *Mentha* » vient du grec « minthe » et du latin *menta* qui signifie la menthe, et le mot « *piperita* » qui signifie poivrée. Cette huile essentielle est originaire du Moyen-Orient.

Elle est présente principalement dans les zones humides des régions tempérées. Le genre *Mentha* est divisé en quatre sections. Il abrite 18 espèces et plus de 10 hybrides (Erceau et pasquier, 2016).

1.3.1.2. Description

L'hybridation entre la menthe aquatique (*Mentha aquatica* L.) et la menthe verte (*Mentha spicata* L.) donne la menthe poivrée. La menthe poivrée est une plante herbacée, relativement résistante à l'hiver et très vigoureuse, elle mesure entre 30 et 90 cm de hauteur (Goudjil, 2016).

La menthe est vivace à tige dressée, tétragone, rameuse au sommet. La feuille est ovale, oblongue, elle est d'un vert intense. Les fleurs sont d'un rose violacé, en glomérules plus ou moins nombreux, disposés eux-mêmes en épis terminaux, cylindriques-oblongs. Le calice est glabre ainsi que la corolle, les étamines sont saillantes (Figure 18) (Tafrihi et *al.*, 2021).



Figure 18. Morphologie de *Mentha piperita* (Gayda, 2013).

1.3.1.3. Classification

Selon Cronquist (1981), la classification de la menthe poivrée est la suivante :

Règne :	Plantae
Embranchement :	Spermaphytes
Sous-Embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones
Ordre :	Lamiales
Famille :	Lamiacées
Genre :	<i>Mentha</i>
Espèce :	<i>Mentha piperita</i> L.

1.3.1.4. Composition chimique

L'analyse par CG/MS de l'huile essentielle (Fiche technique d'Aromazone) de la partie aérienne de la menthe poivrée, montre que ses composés majeurs sont :

- Le menthol à 38.02%;
- La menthone à 27.61 % (Anonyme, 2020).

1.3.2. Lavande aspic

1.3.2.1. Origine et répartition géographique

La lavande aspic est originaire de la région méditerranéenne, elle pousse dans les clairières des forêts, dans les pâturages calcaires rocheux ou secs sur des pentes ensoleillées, dans les substrats basiques et les sables alluviaux. Elle pousse à l'état sauvage principalement en ex-Yougoslavie, en Italie, en France, en Espagne et au Portugal (Fernandez-Sestelo, 2020).

1.3.2.2. Description

Le genre *Lavandula* comprend des petits arbustes verts pérennes, aux fleurs aromatiques et au fourrage dont on peut obtenir de l'HE. La lavande préfère les terres arides, sèches, calcaires, ensoleillées, des zones situées entre 600 et 1000 m d'altitude (Fernandez-Sestelon, 2020).

Les tiges sont ligneuses et vivaces avec des feuilles longues, étroites, généralement linéaires, allongées et sans pétioles, de couleur verte grisâtre. Les fleurs sont hermaphrodites et groupées en épis et sont d'un bleu-violet. Les fruits sont formés de 4 akènes ovales, allongés, marron foncé (Figure 19) (Guignard et Dupont, 2015).

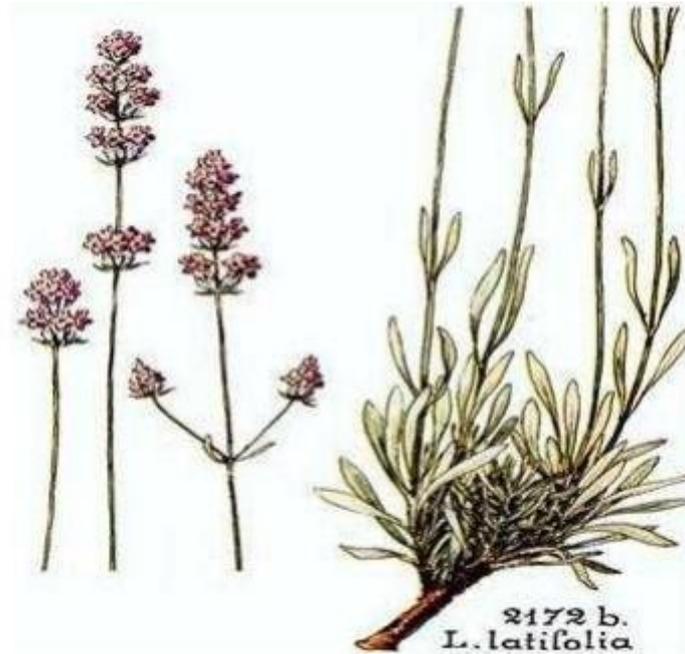


Figure 19. Morphologie de *Lavandula spica* (Belmont, 2013)

1.3.2.3. Classification

Selon Cronquist (1981), la classification de lavande aspic est comme suit :

Règne :	Plantae
Embranchement :	Spermaphytes
Sous-embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones
Ordre :	Lamiales
Famille :	Lamiacées
Genre :	<i>Lavandula</i>
Espèce :	<i>Lavandula latifolia (spica)</i>

1.3.2.4. Composition chimique

L'analyse par CG/MS des somités fleuries de l'huile essentielle de *L. spica* (Fiche technique d'Aromazone) utilisé dans notre étude, montre que ses constituants majoritaires sont :

- Le 1.8-cinéole (27.98%) ;
- Le linalol (40.67%) ;
- Le camphre (11.71%) ;
- Le limonène (1.42%) (Anonyme, 2020).

1.3.3. Basilic tropical

1.3.3.1. Origine et répartition géographique

Le genre *Ocimum* provient des régions tropicales et subtropicales et il est actuellement cultivé dans le monde entier (Purushothaman et al., 2018).

1.3.3.2. Description

Le genre *Ocimum* appartient à la famille des Lamiaceae qui compte environ 150 espèces. Le basilic tropical est autrement connu comme le basilic doux. C'est une plante herbacée, vivace pouvant atteindre 30 à 60 cm de hauteur, universellement cultivée (Purushothaman et al., 2018).

Les tiges sont ramifiées et anguleuses, portent des feuilles longues de 2 à 5 cm, de forme ovale de couleur généralement verte. Les fleurs sont petites et regroupées en épis, elles sont de couleur crème, blanche, rose ou violacée. Les fruits sont des tétramères renfermant chacun une seule graine marron-noire oblongue (Figure 20) (Khoualdi et Boughara, 2017).



Figure 20. Partie aérienne d'*Ocimum basilicum* (Salmi et Ghadbane, 2020).

1.3.3.3. Composition chimique

Selon Cronquist (1981), la classification du basilic tropical est la suivante :

Règne :	Plantae
Embranchement :	Angiospermes
Classe :	Magnoliopsida
Ordre :	Lamiales
Famille :	Lamiaceae
Sous Famille :	Nepetoideae
Genre :	<i>Ocimum</i>
Espèce :	<i>Ocimum basilicum</i>

1.3.3.4. Composition chimique

L'analyse chromatographique par CG/MS (Fiche technique d'Aromazone) des feuilles de notre huile essentielle d'*O. basilicum* montre qu'elle est riche en :

- Méthyl-chavicol (76.98%) ;
- Linalol (17.97%) (Anonyme, 2020).

2. Méthodes

2.1. Elevage de masse

L'élevage de masse est réalisé dans des bocaux en verre ou en plastique, dont le couvercle est muni de petits trous d'aération pour empêcher la sortie des insectes. Il consiste à récolter les silvains adultes d'âge indéterminé mâles et femelles à partir des substrats déjà infestés puis les mettre en contact avec la farine d'orge saine (Figure 22).

L'élevage est maintenu à l'obscurité dans une étuve à une température de $28\pm 1^\circ\text{C}$ et une HR de $50\pm 5\%$. Après une semaine, les adultes sont retirés, les œufs pondus sont laissés évoluer jusqu'au stade adulte.

Le but de cet élevage est d'obtenir une génération avec différents stades de développement et en nombre suffisant pour les différents essais :

- Des adultes de même âge (7 jours), et en nombre suffisant pour les tests de toxicité sur les adultes.

- Des œufs âgés de 0 à 24h, en nombre suffisant pour les tests de toxicité sur les œufs.
- Des larves âgées de 1j à 5j, en nombre suffisant pour les tests de toxicité sur les larves.



Figure 21. Elevage de masse d'*O. surinamensis* (Originelle, 2022).

2.2. Test par inhalation

Différentes doses de l'association des trois huiles essentielles (menthe poivrée basilic tropical et la lavnde aspic), sont testées, en fonction de la durée d'exposition à l'égard des adultes, des larves et des œufs d'*O. surinamensis*, par inhalation.

2.2.1. Test par inhalation à l'égard des adultes

Selon Kellouche et *al*, (2010), le test est réalisé selon le protocole suivant :

Dans des boites en plastique parfaitement étanches de 25 ml de volume, contenant 1g de farine d'orge, des disques de papier filtre de 2cm de diamètre sont suspendus à l'aide d'un fil fixé à la face interne du couvercle. Vingt adultes d'*O. surinamensis* sont introduits et des doses de 7.5 μ L, 9 μ L, 10.5 μ L et 12 μ L à part égale des trois huiles essentielles sont injectées dans les disques de papier filtre à l'aide d'une micropipette (Figure 23). Un lot témoin n'ayant reçu aucun traitement est réalisé. Quatre répétitions sont réalisées pour chaque dose et pour le témoin.

Pour chaque dose et chaque répétition, le dénombrement des individus morts est effectué après 24h, 48h, 72h et 96h après le lancement de l'expérience.



Figure 22. Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association des trois huiles essentielles à l'égard des adultes d'*O. surinamensis* (Originelle, 2022).

2.2.2. Test par inhalation à l'égard des larves âgées

Dans des boîtes en plastique, parfaitement étanches de 25ml de volume, des disques de papier filtre de 2cm de diamètre sont suspendues à l'aide d'un fil fixé à la face interne du couvercle, contenant 1g de farine d'orge, 20 larve âgées de 4 à 5j sont introduites. Des dose de 1.5 μ L, 3 μ L, 4.5 μ L et 6 μ L de la même combinaison des huiles essentielles sont injectées à l'aide de micropipette dans les disques de papier filtre suspendu à la face intérieure du couvercle. Un lot témoin n'ayant reçu aucun traitement est réalisé, et pour chaque dose et pour le témoin, quatre répétitions sont effectués (Kellouche et *al.*, 2010).

Le dénombrement des individus morts est effectué après 24h, 48h, 72h et 96h après le lancement de l'expérience.

2.2.3. Test par inhalation à l'égard des jeunes larves

Dans des boîtes en plastique parfaitement étanches de 25ml, des disques de papier filtre de 2cm de diamètre sont suspendues à l'aide d'un fil fixé à la face interne du couvercle. Chaque boîte contient 1g de farine d'orge, 20 larves âgées de 0h à 3j sont introduites. Des doses de 1.5 μ L, 3 μ L et 4.5 μ L de la même combinaison des huiles essentielles sont injectées dans les disques de papier filtre suspendu à la face intérieure du couvercle. Un lot témoin n'ayant reçu aucun traitement est réalisé, et pour chaque dose et pour le témoin, quatre répétitions sont réalisées (Kellouche et *al.*, 2010).

Le dénombrement des individus morts est effectué après 24h, 48h, 72h et 96h après le lancement de l'expérience.

2.2.4. Test par inhalation à l'égard des œufs

Dans des boîtes en plastique parfaitement étanches de 25ml, 10 œufs âgés de 0h à 24h sont introduits dans un support en plastique (bouchon) puis mises au fond des boîtes. Des doses de 3 μ L et 4.5 μ L des trois huiles essentielles combinées sont injectées à l'aide d'une micropipette dans les disques de papier filtre suspendu à la face intérieure du couvercle (Figure 23). Un lot témoin n'ayant reçu aucun traitement est réalisé, et pour chaque dose et pour le témoin, quatre répétitions sont effectués (Kellouche et *al.*, 2010).

Le dénombrement des œufs morts est effectué après 24h, 48h et 72h.

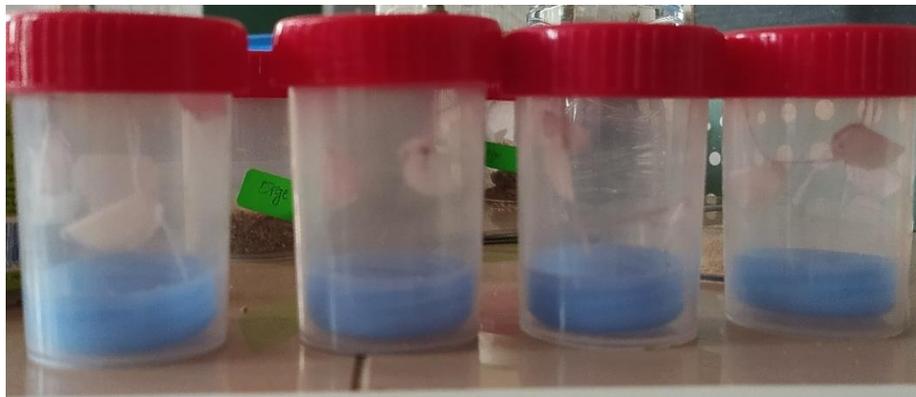


Figure 23. Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des œufs d'*O. surinamensis* (Originelle, 2022).

2.3. Test par répulsion

Dans le but d'étudier l'effet répulsif de l'association des trois huiles essentielles sur les adultes d'*O. surinamensis*, nous avons adopté le protocole (Figure 24) de Jilani et Saxena (1990).

1. Découper en deux parties égales un disque de papier filtre de 11cm de diamètre afin de les introduire dans une boîte de Pétri.
2. Préparer quatre teneurs différentes de 6 μ L, 7.5 μ L, 9 μ L et 10.5 μ L des trois huiles essentielles combinées dans 0.2 ml d'acétone.
3. Pour chaque test, un demi-disque reçoit l'acétone (témoin), le deuxième est traité avec une dose des huiles essentielles diluées dans l'acétone.

4. Après évaporation du solvant, les deux parties sont rassemblées à l'aide d'une bande adhésive et puis placées dans des boîtes de Pétri.
5. Vingt (20) adultes d'*O. surinamensis* sont déposés au centre de chaque boîte, refermée aussi tôt.

Au bout d'une demi-heure de traitement, le nombre d'adultes d'*O. surinamensis* présents dans la partie de disque traité avec les trois huiles essentielles et dans la partie traitée uniquement avec l'acétone est comptabilisé.

Le pourcentage de répulsion PR est calculé selon la formule de Mc Donald et *al.* (1970) suivante :

$$PR (\%) = [(NC-NT) / (NC+NT)] \times 100$$

Où :

NC : Nombre d'insectes présents sur la partie du disque traitée uniquement avec l'acétone.

NT : Nombre d'insectes présents sur la partie traitée avec la solution (huiles + acétone).

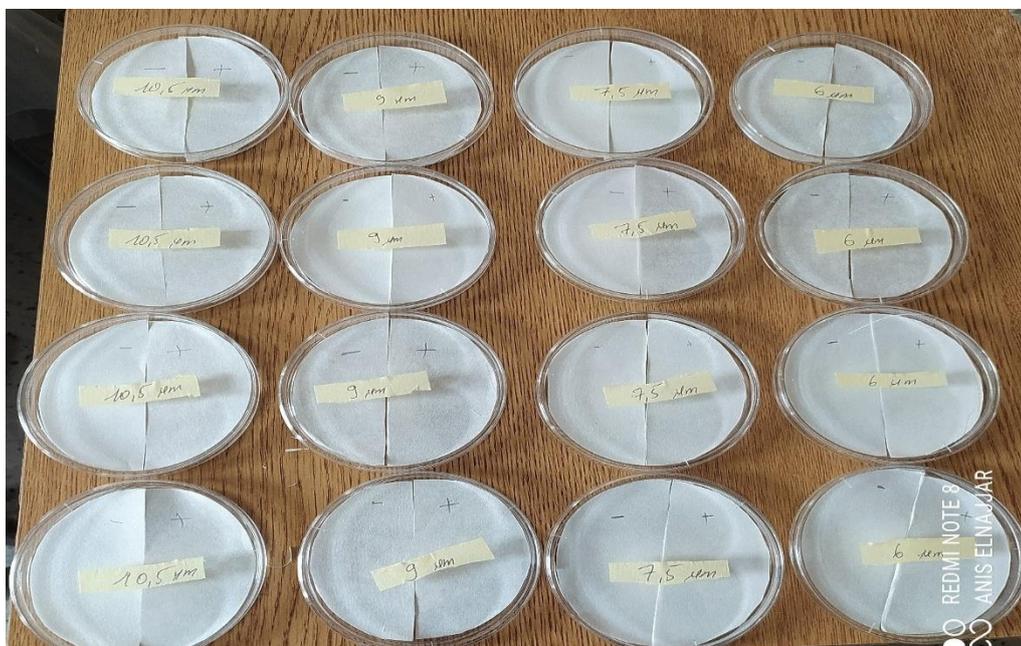


Figure 24. Dispositif expérimental du test de répulsion des trois huiles essentielles combinées à l'égard des adultes d'*O. surinamensis* (Originelle, 2022).

Le PR calculé est attribué à l'une des différentes classes indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 08 : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et *al.* (1970).

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
0	PR < 0,1	Très faiblement répulsif
I	0,1 < PR < 20	Faiblement répulsif
II	20 < PR < 40	Modérément répulsif
III	40 < PR < 60	Moyennement répulsif
IV	60 < PR < 80	Répulsif
V	80 < PR < 100	Très répulsif

2.4. Estimation de la dose létale DL_{50}

L'estimation de la dose létale à partir de laquelle nous obtenons 50% de mortalité d'une population soumise à l'expérience, est réalisée pour les tests par inhalation (adultes, larves âgées, jeunes larves et les œufs). La mortalité corrigée (Mc) est calculé en utilisant la formule d'Abbott (1925) :

$$Mc\% = (Mo - Mt) / (100 - Mt) \times 100$$

Mo : Mortalité observée.

Mt : Mortalité observée dans le lot témoin.

Les mortalités corrigées sont transformées en probits en utilisant la table des probits et les doses sont transformées en logarithme décimal, ce qui permet d'établir les équations de la droite de régression pour chaque test.

2.5. Estimation du temps léthal TL_{50}

L'estimation du temps léthal à partir duquel nous obtenons 50% de mortalité de la population soumise à l'expérience est réalisée pour le test par inhalation en utilisant la même méthode utilisée pour la DL_{50} seulement ce sont les durées d'exposition (Temps) qui sont transformés en Log décimal. La mortalité corrigée est calculée en utilisant la même formule d'Abbott (1925).

2.6. Analyse statistique

Pour déterminer l'action des huiles essentielles vis-à-vis d'*O. surinamensis*, les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de la variance ANOVA à un ou plusieurs critères de classification en utilisant le logiciel Stat Box, version 6.4.

Lorsque la probabilité est :

$P > 0.05$, il n'y a pas de différence significative.

$0.01 < p < 0.05$, il y a une différence significative.

$0.001 < p < 0.1$, il y a une différence hautement significative.

$P < 0.001$, il y a une différence très hautement significative.

Lorsque cette analyse montre des différences significatives, elle est complétée par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% afin de déterminer les groupes homogènes.

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Evaluation de la toxicité par inhalation des huiles essentielles

1.1.1. Toxicité sur les adultes

Les résultats de l'activité insecticide des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic), par inhalation sur des adultes d'*O. surinamensis* sont représentés dans la figure 25.

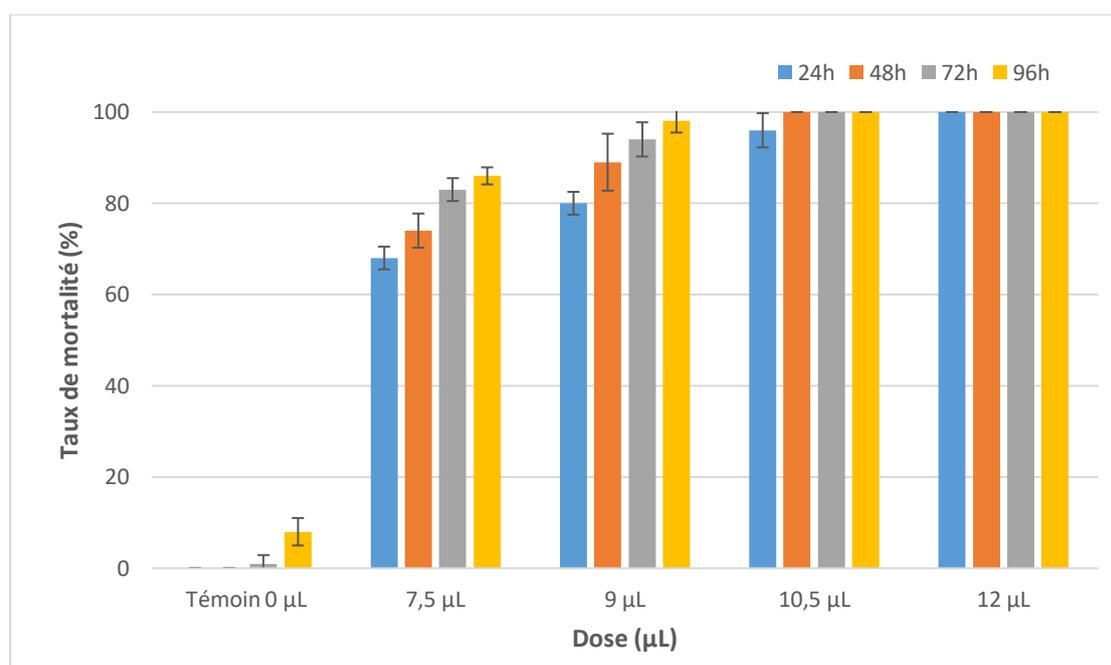


Figure 25. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des adultes d'*O. surinamensis* traités par la combinaison des trois huiles essentielles de la menthe poivrée, basilic tropical et la lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition.

Le taux moyen de mortalité des insectes dans le lot témoin qui n'a subi aucun traitement et qui représente la mortalité naturelle, est négligeable. Au contraire, les résultats obtenus dans les bocal traités révèlent que la mortalité des adultes d'*O. surinamensis* augmente en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Plus de 50% de létalité est observée à la plus faible dose de 7.5µL dès 24h d'exposition. A partir de la dose de 9µL, un taux de mortalité proche de 100% est enregistré après 72h d'exposition. A la dose la plus forte de 12µL, la mortalité des adultes est totale, elle est enregistrée dès 24h d'exposition.

L'analyse de la variance à deux critères de classification, montre une différence très hautement significative pour les deux facteurs, dose ($P=0$) et temps d'exposition ($P=0$) (Tableau 09).

Tableau 09 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) pour la mortalité des adultes d'*O. surinamensis* traités par inhalation avec les trois HE combinés.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var.Totale	109698,8	79	1388,592				
Var. Dose	107345,6	4	26836,41	2259,908	0		
Var. Temps	936,258	3	312,086	26,281	0		
Var.InterF1*2	704,367	12	58,697	4,943	0,00001		
Var.Résiduelle1	712,5	60	11,875			3,446	4,68%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans quatre groupes homogènes, les doses les plus élevées (10.5 μ L et 12 μ L) sont classées dans le même groupe homogène A, les autres dose sont placées chacune dans un groupe homogène différent B, C et D (Tableau 10).

Ce même test classe le facteur durée d'exposition dans quatre groupes homogènes, chaque temps d'exposition est classé dans un groupe homogène à part (Tableau 11).

Tableau 10 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement (F1) testée par inhalation, sur la mortalité des adultes d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
12μL	100	A			
10.5μL	99,063	A			
9μL	89,375		B		
7.5μL	77,5			C	
0μL	2,188				D

Tableau 11 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition (F2) au traitement par inhalation sur la mortalité des adultes d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
96h	78	A			
72h	75,25		B		
48h	72,5			C	
24h	68,75				D

1.1.2. Toxicité sur les larves âgées

Les résultats de l'activité insecticide des trois huiles essentielles vis-à-vis des larves âgées d'*O. surinamensis*, par inhalation sont représentés dans la figure 26.

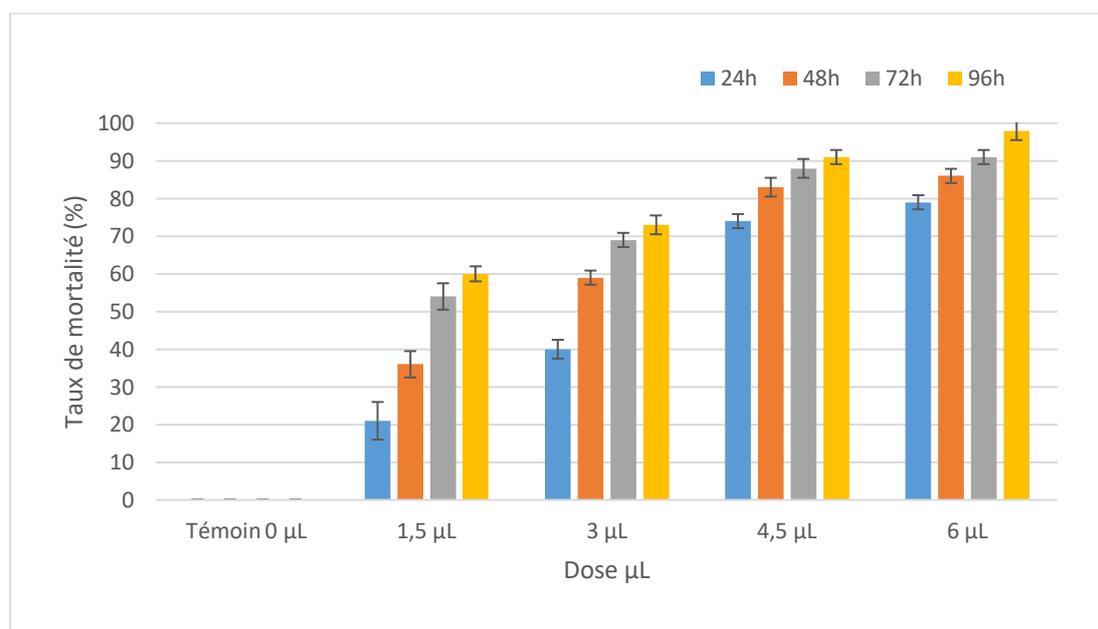


Figure 26. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des larves âgées d'*O. surinamensis* traitées par la combinaison des trois huiles essentielles de la menthe poivrée, basilic tropical et la lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition.

Le taux moyen de mortalité des insectes dans les bocal témoins, qui n'ont subi aucun traitement et qui représentent la mortalité naturelle, est nul.

Au contraire, les résultats obtenus dans les bocal traités montrent que la mortalité des larves âgées augmente en fonction de la dose et de la durée d'exposition. Plus de 50% de létalité

est observée à la dose de 3µL dès 48h d'exposition. A partir de la dose de 4.5µl, un taux de mortalité proche de 100% est enregistré après 96h d'exposition. A la dose la plus forte de 6µL, la mortalité des larves âgées est à 95%, elle est observée après 96h d'exposition.

L'analyse de la variance à deux critères de classification, montre une différence très hautement significative pour les deux facteurs, dose (P=0) et temps d'exposition (P=0) (Tableau 12).

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) concernant l'effet du traitement, par inhalation avec la combinaison des trois HE, vis-à-vis des larves âgées d'*O. surinamensis*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	9,07	79	0,115				
Var. Dose	8,229	4	2,057	1673,717	0		
VAR. Temps	0,536	3	0,179	145,492	0		
Var. Inter F1*2	0,231	12	0,019	15,64	0		
Var. Résiduelle	0,074	60	0,001			0,035	6,37%

Le test de Newman et Keuls, au seuil signification de 5%, classe le facteur dose dans cinq groupes homogènes, les doses sont placées chacune dans un groupe homogène différent A, B, C, D et E (Tableau 13).

Ce même test classe le facteur durée d'exposition en quatre groupes homogènes, chaque temps d'exposition dans un groupe homogène à part A, B, C et D (Tableau 14).

Tableau 13 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement testé, par inhalation, sur la mortalité des larves âgées d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
6µL	0,884	A				
4.5µL	0,838		B			
3µL	0,6			C		
1.5µL	0,428				D	
0µL	0					E

Tableau 14 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition, au traitement par inhalation, sur la mortalité des larves âgées d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
96h	0,643	A			
72h	0,603		B		
48h	0,528			C	
24h	0,428				D

1.1.3. Toxicité sur les jeunes larves

L'activité insecticide des trois huiles essentielles testées vis-à-vis des larves jeunes d'*O. surinamensis*, par inhalation, exprimée au terme de taux de mortalité est représentée dans la figure ci-dessous.

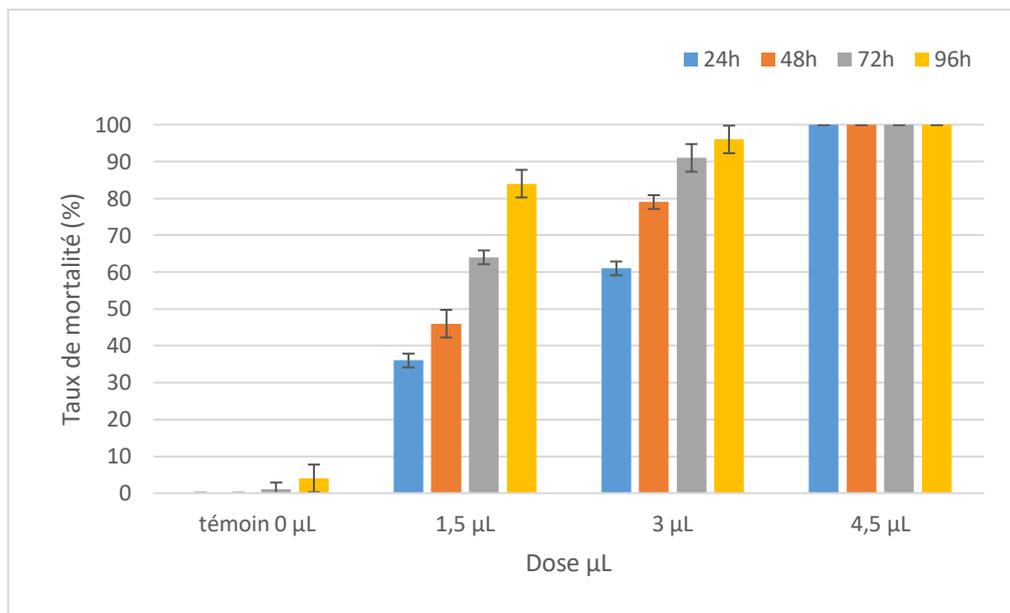


Figure 27. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des jeunes larves d'*O. surinamensis* traitées par la combinaison des trois huiles essentielles, de la menthe poivrée, basilic tropical et la lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition.

Le taux moyen de mortalité des larves dans les bocaux témoins, qui n'a subi aucun traitement est négligeable. En revanche, les résultats obtenus dans les bocaux traités, révèlent que la mortalité des jeunes larves d'*O. surinamensis* augmente en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Plus de 50% de létalité est observée à la dose de 3µL dès 24h d'exposition. Un taux de mortalité proche de 100% est enregistré avec la même dose après 96h d'exposition. A la dose

la plus forte de 4.5µL, la mortalité des larves jeunes est totale, elle est observée dès 24h d'exposition.

L'analyse de la variance à deux critères de classification, montre une différence très hautement significative pour les deux facteurs, dose (P=0) et temps d'exposition (P=0) (Tableau 15).

Tableau 15 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) concernant l'effet du traitement, par inhalation, vis-à-vis des jeunes larves d'*O. surinamensis*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var.Totale	9,72	63	0,154				
Var. Dose	8,858	3	2,953	3239,499	0		
Var. Temps	0,421	3	0,14	153,886	0		
Var.Inter F1*2	0,397	9	0,044	48,439	0		
Var.Résiduelle 1	0,044	48	0,001			0,03	5,02%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans quatre groupes homogènes, chacune dans un groupe homogène différent A, B, C et D (Tableau 16).

Pour le facteur durée d'exposition, le test de Newman et Keuls, classe les temps d'exposition dans quatre groupes homogènes, chaque temps d'exposition est classé dans un groupe homogène à part (Tableau 17).

Tableau 16 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement (F1) testée par inhalation, sur la mortalité des jeunes larves d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
4.5MI	1	A			
3µL	0,819		B		
1.5µL	0,575			C	
0µL	0,013				D

Tableau 17 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition (F2) au traitement par inhalation sur la mortalité des jeunes larves d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
96h	0,709	A			
72h	0,641		B		
48h	0,563			C	
24h	0,494				D

1.1.4. Toxicité sur les œufs

L'activité insecticide de la combinaison des trois huiles essentielles testées, est évaluée par inhalation, vis-à-vis des œufs d'*O. surinamensis*, par le dénombrement des œufs n'ayant pas éclos, les résultats sont matérialisés dans la figure 28.

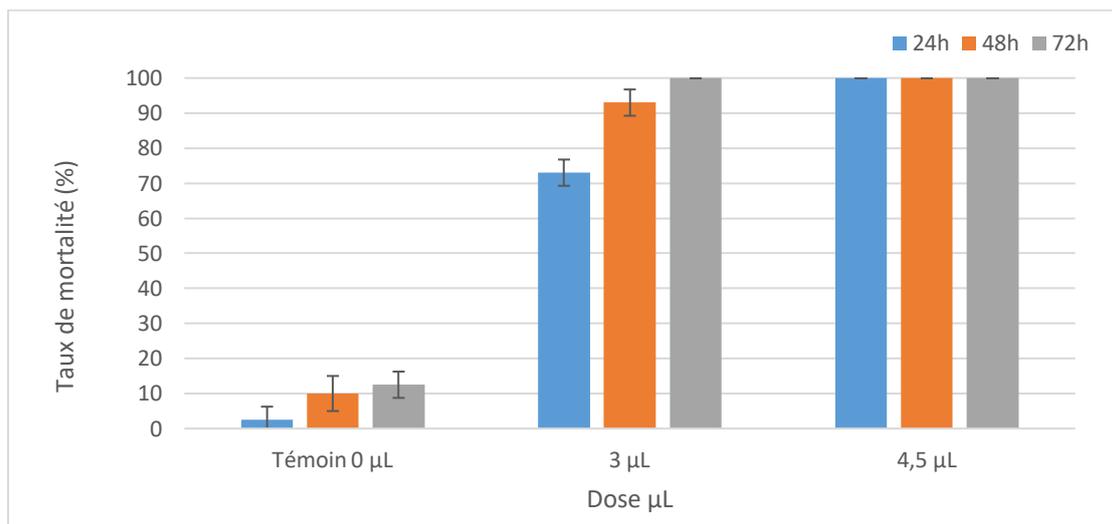


Figure 28. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des œufs d'*O. surinamensis* traités par la combinaison de trois huiles essentielles de la menthe poivrée, basilic tropical et la lavande aspic en fonction des doses et de la durée d'exposition.

Le taux moyen de mortalité des œufs dans les bocaux témoins, qui n'ont subi aucun traitement et qui représentent la mortalité naturelle ne dépasse pas 15%. Par contre, dans les bocaux traités, la mortalité des œufs d'*O. surinamensis* augmente en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Plus de 50% de létalité est observée à la faible dose de 3 μ L dès 24h d'exposition et une mortalité totale est atteinte après 72h d'exposition à la même dose. A la dose la plus forte 4.5 μ L, la mortalité des œufs est totale, elle est enregistrée dès 24h d'exposition.

L'analyse de la variance à deux critères de classification, montre une différence très hautement significative pour les deux facteurs, dose (P=0) et temps d'exposition (P=0) (Tableau 18).

Tableau 18 : Résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, la dose (F1) et le temps d'exposition (F2) concernant l'effet du traitement par inhalation vis-à-vis des œufs d'*O. surinamensis*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var.Totale	62088,89	35	1773,968				
Var. Dose	59755,56	2	29877,78	1613,4	0		
Var. Temps	1005,559	2	502,779	27,15	0		
Var.Inter F1*F2	827,773	4	206,943	11,175	0,00002		
Var.Résiduelle 1	500	27	18,519			4,303	6,56%

Le test de Newman et Keuls, au seuil signification de 5%, classe le facteur dose dans trois groupes homogènes, les doses sont placées chacune dans un groupe homogène différent A, B et C (Tableau 19).

Pour le facteur durée d'exposition, le même test classe le facteur traitement dans trois groupes homogènes, chaque temps d'exposition est classé dans un groupe homogène à part (Tableau 20).

Tableau 19: Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des trois doses du traitement (F1) testées par inhalation, sur la mortalité des œufs d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.5μL	100	A		
3μL	88,333		B	
0μL	8,333			C

Tableau 20: Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition (F2) au traitement par inhalation sur la mortalité des œufs d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
72h	100	A		
48h	88,333		B	
24h	8,333			C

1.2. Evaluation de l'effet par répulsion des huiles essentielles

Les résultats du test par répulsion de l'association des trois huiles essentielles, menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic sur les adultes d'*O. surinamensis* sont présentés dans la figure 29.

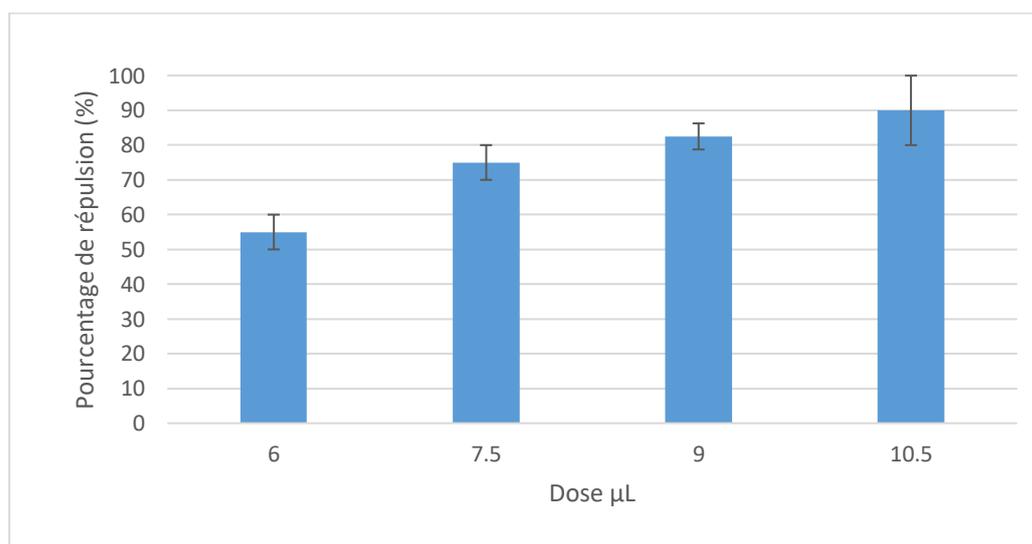


Figure 29. Taux de répulsion (%) (Moyenne±ET) des adultes d'*O. surinamensis* traités par l'association des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic).

Le taux moyen de répulsion est considérable pour les trois huiles essentielles combinées et il augmente en fonction de la dose.

Il atteint les 50% à la plus faible dose de 6µL et son maximum de 90% est atteint à la dose la plus élevée (10.5µL).

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative pour le facteur dose ($P < 0.001$) (Tableau 21).

Tableau 21 : Résultat de l'analyse de la variance à un seul critère de classification pour le facteur de dose (F1) concernant l'effet répulsif des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic), vis-à-vis des adultes d'*O. surinamensis*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	3400	15	226,667				
Var. Facteur 1	2750	3	916,667	16,923	0,00016		
Var. Résiduelle	650	12	54,167			7,36	9,81%

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% classe les doses dans trois groupes homogènes, la 4^{ème} dose des 10.5 µL appartient au groupe A, la 3^{ème} dose dans le groupe homogène AB, la dose 7.5 µL dans le groupe homogène B, et le témoin dans le groupe homogène C (Tableau 22).

Tableau 22 : Résultats du test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour le facteur dose de l'association des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic), vis-à-vis des adultes d'*O. surinamensis*.

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
10.5 µL	90	A		
9 µL	82,5	A	B	
7.5 µL	72,5		B	
6 µL	55			C

Selon la méthode de Mc Donald et al. (1970), l'association des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et la lavande aspic) est placée dans la classe répulsive avec une valeur moyenne du pourcentage de répulsion de 75.62% (Tableau 23).

Tableau 23 : Pourcentage de répulsion de l'association des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic), vis-à-vis des adultes d'*O. surinamensis*.

Dose	Pourcentage de répulsion
6 µL	55%
7,5 µL	75%
9 µL	82,50%
10,5µL	90%
Taux moyen de répulsion	75,62%
Classe	Répulsive

1.3. La DL50 et TL50

1.3.1. Test par inhalation vis-à-vis des adultes

Le graphe (Figure 30), matérialisant les résultats obtenus sous forme d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des doses, a permis de déterminer la valeur de DL₅₀ de la combinaison des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic) par inhalation, après 24h d'exposition.

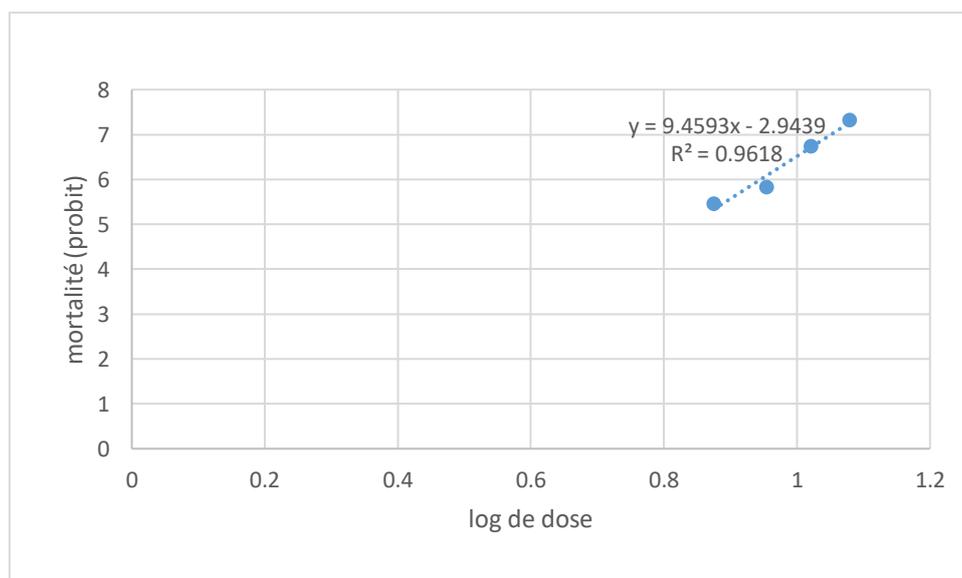


Figure 30. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une forte corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des doses ($R^2=0.9618$), la DL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de $6.92\mu\text{L/L}$ d'air.

Le graphe (Figure 31) matérialisant les résultats obtenus, a permis de déterminer la valeur de TL_{50} de la combinaison des trois huiles essentielles (lavande aspic, menthe poivrée et le basilic tropical) par inhalation a la dose $7.5\mu\text{L/L}$ d'air.

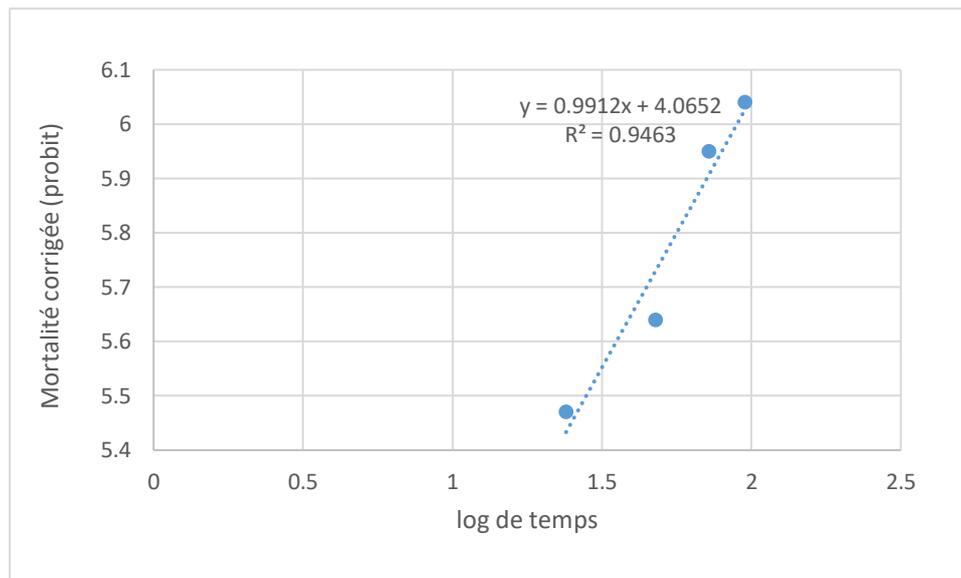


Figure 31. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une forte corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des temps ($R^2=0.94$), la TL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de 8.77h.

1.3.2. Test par inhalation vis-à-vis des larves âgées

Le graphe (Figure 32) matérialisant les résultats obtenus sous forme d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des larves âgées d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des doses, a permis de déterminer la valeur de DL_{50} de la combinaison des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic) par inhalation après 24h d'exposition.

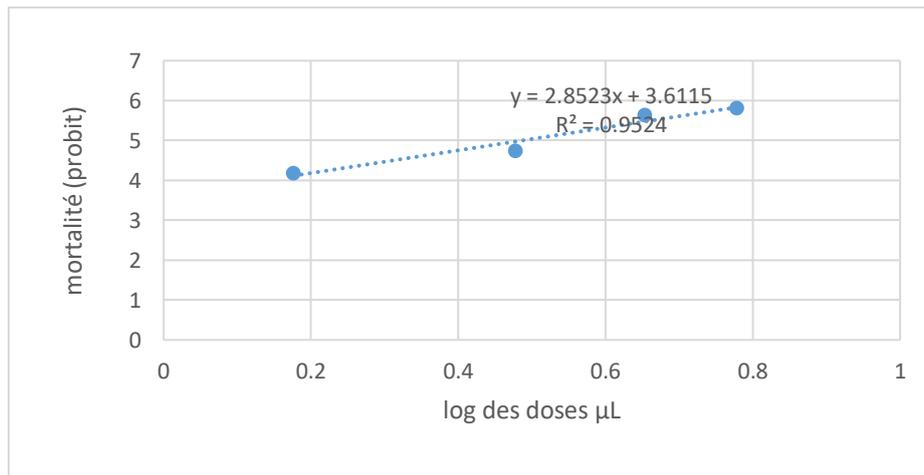


Figure 32. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des larves âgées d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une forte corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des doses ($R^2=0.95$), la DL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de $3,06\mu\text{L/L}$ d'air.

Le graphe (Figure 33) matérialisant les résultats obtenus, a permis de déterminer la valeur de TL_{50} de la combinaison des trois huiles essentielles (lavande aspic, menthe poivrée et le basilic tropical) par inhalation à la dose $4.5\mu\text{L/L}$ d'air.

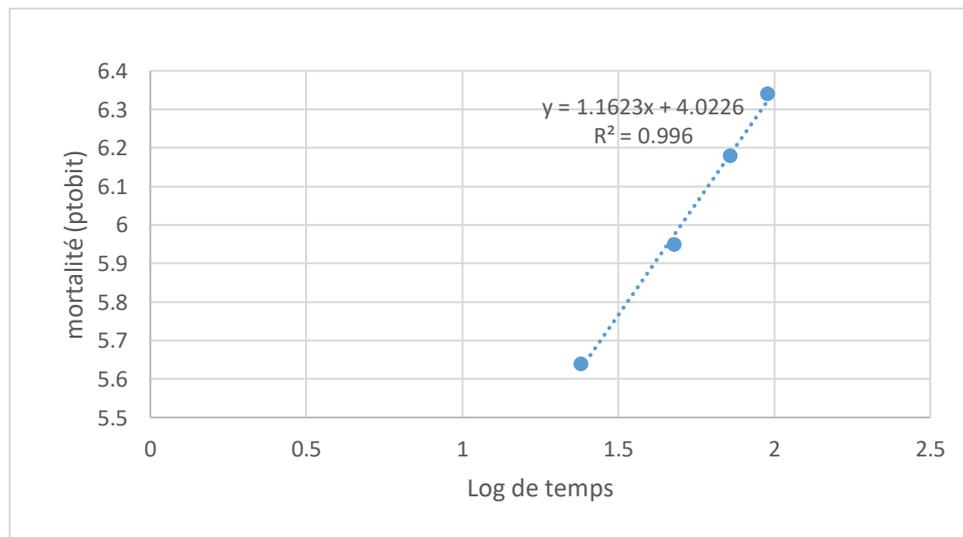


Figure 33. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des larves âgées d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une très forte corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des temps ($R^2=0.99$), la TL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de 6.9h.

1.3.3. Test par inhalation à l'égard des jeunes larves

Le graphe (Figure 34) matérialisant les résultats obtenus, a permis de déterminer la valeur de DL_{50} de la combinaison des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic) par inhalation après 24h d'exposition.

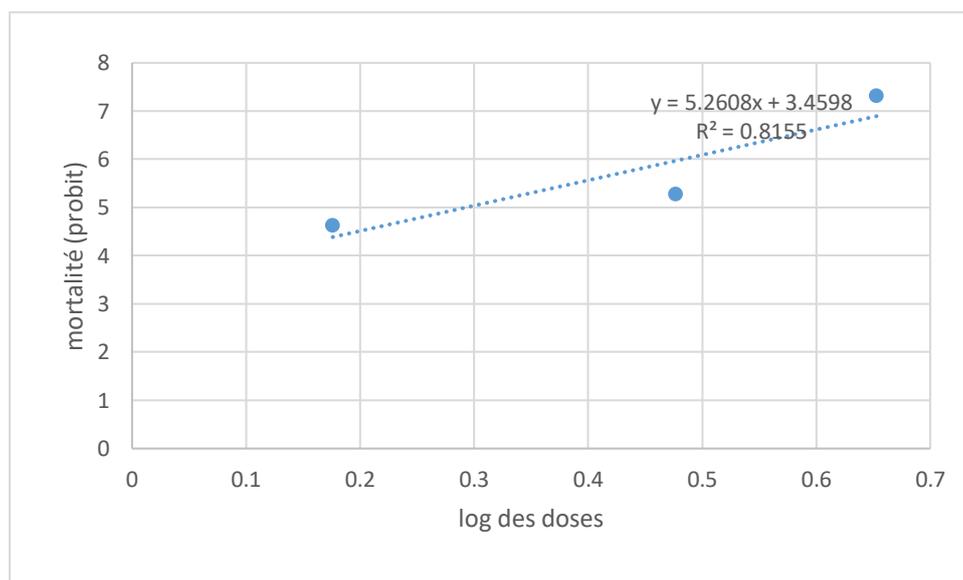


Figure 34. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des jeunes larves d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des doses ($R^2=0.81$), la DL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de $1.96\mu\text{L/L}$ d'air.

Le graphe (Figure 35) matérialisant les résultats obtenus, a permis de déterminer la valeur de TL_{50} de la combinaison des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic) par inhalation à la dose $3\mu\text{L/L}$ d'air.

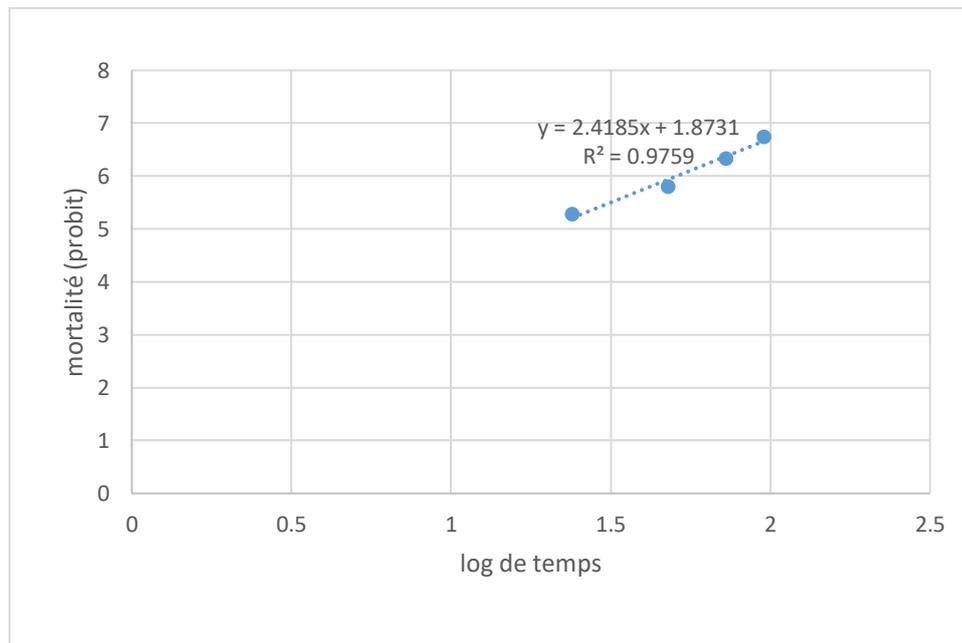


Figure 35. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des jeunes larves d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une très forte corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des temps ($R^2=0.97$), la TL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de 19.5h.

1.3.4. Test par inhalation pour les œufs

Le graphe (Figure 36) matérialisant les résultats obtenus sous forme d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des œufs d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des doses, a permis de déterminer la valeur de DL_{50} de la combinaison des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic) par inhalation après 24h d'exposition.

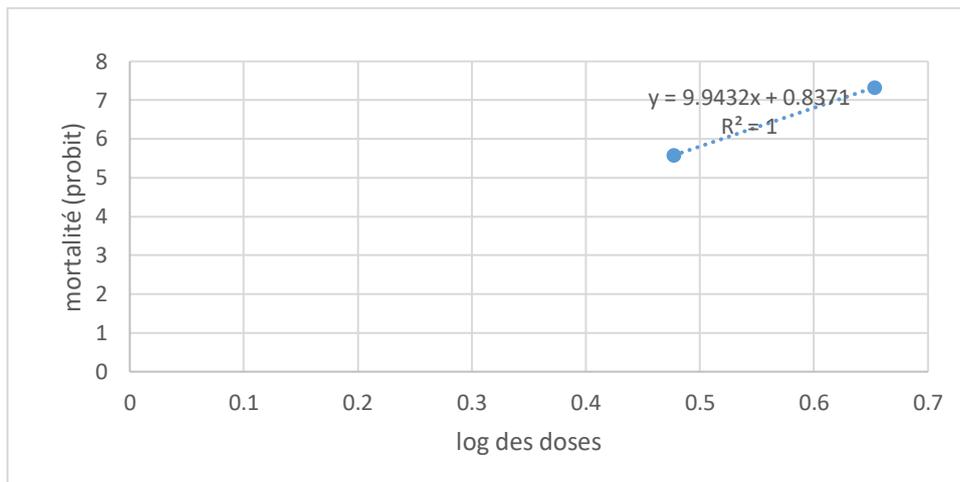


Figure 36. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des œufs d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des doses soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des doses ($R^2=1$), la DL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de $2.63\mu\text{L/L}$ d'air.

Le graphe (Figure 37) matérialisant les résultats obtenus, a permis de déterminer la valeur de TL_{50} de la combinaison des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic) par inhalation à la dose $3\mu\text{L/L}$ d'air.

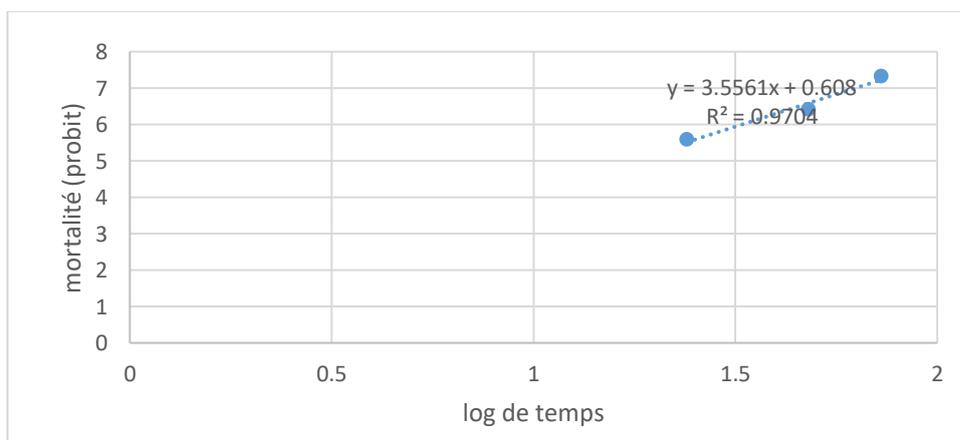


Figure 37. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des œufs d'*O. surinamensis* en fonction du logarithme des temps soumis à l'action des trois huiles essentielles combinées.

Le graphe montre une très forte corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des temps ($R^2=0.97$), la TL_{50} est calculée à partir de la droite de régression montrant une valeur de 17h.

2. Discussion

2.1. Evaluation de la toxicité par inhalation vis-à-vis des adultes, des larves âgées, des jeunes larves et des œufs d'*O. surinamensis*.

La combinaison des trois huiles essentielles (menthe poivrée, basilic tropical et lavande aspic) a été testée à l'égard des adultes, des larves âgées, des jeunes larves et des œufs d'*O. surinamensis*, par inhalation, en utilisant différentes doses et différents temps d'exposition.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que le traitement testé, a un effet toxique très hautement significatif sur les différents stades de développement d'*O. surinamensis* au fur et à mesure que la dose et le temps d'exposition augmentent.

Une mortalité totale des adultes est observée à la dose 10.5 μL dès les premières 48h d'exposition. Pour les larves âgées, un taux de mortalité proche de 100% est obtenu à la dose de 6 μL après 96h d'exposition, et une mortalité totale des jeunes larves est atteinte après 24h d'exposition dès la dose 4.5 μL . Chez les œufs, une mortalité totale est constatée à la dose 3 μL après 72h d'exposition. Les DL_{50} calculées après 24h d'exposition sont de, 6.92 μL pour les adultes, 3.06 μL pour les larves âgées, 1.96 μL pour les jeunes larves et 2.63 μL pour les œufs d'*O. surinamensis*. Ces résultats montrent une sensibilité décroissante du silvain en allant des œufs, jeunes larves, larves âgées et adultes.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Hammoutene et Ben Ouarab (2022) qui ont montré que le même mélange des trois huiles essentielles a un effet toxique sur les adultes et les nymphes d'*O. surinamensis* avec un taux de mortalité qui augmente au fur et à mesure que la dose et le temps d'exposition augmentent. Ces auteurs ont observé un taux de mortalité de 100% par inhalation sur les adultes à la dose 4.5 μL après 72h d'exposition et une mortalité totale des nymphes observée à la dose de 3 μL après 96h d'exposition.

Plusieurs études ont montré que les huiles essentielles ont un large spectre d'action sur les insectes des denrées stockées (Hamoudi, 2000).

Goucem-Khelfane (2014), montre que l'huile de *L. angustifolia* est efficace, provoquant une mortalité de 100% des adultes du haricot de la fève, à la dose 8µL, après 72h d'exposition.

Cette activité insecticide de l'huile essentielle de Lavande a été confirmée dans plusieurs travaux et sur plusieurs espèce d'insectes ravageurs, tels que *Callosobruchus maculatus* (Moravej et al., 2012) et *Sitophylus granarius* (Germina et al., 2017).

L'étude réalisée par Shaaya et al. (1993) sur la toxicité de 26 huiles essentielles par fumigation a également montré que la lavande aspic manifeste 100% de mortalité pour une concentration de 15 µL/l sur les adultes de *R. dominica*, *O. surinamensis* et *T. castaneum*.

De leur part, Shaaya et al. (1997) ont montré que les substances volatiles contenues dans les huiles essentielles de laurier, romarin et lavande ont un effet toxique significatif sur *O. surinamensis*, *S. oryzae* et *R. dominica*, avec une mortalité variant entre 85 et 100% après 4 jours d'exposition à la dose de 70 µL/l.

L'étude de Papachristos et al., (2002), met en évidence la toxicité de *Lavandula hybrida* sur les œufs de *A. obtectus*, la sensibilité la plus forte a été obtenue après 72h d'exposition à cause d'une plus grande perméabilité du chorion ou de la membrane vitelline facilitant ainsi la diffusion des vapeurs.

En effet, ces mêmes auteurs affirment que les vapeurs des huiles essentielles accroissent la mortalité des larves des insectes ravageurs.

Kheloul et al. (2021) suggèrent que *L. spica* peut causer des malformations chez les adultes de *T. confusum* lorsqu' ils sont appliqués par inhalation à la dose 500 µL/l. Ils ont conclu alors que la combinaison de l'huile essentielle avec son composé majeur, le linalol justifie ces résultats.

Le pouvoir insecticide de la Lavande serait du au pouvoir insecticide du linalol. Roozman (2007) a montré que le linalol cause un taux de mortalité de 100% chez *R. dominica* et de 85% chez *S. oryzae* dès 24h d'exposition à une concentration de 0.1 µL/ 720ml.

La toxicité du linalol a été également confirmée par inhalation contre *T. castaneum* et *O. surinamensis* avec une relation dose-réponse (Phillips et al., 1995).

D'autre part, l'étude réalisée par Goucem-Khelfane (2014) sur neufs huiles essentielles extraites de plantes aromatiques sur *A. obtectus*, montre que l'huile de la menthe poivrée cause 100% de mortalité sur les adultes de cet insecte après 72h d'exposition à la dose de 10 μ L.

Koroghli (2018) a confirmé la forte action insecticide de l'huile essentielle de la menthe poivrée à l'égard de *R. dominica*, par inhalation, avec un taux de mortalité de 100% des adultes de toutes les doses testées 2 μ L, 4 μ L, 6 μ L et 8 μ L et cela dès 48h d'exposition. Ce même auteur a montré que l'huile essentielle de la menthe poivrée est plus efficace par inhalation par rapport à celle du romarin avec une valeur de DL₅₀ plus faible qui est de l'ordre de 0.83 μ L, à l'égard de *R. dominica*.

De même, Kellouche et al. (2010) et Aissat et Berkane (2014) ont montré, qu'à partir de la dose de 10 μ L, l'huile essentielle de *M. piperita* a un effet significatif et réduit la longévité des adultes de *C. maculatus* et ceux de *B. rufimanus*.

Raja et al. (2001) affirment que les huiles essentielles de *Mentha arvensis*, *M. piperita* et *M. spicata*, possèdent une action biocide significative vis-à-vis de *C. maculatus*, par inhalation. Cette efficacité varie en fonction de l'huile essentielle et la dose testée.

Nemmar (2017) a obtenu des résultats proches des nôtres, il a signalé que la dose létale qui tue 50% des adultes mâles de *Bruchus rufimanus* soumis à l'action de l'huile essentielle de *M. piperita* est de 3.5 μ L par inhalation.

Ogendo et al. (2008) ont montré que la toxicité de l'huile essentielle d'*O. gratissimum* L. à la dose de 1 μ L/l est totale sur *R. dominica* et *O. surinamensis* en 24h.

Taleb-Toudert (2015) a montré qu'*O. basilicum* a un effet toxique, par fumigation, sur les adultes de *C. maculatus*, elle cause 100% de mortalité des bruches, à la dose 16 μ L après 96h d'exposition.

Par ailleurs, Bounoua-Fraoucene et al. (2019), ont montré, qu'*O. basilicum* a une activité insecticide importante sur les adultes de *R. dominica*, par fumigation, à la dose de 20 µL/L d'air, après 72h d'exposition. Les DL₅₀ calculées par ces auteurs pour quatre huiles essentielles, étaient plus toxiques par fumigation pour les deux insectes nuisibles *R. dominica* et *S. oryzae*. Ils ont montré que *R. dominica* et *S. oryzae* sont plus sensibles à *O. basilicum* qui présente la valeur de DL₅₀ la plus faible, 11.62µL pour *R. dominica* et 21.28µL pour *S. oryzae*.

Les mêmes auteurs ont montré que la TL₅₀ calculé pour les huiles essentielles d'*O. basilicum* et *M. piperita*, étaient plus toxique par fumigation sur *R. dominica* et *S. oryzae*. L'*O. basilicum* a l'effet le plus fort avec un TL₅₀ = 8.92h contre *R. dominica* et 161.34h contre *S. oryzae*.

En effet, la toxicité des huiles essentielles s'exprime de différentes manières, elles ont une activité ovicide, larvicide, antinutritionnels et inhalatoire (Keita et al., 2000). Les huiles essentielles se caractérisent par une toxicité par inhalation provoquée par leur richesse en composées volatils (NCIBI, 2020). Le spectre d'action des huiles essentielles est très diversifié, de plus, elles jouent plusieurs rôles, régulateur de croissance, car elles peuvent agir sur les paramètres de développement de l'insecte, sur la reproduction comme elles réduisent l'appétit des insectes (Goudoum, 2010 ; Campolo et al., 2018).

De nombreux travaux ont montré que l'utilisation des huiles essentielles séparément affecte significativement la biologie des insectes cibles. L'utilisation d'une association des trois huiles essentielles peut exercer un effet synergique, l'insecte étant submergé par le mélange d'huile essentielle qui affecte différentes cibles. Il a été constaté également que l'interaction entre différents composés de l'association des huiles essentielles peut conduire à des changements dans la conformation structurelle et dans la réduction de l'activité biologique donnant ainsi un effet antagoniste (Boukraa et al., 2021).

2.2. Test par répulsion

Les résultats obtenus montrent clairement que la combinaison des trois huiles essentielles (la menthe poivrée, le basilic tropical et la lavande aspic), a un effet répulsif à l'égard des adultes d'*O. surinamensis* ; cependant, nous n'avons pas rencontré de travaux qui ont testé des combinaisons d'huiles essentielles sur cet insecte.

Par contre, l'effet répulsif de plusieurs huiles essentielles, testées séparément sur les ravageurs des denrées stockées est largement documenté. Il a été démontré que les huiles

essentielles et plusieurs de leurs constituants ont un effet répulsif sur les ravageurs des produits stockés (Sendi et Ebadollahi, 2013).

D'après Kheloul et *al.*, (2019), l'huile essentielle de *L. spica* et son principal composant, le linalol, ont des effets répulsifs sur les adultes de *T. confusum*. Même des doses fortement diluées d'huile essentielle de *L. spica* étaient fortement répulsives pour *T. confusum*.

Bounoua-Fraoucene et *al.* (2019) ont étudié l'effet répulsif de quatre huiles essentielles des lamiacées. Ils ont montré que l'activité répulsive est variable selon l'espèce nuisible. Cette activité augmente significativement avec l'augmentation de dose. Dans cette étude les auteurs affirment que les huiles essentielles d'*O. basilicum* et *M. piperita* sont modérément répulsives contre les adultes de *R. dominica*. Pour les adultes de *S. oryzae*, *O. basilicum* est répulsive avec un taux de répulsion de 60.8%, et *M. piperita* est modérément répulsive avec un taux de répulsion de 28%.

Nos résultats sont identiques avec ceux de Goucem-Khelfane (2014), qui a montré que les huiles essentielles de *L. spica* et de *M. piperita* ont un taux de répulsion de (73.75%) et (71.25%) contre les adultes d'*A. obtectus*.

Conclusion

Au terme de ce travail de recherche dont l'objectif est d'évaluer la bio-efficacité de la combinaison de trois huiles essentielles *M. piperita*, *O. basilicum* et *L. spica*, par inhalation et par répulsion, à l'égard des différents stades de développements d'*O. surinamensis*, nous pouvons conclure ce qui suit :

La combinaison de ces trois huiles essentielles testées exerce une toxicité importante par inhalation et par répulsion vis-à-vis de ce ravageur des stocks.

L'efficacité du traitement testé par inhalation sur les différents stades de développements d'*O. surinamensis* varie selon la dose utilisée et le temps d'exposition.

Par ailleurs, l'association des trois huiles essentielles à un effet insecticide très hautement significatif sur les adultes, les larves âgées, les jeunes larves et les œufs d'*O. surinamensis*.

Nous avons observé une mortalité de 100% des adultes à la dose 10.5µl après 48h d'exposition, et une mortalité proche de 100% des larves âgées à la dose de 6µl après 96h d'exposition. L'efficacité du traitement est plus prononcée sur les jeunes larves et les œufs ; et les jeunes larves ont enregistré une mortalité totale à la dose 4.5µl après 24h d'exposition. Les œufs ont enregistrées une mortalité de 100% à une dose plus faible de 3µl dans un temps d'exposition de 72h.

Nous avons constaté également qu'à chaque stade de développement d'*O. surinamensis*, la résistance des insectes augmente, du stade œuf jusqu'au stade adulte.

L'estimation de la dose létale qui tue 50% des individus soumis aux tests, confirme les résultats obtenus dans les tests par inhalation. Pour les adultes, la DL_{50} est de 6.92 µl, pour les larves âgées, elle est de 3.06µl, pour les jeunes larves, elle est de 1.96µl alors que pour les œufs, elle est de 2.63µl. Ce mélange d'huiles essentielles est beaucoup plus toxique par inhalation sur les œufs et les jeunes larves.

L'estimation des TL_{50} , confirme aussi la sensibilité prononcée des œufs par rapport à tous les autres stades d'*O. surinamensis*.

Les valeurs sont de 8.77h à la dose 7.5µL pour les adultes, 6.9h pour une dose de 4.5µL pour les larves âgées, 19.5h pour une dose de 3µL pour les jeunes larves et 17h à une dose de 3µL pour les œufs.

La combinaison des trois huiles essentielles (*M. piperita*, *O. basilicum* et *L. spica*) s'est montrée répulsive à l'égard des adultes d'*O. surinamensis*, cette combinaison est placée selon la méthode de Mc Donald (1970) dans la classe (IV) répulsive avec une valeur moyenne de répulsion de 75.63%.

La combinaison des huiles essentielles pourrait ouvrir une piste très intéressante dans la recherche d'une méthode de lutte alternative contre les ravageurs des stocks.

Il serait très intéressant de poursuivre des études et des recherches dans la méthode de lutte par combinaison des huiles essentielles afin de limiter les inconvénients de l'utilisation des insecticides chimiques et d'espérer au moins une réduction de l'usage des pesticides chimiques et les remplacer par les biopesticides.

Il serait judicieux de compléter cette étude par d'autres tests de toxicité de chaque huile essentielle isolément, sur les différents stades de développement de cet insecte et d'identifier les molécules actives de ces substances naturelles, afin de définir les composés et les huiles les plus toxiques.

Il serait intéressant aussi de tester d'autres combinaisons d'huiles essentielles sur l'insecte, à fin de déterminer un mélange des huiles le plus efficace et le moins coûteux.

*Références
bibliographiques*

A

Abott W.S., 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol., 18:265-267.

Aidani H., 2015. Effet des attaques de capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées. « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif .Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire de Master en Production et Amélioration des plantes, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie, 82p.

Aissat K., et Berkane N., 2014. Effet insecticide des deux huiles essentielles de *Mentha piperita* L. et de *Thymus zygis* L. (Lamiacées) à l'égard des adultes diapausants de la bruche de la fève *Bruchus rufimanus* Boh. (Coleoptera : Chrysomelidae). Mémoire de Master en Sciences Biologiques, U.M.M.T.O, Algérie, 60p.

Al-Dosari SA., Suhaibanui MA., et Ali AG., 2002. Sensibilité de certaines variétés sèches du palmier dattier liés à l'infestation par *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera : Silvanidae) en relation avec leur composition chimique. Assiut. J. Agric. Sci., 11:423-457.

Alihaimoud D.E., Mostafa M., Barault G., et Albertini L., 1993. Evolution of organism antagonistic to the sclerotoid organ of *Drechslera teres*, the causal agent barley net blotch. Plant Dis., 77:1251-1255.

Allosio-Ouarnier N., 1999. Caractérisation de la transformation de l'orge en malt par des méthodes de spectroscopie vibrationnelle. Institut national polytechnique de Lorraine, 241p.

Andrew C., Karen P.S., Iren A.G., Alexander A.C., Cathy H., John W., and Peter M., 2017. The agronomic performance and nutritional content of oat and barley varieties grown in a northern maritime environment depends on variety and growing conditions. J. Cereal. Sci., 74: 1-10.

Anonyme, 2020. Expert naturel en soins et beauté. Guide des huiles essentielles. Fiche technique des huiles essentielles. Aromazone. <https://www.aroma-zone.com/info/guide-des-huiles-essentielles/tous>. 08 octobre 2020.

Anonyme, 2021. Des essais dédiés au Charbon nu de l'orge. <https://www.arvalis-infos.fr/des-essais-dedies-au-charbon-nu-de-l-orge-@/view-36169-arvarticle.html>.

Anses, 2016. Avis de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à une demande d'autorisation d'introduction dans l'environnement du macro-organisme non indigène *Cephalonomia tarsalis* dans le cadre de la lutte biologique, 5p.

Aouali S., et Douici-Khalfi A., 2009. Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie. Institut Technique de Grandes Cultures (ITGC), El Harrach, Alger, 57p.

Aouali S., et Douici-Khalfi A., 2013. Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte. ITGC, El Harrach, Alger, 8-36.

Arrab R., 2016. Effet insecticide des plantes *Melia azedarach* L. et *Peganum harmala* L. sur l'insecte des céréales stockées *Tribolium castanum* herbest (Coleoptera, Tenebrionidae). Mémoire de magister en valorisation des ressources végétales, Université Farhat Abbas Sétif, Algérie, 89p.

Arthur F.H., 2001. Immediate and delayed mortality of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) exposed on wheat treated with diatomaceous earth: effects of temperature, relative humidity, and exposure interval. J. Stored Prod. Res., 37:13-21.

B

Bafs O., 2008. Dynamique de propagation de la *rhynchosporiose*, the chiminalcompany october2008.p3-4.

Blaszczak W., Gralik J., Klockiewicz-Kaminska E., Fornal J., et Warchalewski J.R., 2002. Effect of γ -radiation and microwave heating on endosperm microstructure in relation to some technological properties of wheat grain. Nahrung/Food, 46(2):122-129.

Benlaribi M., Monneveux PH., et Grignac P., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation du déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Agronomie, 10:305-322.

Belmont M., 2013. Lavandula angustifolia M., Lavandula latifolia M., Lavandula x intermedia E.: ÉTUDES BOTANIQUES, CHIMIQUES ET THÉRAPEUTIQUES. Thèse de Doctorat en pharmacie. Université Joseph Fourier Faculté de Pharmacie De Grenoble. France, 144p.

UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER FACULTÉ DE PHARMACIE DE GRENOBLE.

Berhaut P., Le Bras A., Niquet G., et Griaud P., 2003. Stockage et conservation des Grains à la ferme. Arvalis, Institut du végétale, Ed., Tec et Doc, Paris, 108p.

Bertrand C., 2008. Bio-Pesticides Organiques d'Origine Naturelle. Laboratoire de Chimie des Biomolécules et de l'Environnement-Université de *PerpignanVia Domitia*, 21p.

Bouakaz K., et Ouissaid Y., 2013. Reconnaissance et identification des principales maladies cryptogamiques du blé et de l'orge. Institut national de la protection des végétaux. INPV. EL Harrach. Alger. 31p

Boufenar-Zaghouane F. et Zaghouane O., 2006. Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC d'Alger, 1ère Ed, 152p.

Boukraa N., Ladjel S., Goudjil M.B., Eddoud A., et Sanori KW.M., 2021. Chemical compositions, fumigant and repellent activities, of essential oils from three indigenous medicinal plants and their mixture, against stored grain pest, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae). Asian J. Research Chem., 13(6) : 455-464.

Bouby L., 2001. L'orge à deux rangs (*Hordeum distichum*) dans l'agriculture gallo-romaine : données archéobotaniques. Centre d'Anthropologie, UMR 8555 du CNRS, 39 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse, p35-44.

Bounoua-Fraoucene S., Kellouche A., et Debras J.F., 2019. Toxicité de quatre huiles essentielles vis-à-vis de deux insectes ravageurs des grains stockés, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera : Bostrychidae) et *Sitophilus Oryzae* (Coleoptera : Curculionidae). J. Afri. Entomogy, 27(2) : 344-359.

Bourras L., 2001. Effet du stress hydrique sur les composantes du rendement de quelques génotypes de blé dur. Thèse de Magistère. INA El Harrach, Alger, 189 p.

Bouzerzour H., et Benmahammed A., 1993. Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. Rachis, 12(1):14-19.

C

CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International), 2019. *Oryzaephilus surinamensis* (Saw Toothed Grain Beetle Grain Beetle). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/37988>.

Campolo O., Giunti G., Russo A., Palmeri V., et Zappalà L., 2018. Essential oils in stored product insect pest control. *J. Food Quality*, 5:1-18.

Champion R., 1997. Identifier les champignons transmis par les semences. Chapitre 8 : maladies transmis par les semences. INRA Editions, 105-113.

Chang Y., Lee S.H., NA J.H., Chang P.S., et Han J., 2017. Protection of grain products from *Sitophilus oryzae* (L.) contamination by anti-insect pest repellent sachet containing allyl mercaptan microcapsule. *J. Food Sci.* 82(11):2634-2642.

Christine B., 2001. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique. 2^e Edition, 124-154. Institut technique des céréales et des fourrages France, Ouvrage de 268p.

Clerget Y., 2011. La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. 16 p.

Crete P., 1965. Précis de botanique. Systématique des angiospermes. Tome II. Ed. Masson et Cie, Paris. 429p.

Crépon M., Cabaco S., 2020. Méthodes de lutte physique dans un itinéraire de stockage sans insecticides : intérêts et limites, Conférence : Phloème – Les biennales de l'innovation céréalière, Paris, 2020. 157-164p.

Cronquist A., 1981. An integrated system of classification of flowering plants, Columbia University Press, New York, 248-250.

Cruz J.F., Troude F., Griffon D., et Herbert J.P. 1988. Conservation des Grains en Régions Chaudes «Techniques Rurales en Afrique». CEEMAT – Centre d'Études et d'Expérimentation du Machinisme Agricole et Tropical. Ministère de la Coopération et du Développement. 2^e Édition, Paris, France, 545p.

Cruz J.F., Hounhouigan D.J., et Fleurat-Lessard F., 2016. La conservation des grains après récolte : Agriculture tropicales en poche. France, Quae, 256p.

D

Daglish G.J., 2004. Effect of exposure period on degree of dominance of phosphine resistance in adults of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Pest Manag. Sci.*, 60:822-826.

David B. R., Gregory A.D., 2014. The Science of Forensic Entomology. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK., 400p.

Dawson I.K., Russel J., Powell W., Steffenson B., Thomas W., Waugh R., 2015. Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytol*, volume206, p913-931.

De Carvalho B.N.C.R., Negrison Junior A.S., Bernardi D., et Silveira Garcia M., 2013. Activity of eight strains of entomopathogenic nematodes (Rhabditida : Steinernematidae, Heterorhabditidae) against fice stored product pests. *Experimental parasitology.*, 134:384-388.

DE GROOT I. 2004. Protection des Céréales et des Légumineuses Stockées. Fondation Agromisa, Wageningen, Pays Bas, 74p.

Delobel A., et Tran M., 1993. Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Ed. Faune Tropicale, Paris, 424p.

Doumandji A., Doumandji S et Doumandji M B., 2003. Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock, cours de technologie des céréales, 67p.

Dris D., Tine-Djebar F., Bouabida H. et Soltani N., 2017. Chemical composition and activity of an *Ocimum basilicum* essential oil on *Culex pipiens* larvae: toxicological, biometrical and biochemical aspects. *South Afric. J.f Bota.*, 113:362-369.

Djermoun A., 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques, Département d'Agronomie Université de Hassiba Benbouali de Chlef, p44-46.

E

El-Naggar S. M. et Mikhaïel A.A., 2011. Disinfestation of stored wheat grain and our using gamma rays and microwave heating. *J. Stored Prod. Res.*, 47(3):191-196.

Enan E., 2001. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology, Toxicology and Pharmacology, Part C* 130(3):325-337.

Erceau C., Pasquier B., 2016. *Mentha x piperita* subsp. *piperita* - Diversité des aspects morphologiques, agronomiques et chimiques de variétés et clones collectés par le CNPMAI, 92p.

Erhan M. K., Bölükbaşı Ş. C. et Ürüşan H., 2012. Biological activities of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) imbroilers. *Livestock Science*, 146, 89-192.

F

FAO, 2012. Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande des céréales [http://www.fao.org/ 010/ah864f/ah864f00.htm](http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm). 2013. 56.

FAO, 2016. Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande des céréales [http://www.fao.org/ 010/ah864f/ah864f00.htm](http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm). 2020.

FAO, 2018. Perspectives agricole de l'OCDE et de La FAO 2018-2027. <https://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2018-2027/fr/> . P-121.

FAO, 2022. Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande des céréales <https://www.fao.org/worldfoodsituation/cad/fr/>.

Feillet P., 2000. Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308p.

Fernández- Sestelo M., José M. Carrillo., 2020. Environmental Effects on Yield and Composition of Essential Oil in Wild Populations of Spike Lavender (*Lavandula latifolia* Medik.), p18.

Fleurat-Lessard F., 2015. Résidu de pesticides dans les céréales alimentaires : origine, devenir et gestion raisonnée. Ed., Quae, Gembloux, 160p.

G

Gallais A., Bannerot H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Editions INRA, 768p.

Gayda A., 2013. Etude des principales huiles essentielles utilisées en rhumatologie. Thèse pour l'obtention du diplôme d'état en pharmacie. Université Toulouse III Paul Sabatier, soutenue le 19 décembre 2013, p110.

Germinara G.S., Di Stefano M.G., De Acutis L., Pati S., Delfine S., De Cristofaro A. et Rotundo G., 2017. Bioactivities of *Lavandula angustifolia* essential oil against the stored grain pest *Sitophilus granarius*. Bulletin of Insectology, 70:129-38.

Goucem-Khelfane K. (2014). Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles et des poudres de quelques plantes à l'égard de la bruche du haricot *Acanthocelides obtectus* (Say) (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) et comportement de ce ravageur vis-à-vis des

composés volatils de différentes variétés de la plante hôte (*Phaseolus vulgaris*). Thèse de Doctorat en Biologie, UMMTO, Tizi Ouzou, Algérie, 144p.

Goudjil M., 2016. Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatique. Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 200p.

Goudoum A., 2010. Impact des huiles essentielles sur le potentiel technologique et nutritionnel des grains et farine de maïs au cours du stockage. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Cameroun, 180p.

Guignard J.L., et Dupont F., 2015. Botanique : Les familles de plantes. Editions Elsevier Masson, Issy-les Moulineaux, 408p.

H

Hagstrum D. W. et G. A. Milliken., 1988. Quantitative analysis of temperature, moisture and diet factors affecting insect development. Ann. Entomol. Soc. Am., 81: 539-546.

Hagstrum D., et Subramanyam B., 2008. Fundamentals of Stored-product Entomology. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN. 323p.

Halstead D., 1980. A revision of the genus *Oryzaephilus* Ganglbauer, including descriptions of related genera (Coleoptera : Silvanidae). J. Linnean. Society., 69(4) : 271-374.

HAMANI- AOUDJIT S., 2019. Bioécologie et biocontrôle de la bruche de la fève *Bruchus rufimanus* (Coleoptera : Chrysomelidae : Bruchinae) dans la région de Bouira. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, UMMTO, 135p.

Hamoudi S., 2000. Extraction des huiles essentielles du romarin et du thym. Evaluation de leur toxicité vis-à-vis d'un insecte des denrées stockées. Mémoire d'ingénieur en génie chimique. Ecole Nationale Polytechnique d'El Harrach, 76p.

Haubruge E., Shiffers B., Gabriel E., et Verstraeten C., 1988. Etude de la relation dose efficacité de six insecticides à l'égard de *Sitophilus granarius* L., *S. oryzae* L., *S. zeamais* Mots. (Col., Curculionidae). Mededelingen Faculteit Land bouwwetens chappen Rijksuniversiteit Gent, p719 -726.

Hematpoor A., Liew S. Y., Azirun M. S., et Awang K., 2017. Insecticidal activity and the mechanism of action of three phenylpropanoids isolated from the roots of *Piper sarmentosum* Roxb. *Scientific Reports* 7(1): 12576. DOI: 10.1038/s41598-017-12898-z

Hill D.S., 2003. *Pests of Storage Foodstuffs and Their Control*. Institute of Biodiversity and Environmental Conservation, Universiti Malaysia Sarawak, Malaysia Kluwer Academic Publishers, New York, p453.

Hollway P. J., and Jeffree C. E., 2017. Epicuticular Waxes, In *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Second Ed. Brian Thomas, Brian G Murray and Denis J Murphy, Academic Press, Oxford, 386p.

I

IGC 2013. International Grains Council; Toepfer International). : The U.S. Grains Council develops export markets for U.S. barley, corn, sorghum and related products including distiller's dried grains with solubles (DDGS) and ethanol. www.grains.org.

Irma N.R., Cintia G. V., Maria V. C., Ana S., Ester S., and Carla C., 2017. Identification and expression analysis of 11 subtilise genes during natural and induced senescence of barley plants. *J. Plant. Physio.*, 211 : 70-80.

J

Jacquard C., 2007. « Embryogenèse pollinique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : importance du prétraitement ». Thèse, Ardenne, Université de Reims champagne, 1p.

Jakubas Zawalska J., Asmana M., Klys M., Solarz K., 2016. Prevalence of sensitization to extracts from particular life stages of the saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in citizens of selected suburban areas of southern Poland. *J. Stored Prod. Res.* 69:252-256.

Jankowska M., Rogalska J., Wyszowska J., et Stankiewicz M., 2018. Molecular Targets for Components of Essential Oils in the Insect Nervous System: A Review. *Molecules*, 23-34. Doi:10.3390/molecules23010034.

Jerraya A., 2003. Principaux nuisibles des plantes cultivées et des denrées stockées en Afrique du Nord. Leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts, leur contrôle. Edition Climat Publications, Tunis, 415p.

Jestin L., 1992. L'orge. In amélioration des espèces végétales cultivées. INRA, Paris, 114p.

Jilani G. and Saxena R. C., 1990. Reppellent and feeding deterrent effects of turmeric oil, sweetflag oil, neem oil, and a neem-based insecticide against lesser grain borer (Coleoptera : Bastrychidae). J. Econ. Entomol. 83(2) : 629-634.

Johnson F., Seri-Kouassi B., Aboua L. R. N., Faoua K., 2006. UTILISATION DE POUDRES ET D'EXTRAITS TOTAUX ISSUS DE PLANTES LOCALES DES GENRES *Ocimum* sp. ET *Mentha* sp. COMME BIOPESTICIDES DANS LA LUTTE CONTRE *Callosobruchus maculatus* FAB. UFR Biosciences, Université de Cocody, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire. : 221-233p.

K

Kaloustian J., Chevalier C., Mikail M., Martino L., Abou M., et Vergnes F., 2008. Etude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne. J. Phytothér., 6 :1614.

Kellouche A., 2005. Etude de la bruche du pois chiche, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae) : Biologie, physiologie, reproduction et lutte. Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie, UMMTO, Algérie, 154p.

Kellouche A., Ait Aider F., Labdaoui K., Moula D., Ouendi K., Hamadi N., Ouramdane A., Frefot B., et Mellouk M., 2010. Biological activity of ten essential oils against cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera : Bruchidae), Int. J. Integ. Biol., 10(2): 86-89.

Keïta S.M., Vincent C., Schmit JP., Ramaswamy S. et Belanger A., 2000. Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). J. Stored Prod, p355-364.

Keskin S., et Ozkaya H., 2015. Effect of storage and insect infestation on the technological properties of wheat. Cyta- J. Food., 13(1):134-139.

Khan S.A., Ranjha M.H., Khan A.A., Sagheer M., Abbas A., et Hassan Z., 2019. Insecticidal efficacy of wild medicinal plants, *Dhutura alba* and *Calotropis procera*, against *Trogoderma granarium* (Everts) in Wheat store grains. Pakistan J. Zoology., 51 (1):289-194.

Kheloul L., Kelouche A., Berard D., Gay M., Gadenne C., et Sylvia A., 2019. Trade-off between attraction to aggregation pheromones and repellent effects of spike lavender essential oil and its main constituent linalool in the flour beetle *Tribolium confusum*. Entomologia Experimentalis et Applicata: 1-9. DOI:10.1111/eea.12831

Kheloul L., Anton S., Gadenne A., et 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 (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.02.008> 18p.

Kheloul L., Anton S., Bréard D., et Kellouche A., 2021. Fumigant toxicity of some essential oils and eucalyptol on different life stage of *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae). J. Asia-Pacifix. Entomo., 23 : 320-326.

Khoualdi I., et Boughara N., 2018. L'effet de l'extrait d'*Ocimum basilicum* sur quelques paramètres biochimiques et reproductifs chez les rats intoxiqués par le mercure. Mémoire de Master en Sciences Biologiques, Université de Larbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi, Algérie, 58p.

Kiran S., et Prakash B., 2015. Assessment of toxicity, antifeedant activity, and biochemical responses in stored-grain insects exposed to lethal and sublethal doses of *Gaultheria procumbens* L. Essent.oil. J. Agric.Food Chem., 63(48):10518-10524.

Klys M., Przystupinska A., 2015. The mortality of *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Silvanidae) induced by powdered plants. J. Plant Prot. Res., 55:110-116.

Komson A., et Stewart R.K., 1968. The effect of temperature and diet upon the development of the sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Linn.) and of the merchant grain beetle, *Oryzaephilus mercator* (Fauv.) (Coleoptera, Cucujidae). Thailand J. Agric. Sci., 1: 40-51.

Koroghli K., 2018. Activité insecticide des huiles essentielles de romarin (*Romarinus officinalis* L.) et de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) à l'égard du petit capucin des grains de blé *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera : Bostrychidae). Mémoire de master en biologie, UMMTO, 40p.

Kumar R., 2017. Insect Pests of Stored Grain. Apple Academic Press Inc., Oakville. LeCato, G.L., McCray, T.L., 1973. Multiplication of *Oryzaephilus* spp. And *Tribolium* spp. on 20 natural product diets. Environ. Entomol., 2:176-179.

L

Lacroix MD., 2002. Maladies des céréales et de la luzerne. Ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation. Québec. 26 p.

Lergenmüller E., 1958. Ecological investigations on the sawtoothed grain beetle. Ökologische Untersuchungen am Getreideplattkäfer. Z. Angew. Zool. 45: 31-97.

Livre Blanc « céréales », 2011. Production et commerce mondial en céréales en 2010-2011. ULg Gembloux. Agro-Bio Tech et CRA-W Gembloux, février 2011. 12 p.

Lobstein A., Couic-Marinier F., 2016. Huile essentielle de Menthe poivrée, Laboratoire d'innovation thérapeutique (UMR 7200), Faculté de pharmacie de -Strasbourg, 74 route du Rhin, CS 60024, 67401 Illkirch cedex, France, 57-59p.

M

Mahroof R.M., Hagstrum D.W., 2012. Biology, behavior, and ecology of insects in processed commodities. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W., Cuperus, G. (Eds.), Stored Product Protection. Kansas State University, Manhattan, KS, pp:33-44.

Mallah N.A., Sakhito H.A., Kousar T., Kubar W.A., Shah Z.H., 2016. Susceptibilité de différent variétés de fruits de palmiers dattiers stockés infestés par le cucujide des grains de scie, *Oryzaephilus surinamensis* L. (1758) dans des conditions de laboratoire. J. Entomol. Zool. Goujon. 4(6):438-443.

Mazza Gao L., 2005. Blue and purple grains, Pp 313-350. In: Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. Dykel.3Le seigle: Secale cereale Ls L & Rooney W L. (2007).Texas A&M University, CFW-52-3-0105.

Menad A., Meziani N., Bouzerzour H., Benmhammed A., 2011. Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. Mémoire de Master en Biologie Université de Saida, Nature & Technologie 05: 99-106.

Mc Donald L.L., Guy R.H., et Speirs R.D., 1970. Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored product insects. Marketing Research report. N° 882. Washington : Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, 183p.

Mc Donough M.R., McNicoll V.J., Schetselaar E.M., et Grover T.W., 2000. Geochronological and kinematic constraints on crustal shortening and escape in a two-sided oblique-slip collisional and magmatic orogen, Paleoproterozoic Taltson magmatic zone, northeastern Alberta. *Canad. J. Earth Sci.*, 37:1549-1573.

Moravvej G., Kalat Z.G. et Heydarzade A., 2012. Contact toxicity of *Lavandula angustifolia* Mill and *Zataria multiflora* Boiss essential oils against *Callosobruchus maculatus* adults (Coleoptera: Bruchidae). XXIV International Congress of Entomology, Daegu, Korea, 2(14): 155-169.

Morsli L., 2010. Adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions des hautes plaines constantinoises. Thèse de doctorat en Biologie végétale et Amélioration des plantes, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 73p.

Moule C., 1971. Céréales. Phytotechnie Spéciale : Bases Scientifiques et Techniques de la Production Des Principales Espèces De Grande Culture En France, LA MAISON RUSTIQUE-PARIS, 94p.

N

NCIBI S., 2020. Potentiel bioinsecticide des huiles essentielles sur deux ravageurs des céréales stockées *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) et *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) et Identification de leurs ennemis naturels. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université de Carthage, Tunis, 245p.

NDIAYE S.D., 1999. Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux, Atelier Autrichien de Développement (EWA), Autriche, 63p.

Nemmar N., 2017. Action de l'huile essentielle de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) sur la longévité des adultes de la bruche de la fève *Bruchus rufimanus* (Coleoptera : Bruchinae) dans la période de diapause. Mémoire de Master en Agronomie, UMMTO, 42p.

Newman C.W., et Newman R.K., 2006. A Brief History of Barley Foods. Newman Associates, Inc. Bozeman, MT, p3-6.

Newton A.C., Flavell A.J., George T.S., Leat P., Mullholland B., Ramsay L., RevoredoGiha C., Russell J., Steffenson B.J., Swanston J.S., Thomas WT.B., Waugh R., White P.J., Bingham I.J., 2011. Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Secur.*, 3:141-178.

Nickolas G.K., Boukouvala M.C., et Nikoletta N., 2020. Effectiveness of eight essential oils against two key stored-product beetles, *Prostephanus truncatus* (Horn) and *Trogoderma granarium* Everts. *Complettez*

Nurul Huda A., et Noor Amni M., 2019. Food preference of *Oryzaephilus surinamensis* (Cpleoptera : Silvanidae) to Different Types of Plant Products. *Malays. J. H. Res.*, 25 (3):116-125.

O

Ogendo J.O. et Kostyukovsky M., Ravid U., Matasyoh J. C., Deng A. L., Omolo E. O., Karuki S. T. et Shaya E., 2008. Bioactivity of *Ocimum gratissimum* L. oil and two of its constituents against five insect pests attacking stored food products. *J. Stored Prod. Res.*, 44:328-334.

Office of the Gene Technology Regulator 2022. The biology of *Hordeum vulgare* (Barley), Australian Government, Department of Health and Ageing Office of the Gene Technology Regulator. 46p.

Ospina LA.A., 2014. Autophagie, sénescence et remobilisation de l'azote chez l'orge. Thèse de doctorat Science du vivant, Université Paris-Sud, France, 164p.

P

Palmer G.H., 1989. Cereals in malting and brewing, *Cereal Science and Technology*. Edition Aberdeen University Press, 242p.

Papachristos D.P. et Stamopoulos D.C., 2002. Toxicity of vapours of three essential oils to the immature stages of *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, 38 :365-373.

Paquereau J., 2013. Au jardin des plantes de la Bible: botanique, symboles et usages. Edition Forêt privée française, Paris, 158p.

Paraginski R.T., Vanier N.L., Berrios J.D.J., Oliveira M., et Elias M.C., 2014. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. J. Stored Prod. Resear, v.59 pp. 209-214 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2014.02.010>.

Petréquin P., et Baudoin D., 1997. Les sites littoraux néolithiques de clairvaux- leslacs (Jura). I problématiques générales. L'exemple de la station III. Edition de la maison des sciences de l'homme, Paris, 508p.

Phillips T.W., Parajulee M.N., et Weaver D.K., 1995. Toxicity of terpenes secreted by the predator *Xylocovis flauipes* (Reuter) to *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Oryzaephilus surinamensis* (L.). J. Stored Prod. Resear., 3:131-138.

Purushothaman B., Prasanna S.R., Purushothaman S., Ranganathan B., Gimbun J., et Shanmugam K., 2018. . A Comprehensive Review on *Ocimum basilicum*. Journal of Natural Remedies. 2018;18(3):71-85.

R

Raja N., Albert S., Ignacimuthu S., et Dorn S., 2001. Effect of plant volatile oils in protecting stored copea *Vigna unguiculata* (L.) Walpers against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleptera : Bruchidae) infestation. J. stored Prod. Resear., 37:125-132.

Rajkumar V., Gunasekaran C., Christy I.K., Dharmaraj J., Chinnaraj P. et Paul C.A., 2019. Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of *Mentha piperita* L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. Pestic. Biochem.Physiol., volume156, 144p. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.02.016>.

Rees D., 2004. Insects of Stored Products. Manson Publishing, London. Sinha, R.N., 1971. Multiplication of some stored-product insects on varieties of wheat, oats, and barley. J. Econ. Entomol., 64:98-102.

Regnault-Roger C., 2005. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement, Biopesticides : une alternative aux pesticides conventionnels? Editions Lavoisier (Cachan), France, 1013p.

Relinger L.M., Zettler J.L., Davis R. et Simonaitis R.A., 1988. Evaluation of pirimiphos methyl as a protectant for export grain. J.Econ. Ent., 81:718-21.

Rivers G., Dahlem A., 2014. The Science of Forensic Entomology, John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK, 382p.

Rozman V., Kalinovic I., et Korunic Z., 2007. Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. J.Stored Prod. Resear., 43: 349-355.

S

Sahitou H.A., Mallah N.M., Kousar T., Kubar W. A., Shah Z.H., Jatoi F.A., et Mangrio W.M., 2017. Life table parameters of saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* L., (1758) on different varieties of stored date palm fruits infested under laboratory conditions. J. Entomol. Zool. Studi., 5(1):95-99.

Salmi R., Ghadbane A., 2020. Etude phytochimique et biologique de l'espèce *Ocimum basilicum* dans la région de M'Sila. Master en Microbiologie Appliquée. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA. Algérie. 27p.

Sendi J.J. et Ebadollahi A., 2013. Biological activities of essential oils on insects. Recent Progress in Medicinal Plants (RPMP) : Essential Oils–II. Editions JN Govil & S Bhattacharya, Studium Press, Houston, TX, USA. pp. 129-150.

Shaaya E., Ravis U., Paster N., Koutjukovsky M., et Plotkin S., 1993. Essential oils and their components as active fumogants against several species of stored product insects and fungi. Acta Horticult., 344:131-137.

Shaaya E., Kostjukovski M., Eiberd J., et Sukprakarn C., 1997. Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored product insects. J. Stored Prod. Res., 33:7-15.

Shephred J.G., Wolfram B., Sohi S.P., et Heal K.V., 2017. Bioavailability of phosphorus, other nutrients and potentially toxic elements from marginal biomass-derived biochar assessed in barley (*Hordeum vulgare*) growth experiments. Sci. Total. Envi., 585:448-457.

Sidy Baba N., 1999. Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux Atelier Autrichien de Développement (EWA), 61p.

Sigaut F., 1978. Les réserves des grains à long terme. Technique de conservation et fabrication sociales dans l'histoire. Ed. Maison de sciences de l'homme. Université de De Till III, France, 343p.

Simon M., Codaccioni P., et Coeurx L., 1989. Identification et classification des variétés d'orge cultivées en France. Edition INRA, France. 16p.

Sinha R.N., et Watters F.L., 1985. Insectes nuisibles des minoteries, des silos-élévateurs, des usines à provendes et méthodes de désinfection. Edition Agriculture, Canada, 311p.

Shipton W.A., Khan T.N., et Boyd W.J.R., 1973. Net blotch of barley. Rev. Plant Pathol., 52:269-290.

Smad J., 2009. Les huiles essentielles, Colloque GP3A, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles et des Sciences des Aliments (LCSNSA), Université de La Réunion.

Smith B.D., 1998. The Emergence of Agriculture. Edition Scientific American Library, New York, 232p.

Smith D. J., and Gedalov Z., 2011. Growth responses of mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*) to interannual and interdecadal climatic variability. Ecology. Inpress. Canadian Journal of Forest Research 31(2):322-332

Société Malteurop, 2000. Elaboration des malts utilisés en brasserie, Techniques de l'Ingénieur. F6200.

Soleymani A., 2017. Light response of barley (*Hordeum vulgare* L.) and corn (*Zea mays* L.) as affected by drought stress, plant genotype and N fertilization. Biocatal. Agricul. Biotechnol., 11:1-8.

Soltner D., 2005. Les grandes productions végétales. Edition Collection sciences et techniques agricoles, France, 472p.

Soltner D., 1990. Les grandes productions végétales. Edition Collection sciences et techniques agricoles, France, 464 p.

Stanca A.M., Gianinetti A., Rizza F., and Terzi V., 2016. Barley : An overview of a versatile Cereal Grain with Many Food and Feed Uses. Encyclopedia Food Grains., 147-152.

Steffan J. R., 1978. Description et biologie des insectes in Scotti G., Les insectes et les acariens des céréales stockées. AFNOR et ITFC, Paris, 238p.

T

Tafrihi M., Imran M., Tufail T., Gondal, T. A., Caruso G., Sharma S., et Pezzani R., 2021. Les merveilleuses activités du genre *Mentha* ; pas seulement des propriétés antioxydantes. *Molecules*, 26 : 1118. <https://doi.org/10.3390/molecules2604118>.

Taleb-Taoudert K., 2015. Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Evaluation de leurs effets sur la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, U.M.M.T.O., Algérie, 206p.

Throne J.E., Doehlert D.C., McMullen M.S., 2003. Susceptibility of commercial oat cultivars to *Cryptolestes pusillus* and *Oryzaephilus surinamensis*. *J. Stored Prod. Res.*, 39:213-223.

Tirakmet S., 2015. Etude comparative entre l'activité insecticide des huiles essentielles extraites à partir de deux espèces de la famille des Astéracées récoltées dans la région de Makouda et l'activité insecticide d'un pesticide organique de synthèse sur le ravageur secondaire du blé tendre stocké *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae). Mémoire de Master en Agronomie, UMMTO., Algérie, 76p.

U

Usabaliev B., Brantestam A.K., Salomon B., Garkava-Gustavson L., 2013. Genetic diversity in farmer grown barley material from Kyrgyzstan. *Genetic Resour. Crop Evol.*, 60:1843-1858. Doi: 10.1007/s10722-013-9959-2.

V

Van Oosterom E.J., Acevedo E., 1992. Adaptation of barley (*Hordeum vulgare* L.) to harsh mediterranean environments. *Euphytica* 62, Kluwer Academic publishers (Netherlands). 38p.

Von Bothmer R., Yen C., et Yang J.L., 1990. Does wild, six-rowed barley, *Hordeum agriocrithon* really exist. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 77:17-19.

W

White ND.G., et Sinha R.N., 1981. Energy budget for *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Cucujidae) feeding on rolled oats. *Environ. Entomol.*, 10: 320-326.

White ND.G., et J. G., Leesch. 1996. Chemical control, In B. Subramanyam and D. W. Hagstrum [eds.], Integrated management of insects in stored products. Marcel Dekker, New York. 330p.

Wiebe G.A., 1979. Research agronomist. Science and Education Administration, Beltsville, Md. barley: origin, botany, culture, winter hardiness, genetics, utilization, pests. 1-9p.

Z

Zohary D. et Hopf M., 1994. Domestication of plants in the Old world, 2ème Edition, Clarendon Press, Oxford, 279p.

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer la toxicité par inhalation et par répulsion de la combinaison de trois huiles essentielles (*O. basilicum*, *M. piperita* et *L. spica*), à l'égard des différents stades de développement d'*O. surinamensis* (adultes, larves âgées, jeunes larves et œufs) dans les conditions de laboratoire. Nos résultats indiquent que l'association des trois huiles essentielles testée exerce une toxicité importante par inhalation sur les différents stades de développement de ce ravageur. Le mélange de trois huiles essentielles a causé une mortalité de 100% des adultes, à la dose 10.5µl, après 48h d'exposition et une létalité totale des larves âgées, à la dose 6µl, après 96h d'exposition. Chez les jeunes larves 100% de mortalité est enregistrée à la dose de 4.5 µl, après 24h d'exposition et pour les œufs une mortalité totale à la dose de 3µl, après 72h d'exposition. Ces tests font ressortir des DL₅₀ de l'ordre de 6.92µl chez les adultes, 3.06µl pour les larves âgées, 1.96µl pour les jeunes larves et enfin 2.63µl pour les œufs ; ces dernières étant les plus sensibles. L'association de trois huiles manifeste aussi une activité répulsive à l'égard des adultes d'*O. surinamensis*, avec une valeur moyenne du pourcentage de répulsion de 75.63%. Par conséquent, l'utilisation de ces huiles naturelles comme bioinsecticides peut s'avérer intéressante pour limiter les nuisances des produits chimiques tout en réduisant les pertes causées par ces ravageurs dans les stocks.

Mots-clés : *Oryzaephilus surinamensis*, huiles essentielles, inhalation, toxicité, répulsion, bioinsecticide, DL₅₀.

Abstract

This study aims to evaluate the toxicity by inhalation and repulsion of the combination of three essential oils against different development stages of *O. surinamensis* (adults, old larvae, young larvae and eggs) under laboratory conditions. Our results indicate that the combination of the three oils tested exerts significant toxicity by inhalation on the different development stages of the pest. The essential oils mixture caused 100% mortality of adults, at 10.5µl dose after 48h of exposure and total lethality of the old larvae after 96h exposure at the dose of 6µl. The dose of 4.5µl caused 100% of mortality of the young larvae after 24h of exposure, while the dose of 3µl killed totally the eggs after 72 hours of exposure. These tests showed significant DL₅₀ values about 6.92µl for adults, 3.06µl for old larvae, 1.96µl for young larvae and finally 2.63µl for eggs; the latter being the most sensitive. The combination of three oils also showed a repellent activity towards *O. surinamensis* adults, with a mean value of 75.63% of repulsion. Therefore, the use of these natural oils as bioinsecticides could be interesting to limit the harmful of chemical products in order to reduce the losses caused by these pests in the stocks.

Keywords: *Oryzaephilus surinamensis*, essential oils, inhalation, toxicity, repellency, bioinsecticide, LD₅₀.