

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département des Sciences biologiques

Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences biologiques  
Spécialité : Biologie et contrôle des populations d'insectes

*Thème*

**Biologie et sensibilité du silvain dentelé  
*Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera :  
Silvanidae) à l'égard de l'association de trois  
huiles essentielles**

Présenté devant le jury composé de :

Président            Mme. TALEB-TOUDERT K.  
Promoteur            M. KELLOUCHE A.  
Co-promotrice        Melle. LAOUDI T.  
Examineur            Mme. GOUCEM-KHELFANE K.  
Examineur            Mme. AIT AIDER F.

MCA UMMTO  
Professeur Réalisé par : UMMTO  
Doctorante Melle. HAMMOUTENE L. Lilia  
MCA UMMTO  
Melle. BEN OUARAB Meriem  
MCB UMMTO

## **Remerciements**

*Nous tenons à témoigner nos remerciements les plus vifs :*

*A notre promoteur **Mr KELLOUCHE A.** Professeur à l'UMMTO, d'avoir accepté et assuré notre encadrement, et pour ses conseils de rédaction qui ont été très précieux.*

*Tous nos remerciements et reconnaissance pour ses efforts et sa disponibilité, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde et sincère gratitude.*

*A notre Co-promotrice, **Melle LAOUDI T.** Doctorante à UMMTO, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Elle nous a beaucoup appris sur les défis à relever dans le cadre de notre recherche. Elle a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, tout en nous accordant sa confiance et une large indépendance dans l'exécution de notre mission.*

*A toute l'équipe pédagogique de l'UMMTO et les intervenant professionnels responsables de notre formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.*

*Aux membres du jury qui nous feront l'honneur avec une grande amabilité de siéger parmi notre jury et de juger ce modeste travail :*

*✚ **Mme TALEB-TOUDERT** pour avoir accepté d'évaluer et de présider le jury*

*✚ **Mme AIT AIDER** et **Mme GOUCEM** pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Et pour n'oublier personne, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*



## *Dédicaces*

*Je commence par remercier **Dieu** de m'avoir donné le courage et la patience afin de réaliser ce modeste travail que je dédie :*

*Aux êtres les plus chers à mon cœur, mon père « **Mohammed** » et ma mère « **Fariza** » qui sont la source de tous mes succès et mes réussites. Ils étaient toujours là pour m'encourager, me soutenir et m'épauler, ils ont fait de mes soucis les leurs. Je ne saurais les remercier assez, leurs exprimer mon affection, ma reconnaissance et mon amour, que le clément leur accorde sa grâce.*

*A mon cher frère « **Salim** », qui m'a toujours encouragé à essayer de ne pas désespérer et de croire en moi. Je manifeste une pensée pleine de reconnaissance et d'amour pour toi, je lui souhaite une fleurissante vie.*

*A mes deux grand-mères, mes deux grand-pères à titre posthume et sans oublier ma chère tante « **Saliha HAMMOUTENE** » pour leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel.*

*A mon alliée et binôme « **Meriem BEN OUARAB** » avec qui j'ai passé des moments mémorables. Je la remercie pour sa loyauté, pour son soutien, pour son affection et pour ses encouragements.*

*A mon Promoteur Professeur « **KELLOUCHE** ».*

*A ma Co-promotrice Melle « **LAUDI** ».*

*Aux familles « **HAMMOUTENE** » et « **AZOUAOU** » ainsi que toute personne qui a été là pour moi tout au long de mon parcours.*



## Dédicace

*Je remercie Allah qui m'a donné*

*la santé, la patience et la volonté pour arriver  
à ce stade et réaliser ce travail.*

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie  
que je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers :  
mon père « **Lekrim** » et ma mère « **Farida** » pour leur amour,  
leur confiance, leurs encouragements, leurs conseils judicieux et leurs  
sacrifices pour ma réussite.*

*Que Dieu leur prête bonheur, santé et longue vie.*

*Merci d'être à mes côtés et d'avoir fait de moi la princesse  
de votre royaume.*

*A celui qui a coloré ma vie, mon adorable et mon cher frère « **Said**  
».*

*A mes grands-parents paternelle et maternelle, à mes oncles, mes tantes,  
mes cousins et cousines.*

*A ma chandelle avec qui j'ai passé des moments inoubliables,  
ma chère amie et binôme « **Lydia HAMMOUTENE** ».*

*A notre promoteur Professeur « **KELLOUCHE** ».*

*A notre co promotrice Melle « **LAOUDI** ».*

*A toutes les personnes que je n'ai pas cité et qui m'ont aidé de près  
ou  
de loin, je vous remercie.*

## Liste des abréviations

**ANOVA** : Analyse 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).

**FOASTAT** : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations unies pour l'Agriculture et l'Alimentation Statistique).

**HR** : Humidité Relative.

**HEs** : Huiles essentielles.

**IGRs** : Insectes Growth Regulators (Régulateur de Croissance des Insectes).

**Mt** : Millions de tonne.

**PSEMRVC** : Production, Sauvegarde des Espèces Menacées et des Récoltes, influence des Variations Climatiques.

**qx** : quintaux.

## Liste des tableaux

- Tableau 1** : Composition nutritionnelle des céréales (pour 100g de grains) (FAO, 2020)..3
- Tableau 2** : Production des céréales en Algérie (en quintaux) durant différentes années (DSA, 2022).....5
- Tableau 3** : Evaluation de quelques paramètres biologiques d'*O. surinamensis* (nombre adultes présents et des œufs pondus, taux d'éclosion des œufs, taux d'émergence des adultes et durée totale de développement) selon différents substrats (orge, semoule, riz, chocolat, dattes, gâteaux, pâtes et avoine).....42
- Tableau 4** : Résultats de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre nombre moyen d'adultes d'*O. surinamensis* présent sur chaque substrat.....43
- Tableau 5** : Résultats de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre nombre moyen d'œufs pondus par *O. surinamensis* sur chaque substrat. ...43
- Tableau 6** : Résultats de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre taux d'éclosion des œufs d'*O. surinamensis* sur chaque substrat .....44
- Tableau 7** : Résultats de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre taux d'émergence des adultes sur chaque substrat.....45
- Tableau 8** : Durée (en jours) des différentes phases du cycle de vie d'*O. surinamensis* sur deux substrats alimentaires, la poudre de blé et la farine d'orge.....47
- Tableau 9** : 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'*O. surinamensis*.....50
- Tableau 10** : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses du traitement par inhalation sur la mortalité des adultes d'*O. surinamensis*.....50
- Tableau 11** : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet de la durée d'exposition au traitement par inhalation sur la mortalité des adultes d'*O. surinamensis*.....51
- 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 par inhalation, de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des nymphes d'*O. surinamensis*.....52
- Tableau 13** : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet dose du traitement par inhalation sur la mortalité des nymphes d'*O. surinamensis*.....52
- 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 nymphes d'*O.*

*surinamensis*.....52

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Evolution de la production mondiale (en millions de tonnes) des principales céréales durant les six dernières années (FAO, 2022).....	4
<b>Figure 2 :</b> Morphologie du blé tendre (Soltner, 1998).....	7
<b>Figure 3 :</b> Structure de grain du blé tendre (Abecassis, 2015).....	8
<b>Figure 4 :</b> Morphologie de l'orge (Anonyme, 2009).....	10
<b>Figure 5 :</b> Structure du grain d'orge (Soltner, 1998).....	11
<b>Figure 6 :</b> <i>Sitophilus granarius</i> (G×80) (Originale, 2022).....	13
<b>Figure 7 :</b> <i>Rhizopertha dominica</i> (G×80) (Originale, 2022).....	13
<b>Figure 8 :</b> <i>Callosobruchus maculatus</i> (G×80) (Originale, 2022).....	14
<b>Figure 9 :</b> <i>Tribolium castaneum</i> (G×80) (Originale, 2022).....	14
<b>Figure 10 :</b> <i>Stegobium paniceum</i> (G×80) (Originale, 2022).....	15
<b>Figure 11 :</b> <i>Oryzaephilus surinamensis</i> (G×80) (Originale, 2022).....	15
<b>Figure 12 :</b> Différents stades de développement d' <i>O. surinamensis</i> (a : Œuf, b : Larve, c : Nympe, d : Adulte) (G×40) (Originale, 2022).....	17
<b>Figure 13 :</b> Œuf d' <i>O. surinamensis</i> (G×80) (Originale, 2022).....	17
<b>Figure 14 :</b> Larve d' <i>O. surinamensis</i> (G×80) (Originale, 2022).....	18
<b>Figure 15 :</b> Nympe d' <i>O. surinamensis</i> face ventrale (G×80) (Originale, 2022).....	19
<b>Figure 16 :</b> Adulte d' <i>O. surinamensis</i> (a) face dorsale et (b) face ventrale (G×80) (Originale, 2022).....	20
<b>Figure 17 :</b> Patte postérieure du mâle d' <i>O. surinamensis</i> (G×40) (Originale, 2022).....	20
<b>Figure 18 :</b> Semoule souillée par <i>O. surinamensis</i> (Originale, 2022).....	22
<b>Figure 19 :</b> Parasitoïde des ravageurs des grains stockés (G×40) (Originale, 2022).....	22
<b>Figure 20 :</b> Matériel expérimental utilisé (1 : Etuve obscure, 2 : Loupe binoculaire, 3 : Tube à essai, 4 : Bocal hermétique en verre, 5 : Boites de Pétri en verre, 6 : Balance électronique, 7 : Micropipette (0.5-10µl), 8 : Papier filtre, 9 : Tamis, 10 : Autres	

accessoires) (Originales, 2022).....29

**Figure 21** : Différents substrats alimentaires utilisés pour, (a) le test du choix multiple, (b) les tests de toxicité et (c) les cycles biologiques (Originale, 2022).....30

**Figure 22** : Partie aérienne d'*Ocimum basilicum* (Originale, 2022).....32

**Figure 23** : Partie aérienne de *Lavandula spica* (Originale, 2022).....33

**Figure 24** : Partie aérienne de *Mentha piperita* (Originale, 2022).....35

**Figure 25** : Elevage de masse d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).....37

**Figure 26** : Dispositif expérimental utilisé dans les essais au choix multiple (**1** : semoule ; **2** : avoine ; **3** : orge ; **4** : pâtes ; **5** : chocolat ; **6** : riz ; **7** : dattes ; **8** : gâteaux ; **ac** : arène centrale) (Originale, 2022).....38

**Figure 27** : Dispositif expérimental pour l'étude du cycle de développement d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).....39

**Figure 28** : Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des adultes d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).....40

**Figure 29** : Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des nymphes d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).....41

**Figure 30** : Cycle de développement d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).....46

**Figure 31** : Cercles relativistes des taux de mortalité des différents stades du cycle de vie d'*O. surinamensis*, (a) sur la poudre de blé tendre et (b) sur la farine d'orge.....48

**Figure 32** : Taux moyen de mortalité (%) (moyenne  $\pm$  ET) des adultes d'*O. surinamensis* traités par l'association de trois huiles essentielles de basilic, de lavande aspic et de menthe poivrée en fonction des doses et de la durée d'exposition.....49

**Figure 33** : Taux moyen de mortalité (%) (moyenne  $\pm$  ET) des nymphes d'*O. surinamensis* traités par l'association de trois huiles essentielles en fonction des doses et de la durée d'exposition.....51

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

## Sommaire

**Introduction**.....1

### *Chapitre I : Présentation des plantes hôtes*

**1.** Historique et généralités sur les céréales.....3

**2.** Importance économique des céréales.....3

**2.1.** Dans le monde.....3

**2.1.** En Algérie.....4

**3.** Blé tendre.....5

**3.1.** Généralités.....5

**3.2.** Origine et répartition géographique.....5

**3.3.** Classification.....5

**3.4.** Description.....6

**3.4.1.** Appareil morphologique.....6

**3.4.2.** Appareil reproducteur.....6

**3.5.** Histologie et structure du grain de blé.....7

**3.6.** Composition chimique.....8

**4.** Orge.....9

**4.1.** Généralités.....9

**4.2.** Origine et répartition géographique.....9

**4.3.** Classification.....9

**4.4.** Description.....10

**4.5.** Histologie et structure du grain d'orge.....11

**4.6.** Composition chimique.....11

**5.** Maladies et ravageurs.....12

**5.1.** Maladies.....12

**5.2.** Ravageurs.....12

**5.2.1.** Ravageurs primaires.....12

**5.2.2.** Ravageurs secondaires.....14

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

1. Généralités sur l'insecte.....	16
2. Répartition géographique et origine.....	16
3. Classification.....	16
4. Description et développement.....	17
4.1. Œuf.....	17
4.2. Larve.....	18
4.3. Nymphe.....	18
4.4. Adulte.....	19
5. Biologie.....	21
6. Dégâts.....	21
7. Ennemis naturels.....	22
8. Moyens de lutte.....	23
8.1. Lutte préventive.....	23
8.2. Lutte curative.....	23
8.2.1. Lutte physique.....	23
8.2.2. Lutte chimique.....	24
8.2.2.1. Traitement par contact.....	24
8.2.2.2. Traitement par fumigation.....	24
8.2.3. Lutte biotechnologie.....	25
8.2.3.1. Lutte par phéromones.....	25
8.2.3.2. Lutte par utilisation des régulateurs de croissance.....	25
8.2.4. Lutte biologique.....	25
8.2.4.1. Extraits aqueux.....	25
8.2.4.2. Extraits organiques.....	25
8.2.4.3. Poudres de plantes.....	26
8.2.4.4. Huiles végétales.....	26
8.2.4.5. Huiles essentielles.....	26

### *Chapitre III : Matériel et méthodes*

1. Matériel.....	28
1.1. Matériel de laboratoire.....	28
1.2. Matériel biologique.....	30
1.2.1. Insecte.....	30
1.3. Matériel végétal.....	30
1.3.1. Substrat.....	30
1.3.2. Huiles essentielles.....	31
1.3.2.1. Basilic tropical.....	31
1.3.2.2. Lavande aspic.....	33
1.3.2.3. Menthe poivrée.....	34
2. Méthodes.....	36
2.1. Elevage de masse.....	36
2.2. Test à choix multiple.....	37
2.3. Cycle de développement.....	38
2.4. Activité insecticide de la combinaison des huiles essentielles de basilic tropical, de lavande et de menthe.....	40
2.4.1. Test par inhalation à l'égard des adultes.....	40
2.4.2. Test par inhalation vis-à-vis des nymphes.....	40
3. Analyse statistique.....	41

## *Chapitre VI : Résultats et discussions*

1. Résultats.....	42
1.1. Test à choix multiple.....	42
1.1.1. Nombre moyen d'adultes présents sur chaque substrat.....	42
1.1.2. Nombre moyen d'œufs pondus sur les différents substrats.....	43
1.1.3. Taux d'éclosion des œufs.....	44
1.1.4. Taux d'émergence des adultes.....	44
1.1.5. Durée totale de développement.....	45
1.2. Cycle de développement.....	45
1.2.1. Durées du développement.....	46
1.2.2. Taux de mortalité.....	47
1.3. Evaluation de la toxicité par inhalation de l'association de trois huiles essentielles (basilic tropical, lavande aspic et menthe poivrée).....	49
1.3.1. Toxicité sur les adultes.....	49

<b>1.3.2.</b> Toxicité sur les nymphes.....	51
<b>2.</b> Discussions.....	53
<b>2.1.</b> Test à choix multiple.....	53
<b>2.2.</b> Cycle de développement.....	55
<b>2.3.</b> Evaluation de la toxicité par inhalation du traitement sur les adultes et les nymphes.....	56
<b>Conclusion</b> .....	59
<b>Références bibliographiques</b> .....	61

# *Introduction*

Les céréales servent d'aliment de base pour une grande proportion de la population mondiale, elles tiennent la première place par l'occupation de 70% des terres agricoles (FOA STAT, 2021). D'après la FAO (2022), la production mondiale des céréales a atteint 2 799 millions de tonnes en 2021.

Elles occupent une place privilégiée dans la plupart des pays méditerranéens. En Algérie, les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire. Ce secteur se situe au premier ordre des priorités économiques et sociales que l'Algérie a élaboré depuis son indépendance, ceci est dû au rôle que jouent les céréales en tant que produits de première nécessité (Clerget, 2011 ; Henrotte, 2016).

Selon la Direction des Services Agricoles (2022), en Algérie, la production de 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.

Malheureusement, au cours du stockage, les céréales subissent des altérations diverses, d'ordre biologique, biotique et abiotique (Keskin et Ozkaya, 2015), telles que les attaques des rongeurs, des oiseaux, des acariens, des champignons et des insectes qui sont les principaux responsables des pertes de ces denrées. Les dégâts causés par les insectes sont considérables et peuvent atteindre jusqu'à 10% des pertes à l'échelle mondiale (De Carvalho et al., 2013), et plus de 50% dans les pays en voie de développement (Brader et al., 2002).

Les insectes d'entrepôt sont classés en deux catégories : les ravageurs primaires capables d'entamer des grains non endommagés et de les infester, c'est le cas du charançon des grains *Sitophilus oryzae* (Coleoptera : Curculionidae), du petit capucin des grains *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera : Bostrychidae) et ravageurs secondaires qui s'établissent dans les grains déjà endommagés comme le tribolium brun de la farine *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae), la pyrale indienne de la farine *Plodia interpunctella* (Lepidoptera : Pyralidae) et le silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera : Silvanidae).

Le silvain dentelé est un insecte cosmopolite des grains qui se développe sur les produits de consommation d'origine végétale, particulièrement les céréales et leurs dérivés, les bonbons, les fruits secs et toutes sortes de grains concassés (Steffan, 1978). Les dommages causés par ce ravageur se traduisent par la diminution du poids et de la qualité

des produits (Dabrie et al., 2008) ainsi que la perte de leur valeur commerciale (Dal et al., 2001).

Face à la menace que constituent les insectes ravageurs, il existe plusieurs méthodes permettant de maintenir leurs populations à un niveau assez bas pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables. La plus utilisée, efficace et rapide, est la lutte chimique. Toutefois, celle-ci présente beaucoup d'inconvénients, parmi lesquels, nous pouvons citer l'accoutumance des insectes à certaines molécules chimiques et par conséquent la sélection de souches résistantes (Benhalima et al., 2004), les intoxications, la pollution de l'environnement, les désordres écologiques et la toxicité pour les organismes non-cibles, (Camaroti et al., 2018). En raison de ces nombreux inconvénients, des recherches s'orientent vers l'utilisation des plantes aromatiques, riches en huiles essentielles, qui agissent comme des biopesticides contre de nombreux ravageurs des denrées stockées, comme ceux de Kellouche et al. (2010) sur *C. maculatus* ; Bounoua-Fraoucene et al. (2019) sur *S. oryzae* ; Ebrahimifar et al. (2020) sur *T. castaneum* et *R. dominica* ; Kheloul et al. (2021) sur *T. confusum* et Taleb-Toudert et Kellouche (2021) sur *R. dominica*.

C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressées d'abord, aux préférences alimentaires d'*O. surinamensis*, puis à l'étude de son cycle biologique sur deux substrats et enfin à l'évaluation de l'activité insecticide de l'association de trois huiles essentielles : le basilic tropical, *Ocimum basilicum*, la lavande aspic, *Lavandula spica* et la menthe poivrée, *Mentha piperita*, par inhalation, sur les adultes et les nymphes de ce coléoptère.

Le travail est organisé en quatre chapitres dont :

- Le premier comprend une revue bibliographique portant sur la présentation des plantes hôtes.
- Le deuxième comporte une revue bibliographique sur l'insecte étudié *O. surinamensis*.
- Le troisième chapitre renferme la partie expérimentale dans laquelle nous avons présenté le matériel utilisé et les méthodes adoptées.
- Le quatrième chapitre englobe nos résultats et discussions.

- Nous terminons ce travail par une conclusion générale et quelques perspectives de recherches.

*Chapitre I*  
*Présentation des*  
*plantes hôtes*



## 1. Historique et généralités sur les céréales

Le mot « céréales » provient du latin « cerealis » qui fait référence à Cérès, les Romains nommaient ainsi les cultures d'orge et de blé. Ce mot est utilisé pour désigner les graminées cultivées pour la production de leur grain.

Les céréales furent, avec les légumes et les fruits, les aliments de base de tous les peuples de l'antiquité et beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins (Rastoin et Ben abderrazik, 2014 ; Rosentrater et Evers, 2018 ; Anonyme, 2020).

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire à l'échelle mondiale (Clerget, 2011 ; Henrotte, 2016).

Elles sont considérées comme des produits d'intérêt nutritionnel humaine et animale par leur valeur énergétique, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75 à 80 % de l'apport protéique de la ration alimentaire.

Selon la FAO (2020), la composition nutritionnelle moyenne des différentes espèces céréalières, est riche en protéines et en lipides. Le blé et l'orge sont plus riches en calories, fibres et protéines par rapport au riz (Tableau 1).

**Tableau 1 :** Composition nutritionnelle des céréales (pour 100g de grains) (FAO, 2020).

Composants	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Fibres Diététiques (g)	Calories (kcal)
Blé	10.7	1.99	75.4	12.7	340
Orge	9.91	1.91	77.72	15.6	352
Riz	2.7	0.3	72.70	0.4	130

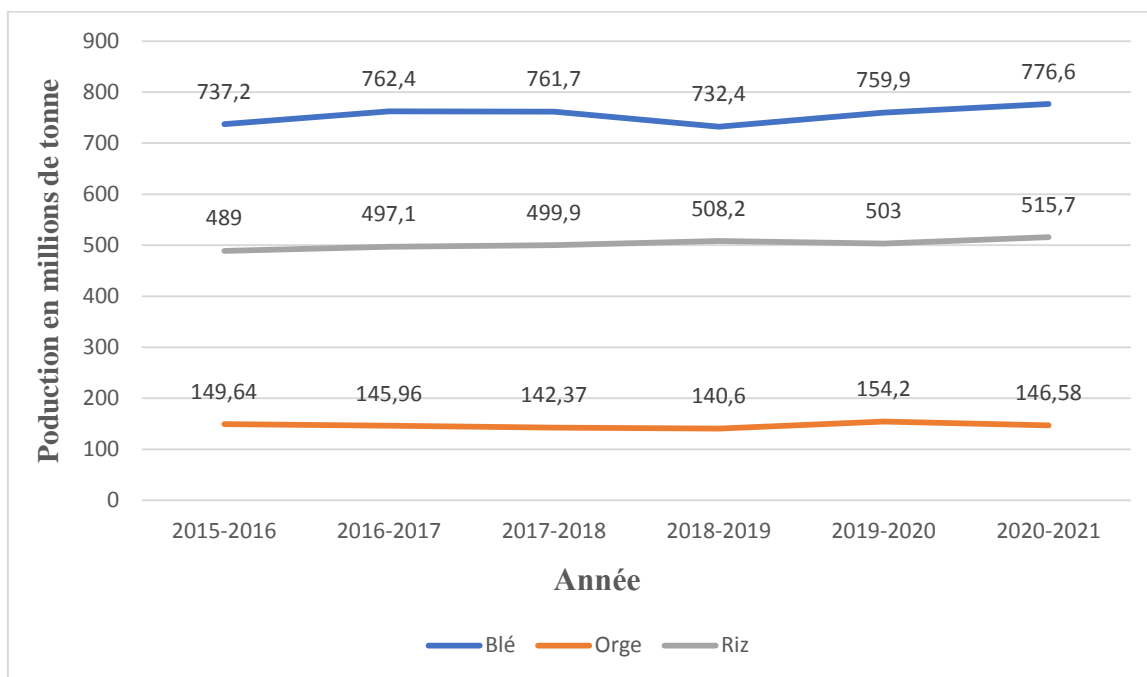
## 2. Importance économique des céréales

### 2.1. Dans le monde

Selon la FAO (2022), la production des céréales est très variable d'une année à une autre (Fig. 1).

La culture des céréales représente un secteur économique important, elle est liée aux facteurs climatiques, édaphiques, à l'évolution des superficies, des productions et par conséquent des rendements obtenus. D'après la même source, le blé est la céréale la plus cultivée dans le monde avec une production de 776.6 Mt estimée pour la saison agricole

2020-2021 ; le riz vient en deuxième position avec une production de 515.7 Mt, l'orge suit à la troisième place avec une production de 146.58 Mt.



**Figure 1** : Evolution de la production mondiale (en millions de tonnes) des principales céréales durant les six dernières années (FAO, 2022).

## 2.2. En Algérie

Selon la DSA (2022), la production des céréales en Algérie est très variable d'une année à une autre sous l'effet des différents facteurs, tels que le stress hydrique, la sécheresse, le type et la structure du sol, le pH, la salinité et la pression atmosphérique.

En Algérie la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides (Abdellaoui et al., 2010).

Le blé dur occupe une place privilégiée, sa production a augmenté durant les cinq dernières années, elle a atteint le pic en 2016-2017 avec 158 851 qx (Tableau 2), le blé tendre se positionne en 2<sup>ème</sup> place avec une production qui a atteint son pic en 2020-2021 avec 15 876 qx, l'orge vient en 3<sup>ème</sup> position avec des production stables, en dernière place, on trouve l'avoine avec une production qui diminue depuis 2017-2018 (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Production des céréales en Algérie (en quintaux) durant différentes années (DSA, 2022).

	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
<b>Blé tendre</b>	2 819	1 532	1 135	2 453	9 994	15 876
<b>Blé dur</b>	104 281	158 851	132 721	134 272	147 615	148 062
<b>Orge</b>	5 104	5 027	5 565	5 237	5 981	5 193
<b>Avoine</b>	1 556	1 568	917	198	280	-

### 3. Blé tendre

#### 3.1. Généralités









Le blé est la céréale la plus cultivée au monde et la principale ressource alimentaire de l'humanité, c'est une plante herbacée monocotylédone annuelle qui s'adapte à des sols et des climats variés, le grain est un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse (Codou-David, 2018).

#### 3.2. Origine et répartition géographique

Le blé, est originaire du Moyen-Orient, il est davantage cultivé dans les hautes latitudes, France, Canada et Ukraine, mais on le trouve aussi dans certains pays du Sud avec des variétés plus résistantes à la sécheresse. Au début du Néolithique (environ 10 000 ans), la plus ancienne culture semble être le blé dur dans le Croissant Fertile de la Mésopotamie. Le blé tendre est apparu entre 5000 et 6000 ans avant J-C dans le Croissant Fertile puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe. C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe (Belagrouz, 2013 ; Codou-David, 2018).

#### 3.3. Classification

Selon Doumandji et al. (2003), le blé tendre appartient à la classification suivante :

-  **Règne :** Végétal
-  **Embranchement :** Stomatifères
-  **Sous-embranchement :** Angiospermes
-  **Classe :** Monocotylédones
-  **Ordre :** Poales
-  **Famille :** Graminacées
-  **Genre :** *Triticum*
-  **Espèce :** *Triticum aestivum* Linnaeus (1798)

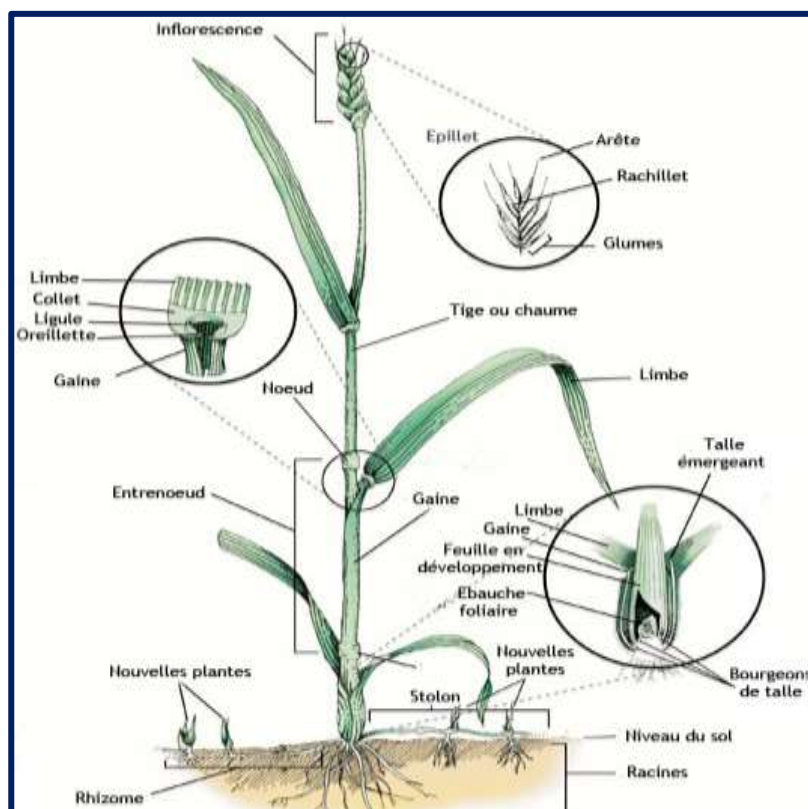
### 3.4. Description

#### 3.4.1. Appareil morphologique

Les racines de blé sont de type fasciculé peu développé dont on peut distinguer des racines primaires qui assurent la croissance de la plantule jusqu'au tallage et des racines secondaires ou adventices qui sont émises à partir du plateau de tallage (Fig. 2) (Codou-David, 2018). Les tiges sont des chaumes cylindriques, souvent creux et interrompus par des nœuds où émergent des longues feuilles, elles prennent leurs caractères au début de la montaison, elles portent 7 à 8 feuilles et des bourgeons auxiliaires. Les feuilles sont composées d'une gaine glabre ou pubescente en surface, munie d'auricules falciformes, d'une ligule membraneuse de 1 mm de long, et d'un limbe plat, pubescent en surface, de 10 à 60 cm de long sur 10 à 15 mm de large (Codou-David, 2018).

#### 3.4.2. Appareil reproducteur

Les fleurs sont groupées en inflorescence ou épillet qui s'attachent à l'axe ou rachis de l'épi, portant de 15 à 25 épillets par épis et comportant de 3 à 5 fleurs, chaque fleur est enveloppée de deux glumelles l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur ; chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux qui peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse (Codou-David, 2018). Les caryopses sont des fruits secs, contenant une seule graine étroite, allongée, à sillon profond, à brosse peu développé et à texture souvent vitreuse (Codou-David, 2018).



**Figure 2 :** Morphologie du blé tendre (Soltner, 1998).

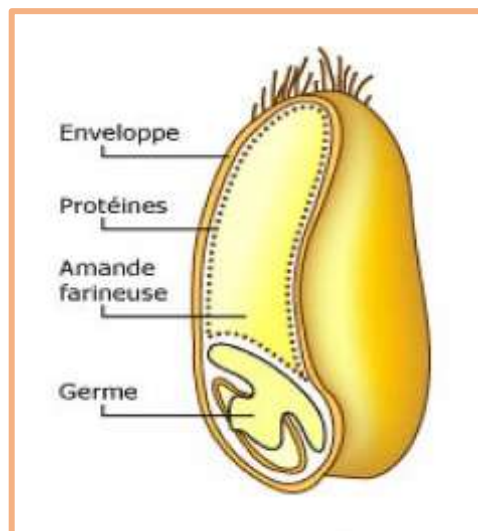
### 3.5. Histologie et structure du grain de blé

Selon Kara (2015), le grain de blé est constitué de trois parties essentielles : l'enveloppe (péricarpe), l'amande et le germe (Fig. 3).

Le péricarpe comprend trois assises (l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe). Il constitue 13% à 17% du poids total du grain sec. Il est riche en cellulose, sels minéraux, acide phytique (calcium + fer) et vitamines (B1, B2 et B6).

L'albumen est la partie centrale du grain et représente 84% du poids total du grain. C'est un tissu de stockage qui fournit au germe les réserves nécessaires pour sa croissance. Il est constitué d'une couche à aleurone (80 à 85% du grain) et de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules allongées remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois cellulosiques sont peu visibles).

Le germe occupe 3% du poids total, il comprend deux parties, la plantule et les cotylédons qui contiennent l'essentiel des matières grasses, sucres et vitamines (B et E).



**Figure 3 :** Structure de grain du blé tendre (Abecassis, 2015).

### 3.6. Composition chimique

Selon Kara (2015) et Charmet et al. (2017), le grain de blé est constitué majoritairement de glucides assimilables tel que l'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain. Les protéines représentent environ 12%, elles sont présentes sous deux types : Les protéines solubles « albumines et globulines » et les protéines insolubles « prolamines et glutélines ». En revanche, le blé est pauvre en lipides qui représentent uniquement 2%, ils sont essentiellement localisés dans le germe et l'assise protéique. Ils se répartissent en lipides apolaires (lipides de réserve du grain) et en lipides polaires (lipides de structure du grain). Le blé contient également des minéraux, des enzymes et des vitamines en faible quantité.

## **4. Orge**

### **4.1. Généralités**

L'orge est l'une des céréales les plus importantes dans le monde, c'est l'une des premières cultures domestiquées utilisée pendant des siècles pour l'alimentation humaine et animale (Aidani, 2015 ; Andrew et al., 2017 ; Sriman et al., 2018).

L'orge est aussi une culture qui s'adapte bien à des environnements différents, elle est également une plante modèle bien connue et utilisée pour développer des méthodologies de sélection végétale, génétique et cytogénétique (Liliana, 2014 ; Emmanuel et al., 2017).

### **4.2. Origine et répartition géographique**

Le centre d'origine de l'orge se trouve dans le Moyen-Orient. Recueillie un peu partout à l'état sauvage, l'orge semble avoir été cultivée depuis au moins 8000 ans. Sa distribution géographique couvre l'Europe, l'Afrique du Nord, L'Ethiopie, l'Asie, pour atteindre la

Corée et le Japon. Cette distribution, très large, s'accompagne d'une diversité morphologique et adaptative très importante (Shepherd et al., 2017).

### 4.3. Classification

Selon Jestin (1992), l'orge cultivée appartient à la classification suivante :

- + Règne : Végétal
- + Embranchement : Spermaphytes
- + Sous-Embranchement : Angiospermes
- + Classe : Monocotylédones
- + Ordre : Glumiflorales
- + Famille : Poacées
- + Sous-Famille : Festucoidées
- + Genre : *Hordeum*
- + Espèce : *Hordeum vulgare*

### 4.4. Description

Selon Holloway et Jeffree (2017), l'orge est une plante annuelle herbacée qui peut atteindre 120 centimètres de hauteur à pleine maturité.

Les tiges sont recouvertes de feuilles lancéolées et suppléantes, constituées chacune par une lame et des oreillettes (au niveau des expansions du limbe) assez longues. Les feuilles sont glabres et particulièrement développées et ont tendance à se chevaucher les unes sur les autres (Fig. 4). La face inférieure de la feuille apparaît lisse, à la différence de la face supérieure, caractérisée par de riches rainures de cellules hygrosopiques. Les épillets sont regroupés par trois dans chaque creux de l'axe de l'épi et serrés avec une glumelle inférieure longuement aristée. Les fleurs présentent trois étamines et les stigmates sont directement portés par le carpelle. Les fruits ou grains (ou caryopses) sont ovales, poilus au

sommet, adhérents aux glumelles à la base. Ils sont de couleur généralement jaunâtre qui peut varier selon les variétés du blanc, du rouge et/ou du noir.



**Figure 4 :** Morphologie de l'orge (Anonyme, 2009).

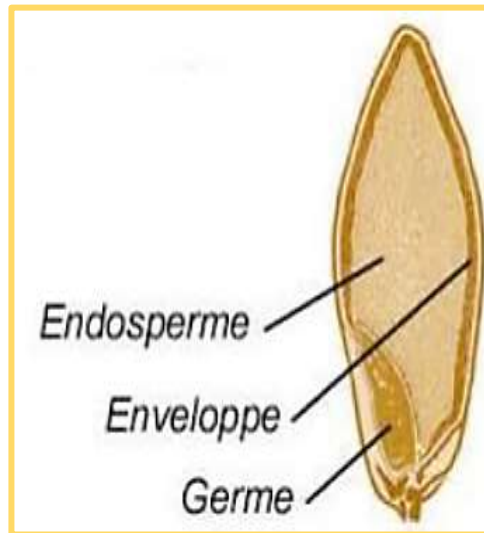
#### **4.5. Histologie et structure du grain d'orge**

Le grain d'orge se compose de l'extérieur vers l'intérieur de trois parties : l'enveloppe, l'endosperme et le germe (Fig. 5) (Stanca et al., 2016 ; Irma et al., 2017) :

L'enveloppe est constituée de l'extérieur vers l'intérieur par le péricarpe (parois de l'ovaire), le tégument et l'assise protéique et contient plusieurs types de cellules qui se situent entre les glumelles et la testa. Elle est séparée des glumelles par une couche protectrice cuticularisée appelée épicarpe qui agit comme une membrane semi-perméable et est soudée à la testa.

L'endosperme est le tissu de réserve de l'orge, il constitue presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement de minuscules grains d'amidon.

L'embryon comprend 2 parties : la plantule (future plante) et le cotylédon, réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule, qui contient l'essentiel des matières grasses du grain.



**Figure 5 :** Structure du grain d'orge (Soltner, 1998).

#### **4.6. Composition chimique**

En raison de la grande quantité d'amidon qu'elle renferme, l'orge commune constitue une matière alimentaire précieuse (Soleymani, 2017).

Un grain d'orge entier est constitué de 78 % à 83 % de glucides, dont 60 % à 64 % d'amidon et un peu de sucres simples comme le glucose ou le fructose (0.4 % à 2.9 %).

Il est constitué également de 8 % à 15 % de protéines, avec un contenu toutefois limité en lysine (un acide aminé essentiel), ce qui en fait une protéine incomplète.

Il est composé également que de 2 % à 3 % de lipides, dont le tiers environ est situé dans le germe.

### **5. Maladies et ravageurs**

#### **5.1. Maladies**

Les maladies des céréales peuvent être classées selon les symptômes spécifiques qu'elles induisent et les parties de la plante qu'elles affectent (Aouali et Douici-Khalfi, 2013 ; Mallek, 2017), de ce fait on distingue :

- **Maladies du pied** (piétin verse, piétin échaudage, rhizoctone et fusariose). Ces maladies causent des fontes de semis, elles affectent la première composante du rendement.
- **Maladies foliaires** (septorioses, rouilles et oïdium). Ces maladies affectent le feuillage en diminuant la surface foliaire, ce qui induit une diminution de la photosynthèse.
- **Maladies de l'épi** (fusariose, septoriose nodorum, caries et charbons). Ces maladies affectent la qualité du grain.

## 5.2. Ravageurs

Dans les champs, les cultures de céréales subissent de multiples détériorations, au cours de leur développement, par des insectes nuisibles tels que les pucerons, les punaises et les vers blancs. Dans les stocks, les dégâts sont causés principalement par les insectes qui appartiennent à deux ordres : les coléoptères et les lépidoptères (Berhaut et al., 2003 ; Keskin et Ozkaya, 2015). D'après De Groot (2004), ces derniers peuvent être classés en deux catégories selon leur importance : les ravageurs primaires et les ravageurs secondaires.

### 5.2.1. Ravageurs primaires

Les espèces de cette catégorie s'attaquent à des grains entiers sains. Certaines pondent leurs œufs à l'intérieur du grain, d'autres à la surface du grain et les larves pénètrent l'enveloppe dure de cette dernière et se nourrissent de l'amande très nutritive (Fleurat-Lessard, 2015). Parmi ces insectes on cite :

- **Charançon des grains, *Sitophilus granarius***

L'adulte de *S. granarius* (Coleoptera : Curculionidae) mesure 2.5 à 4.5 mm de long, il est de couleur brun foncé et de forme ovale, possède de longues pièces buccales, transformées en une sorte de trompe appelée rostre, et de longues pattes. Il est le plus nuisible aux grains, non seulement en raison de sa propre déprédation, mais aussi parce qu'il ouvre la porte à tout un cortège de détritivores qui parachèvent leurs dégâts (Fig. 6) (Balachowsky, 1963).



**Figure 6 :** *Sitophilus granarius* (G×80) (Originale, 2022).

- **Petit capucin des grains, *Rhyzopertha dominica***

L'adulte de *R. dominica* appelé aussi le perceur des grains, il est de couleur brun foncé ou plus au moins rougeâtre, mesure 3 mm de longueur, est de forme cylindrique et allongée, avec des antennes de 10 segments, dont les trois derniers sont très grands subtriangulaires et velus. Cet insecte est caractérisé par une tête cachée par le thorax qui l'encapuchonne (Fig. 7) (Ripusudan et al., 2002 ; Kavallieratos et al., 2012 ; Cruz et al., 2016). Il cause d'importants dommages en creusant des galeries dans tout le grain, il dégage une odeur fétide, en situation de forte infestation.



**Figure 7 :** *Rhyzopertha dominica* (G×80) (Originale, 2022).

- **Bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus*.**

L'adulte de *C. maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) mesure en moyenne 2.8 à 3.5 mm de long, son corps est de forme oblongue, de couleur brun rougeâtre à gris, sa tête est de couleur noire et porte des antennes rouge clair ou brun (Fig. 8) (Balachowsky, 1963).



**Figure 8 :** *Callosobruchus maculatus* (G×80) (Originale, 2022).

### 5.2.2. Ravageurs secondaires

Les espèces de la deuxième catégorie ne sont pas capables d'attaquer les grains sains, ce sont les ouvertures causées par les ravageurs primaires qui leurs servent de voies d'accès. Les ravageurs secondaires se nourrissent d'enveloppes et de graines de céréales endommagées ou leurs dérivés (semoule, farine, pâtes...) (Fleurat-Lessard, 2015 ; Huchet, 2016). Parmi ces ravageurs on cite :

- **Tribolium rouge de la farine, *Tribolium castaneum***

L'adulte de *T. castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae) mesure 3 à 4 mm de long, il est de couleur uniformément brun rougeâtre, le corps est étroit et allongé. C'est un ravageur commun connu pour infester les denrées alimentaires stockées, notamment la farine et les grains de céréales ; il est fréquent dans les silos, les entrepôts, les boulangeries, les épicerie et les maisons. Les produits attaqués sont imprégnés d'une odeur désagréable persistante (Fig. 9) (Balachowsky, 1963 ; Gwinner et al., 1996 ; Jarraya, 2003).



**Figure 9 :** *Tribolium castaneum* (G×80) (Originale, 2022).

- **Vrillette du pain, *Stegobium paniceum***

L'adulte de *S. paniceum* (Coleoptera : Anobiidae) appelée aussi vrillette boulangère, est polyphage, xylophage et psychophage. Ce ravageur mesure 1.8 à 3.7 mm de long, il est de couleur brun jaunâtre ou rougeâtre à marron très foncé. Son corps est ovale, trapu et recouvert d'une pubescence de soies très fines (Fig. 10). C'est en priorité l'ennemi redoutable des denrées alimentaires et surtout de tout produit à base d'amidon (Martinez, 2013).



**Figure 10 :** *Stegobium paniceum* (G×80) (Originale, 2022).

- **Silvain, *Oryzaephilus surinamensis***

L'adulte d'*O. surinamensis* est de taille comprise entre 2.5 et 3.5 mm de long et caractérisé par sa couleur brune et son corps aplati. C'est une espèce psychophage se nourrissant de débris, de grains de céréales ou de leurs dérivés (Fig. 11) (Steffan, 1978).



**Figure 11 :** *Oryzaephilus surinamensis* (G×80) (Originale, 2022).

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



## 1. Généralités sur l'insecte

*O. surinamensis* est un ravageur secondaire connu sous le nom de cucujide dentelé des grains, silvain ou ver denté des grains (Thomas et Leschen, 2010 ; Karner et al., 2015 ; Yoshida et al., 2017 ; Yoshida et Hirowatari, 2018).

*O. surinamensis* est une espèce cosmopolite, psychophage et synanthrope (Huchet, 2016). D'après Delobel et Tran (1993), c'est un ravageur secondaire à importance économique mondiale, il se développe surtout sur les céréales. Dans les milieux mal adaptés (oléagineux), la larve devient prédatrice d'autres insectes ou saprophyte. La forme aplatie d'*O. surinamensis* lui permet de pénétrer dans les emballages de nourriture qui sont hermétiquement fermés, attirés par l'odeur des aliments (Sahitou et al., 2017). Il se sert de ses puissantes pièces buccales masticatrices pour perforer les emballages (Mallah et al., 2016). L'infestation des produits emmagasinés se produit essentiellement au grenier et les locaux domestiques, mais parfois il est capturé dans la nature, dans des glands (*Quercus* sp.) ou sous l'écorce des arbres (Delobel et Tran, 1993 ; Halstead, 1993).

## 2. Répartition géographique et origine

*O. surinamensis* est un insecte cosmopolite d'origine tropicale, il est répandu à l'échelle mondiale grâce aux échanges commerciaux. On le trouve partout dans le monde surtout dans les entrepôts et les silos de stockage des céréales, ainsi que dans les maisons et les boulangeries (Halstead, 1980 ; Mallah et al., 2016 ; Cabi, 2019).

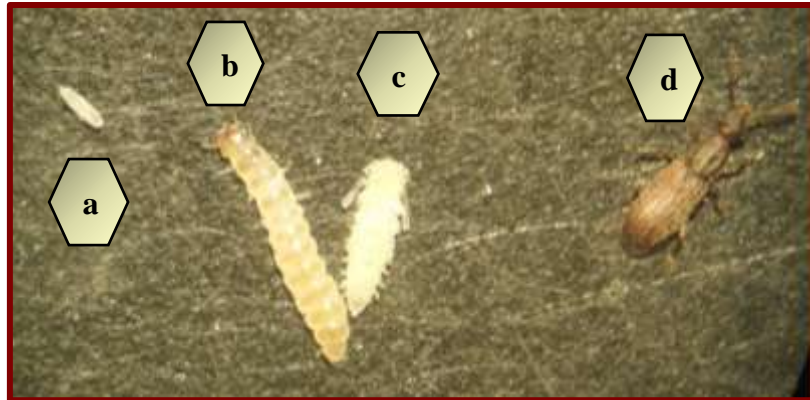
## 3. Classification

Selon Delobel et Tran (1993), *O. surinamensis* occupe la position suivante :

✚ Règne :	Animalia
✚ Embranchement :	Arthropoda
✚ Sous-embranchement :	Hexapoda
✚ Classe :	Insecta
✚ Sous-classe :	Pterygota
✚ Ordre :	Coleoptera
✚ Sous-ordre :	Polyphaga
✚ Famille :	Silvanidae
✚ Sous-famille :	Silvaninae
✚ Genre :	<i>Oryzaephilus</i>
✚ Espèce :	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> Linnaeus (1758)

#### 4. Description et développement

Le silvain est un insecte holométabole qui subit une métamorphose complète durant laquelle le stade immature ne ressemble pas au stade adulte (Fig. 12).



**Figure 12** : Différents stades de développement d'*O. surinamensis* (a : Œuf, b : Larve, c : Nymph, d : Adulte) (G×40) (Originale, 2022).

Le développement de cet insecte passe par les stades suivants :

##### 4.1. Œuf

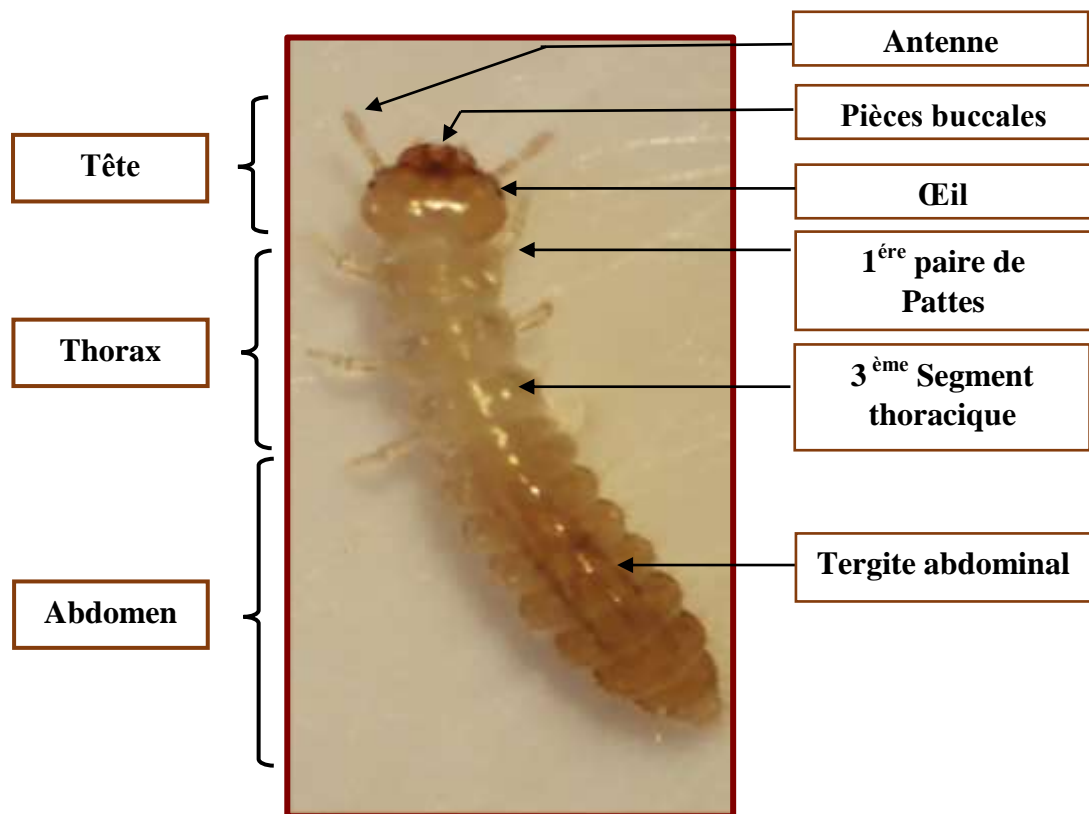
L'œuf a une forme allongée ovale à allure de capsule, avec des extrémités plus ou moins arrondies. Il mesure 0.8 à 0.9 mm de long, il est de couleur blanchâtre, brillant à la pointe puis devient jaune-ocre avant l'éclosion (Fig. 13) (Steffan, 1978).



**Figure 13** : Œuf d'*O. surinamensis* (G×80) (Originale, 2022).

##### 4.2. Larve

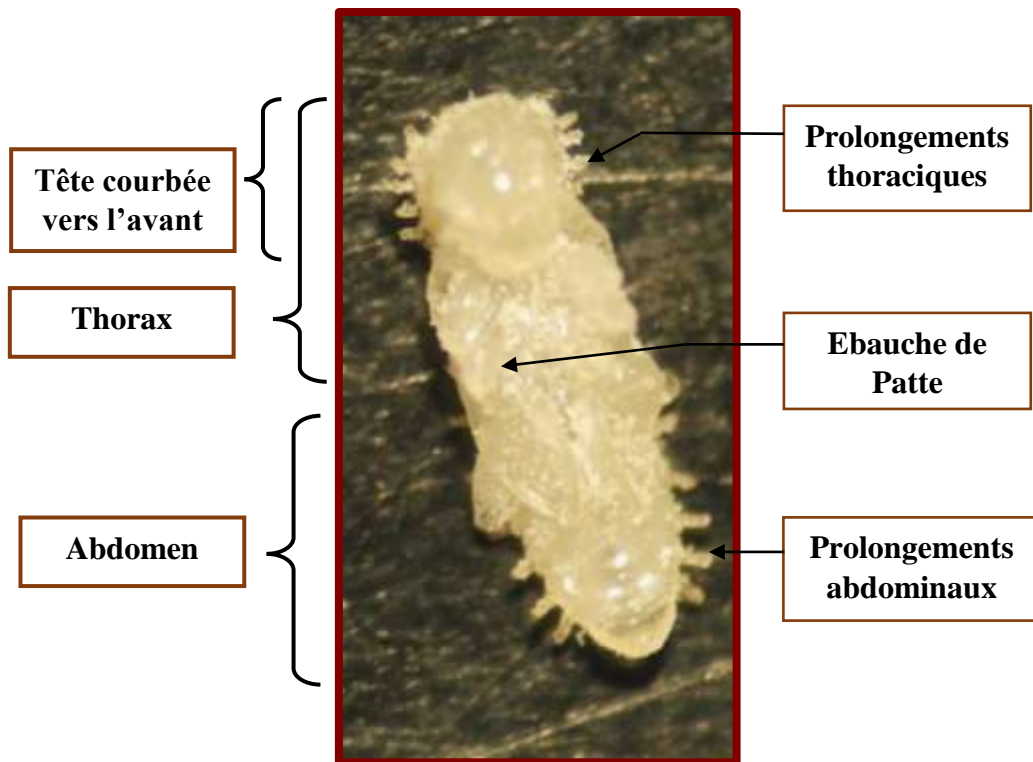
La larve est de couleur blanche tirant sur le jaune pâle à maturité, de forme subcylindrique légèrement élargie en arrière, aplatie et velue. Elle mesure 0.9 à 4 mm de long. Sa tête est bien développée, elle porte des pièces buccales broyeuses, une paire d'antennes de deux articles et des yeux minuscules. La larve est dotée de trois paires de pattes, elle possède 3 segments thoraciques à plaque dorsale portant quatre longues soies au bord postérieur ainsi que deux tâches brunes sur chaque sagement du thorax et de l'abdomen, le dernier tergite abdominal porte deux tubercules et se termine par une pointe émoussée. Tous les stades se déplacent activement dans le milieu, le dernier tisse un cocon de soie où a lieu la nymphose (Fig. 14) (Steffan, 1978).



**Figure 14 :** Larve d'*O. surinamensis* (G×80) (Originale, 2022).

### 4.3. Nymph

La nymphe est immobile et ne se nourrit pas, elle mesure 2.5 à 3 mm de long. Elle est de couleur blanche puis devient marron avant de devenir adulte. La nymphe a six projections (prolongements) de chaque côté du thorax ainsi que sur l'abdomen. Elle se nymphose dans un cocon protecteur (Fig. 15) (Sinha et Watters, 1985 ; Rees, 2004).



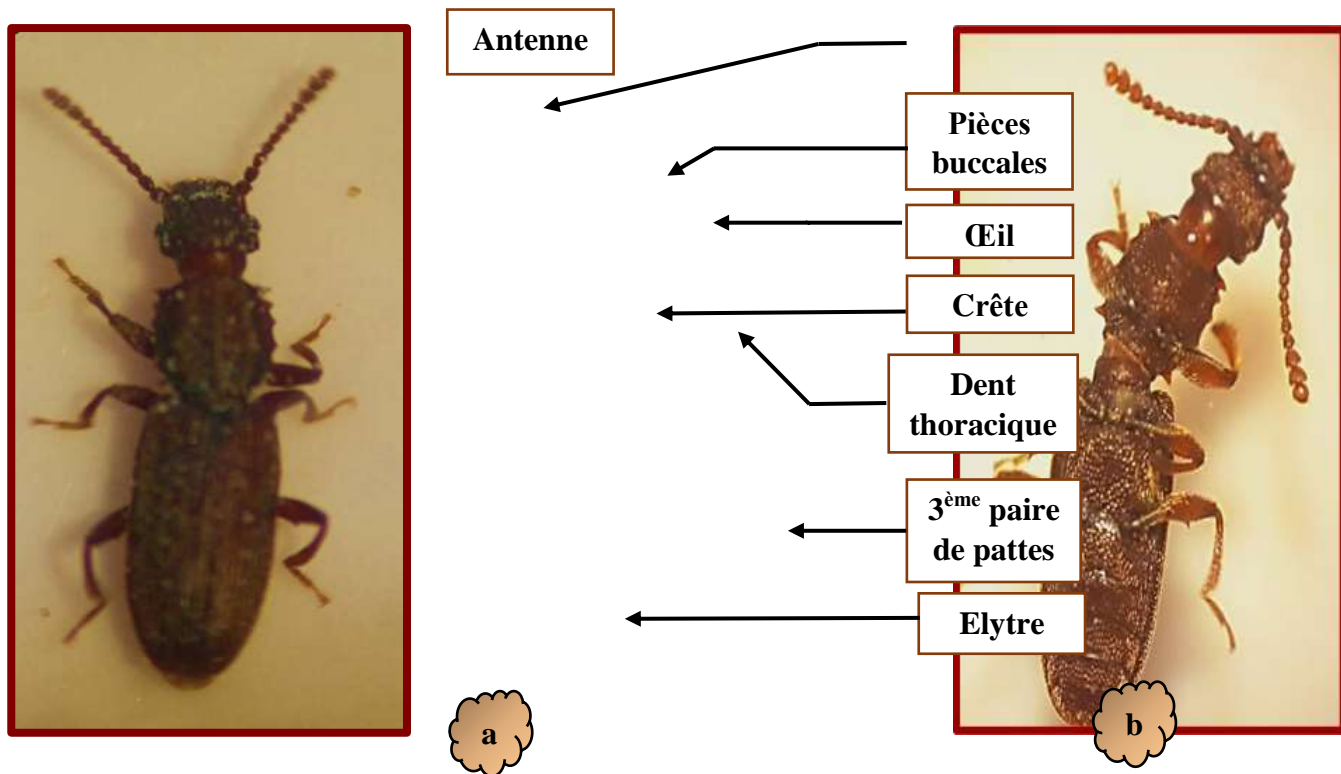
**Figure 15** : Nympe d'*O. surinamensis* face ventrale (G×80) (Originale, 2022).

#### 4.4. Adulte

Selon Halstead (1980), *O. surinamensis* est un petit coléoptère très actif, ses déplacements sont agiles à température normale et vole très rarement, il est facilement identifiable par sa morphologie caractéristique. Il mesure environ 2.5 à 3.5 mm de longueur, il a une allure svelte, d'une forme allongée, étroite et d'une couleur brun-rougeâtre couvert par de fines soies dorées (Fig. 16).

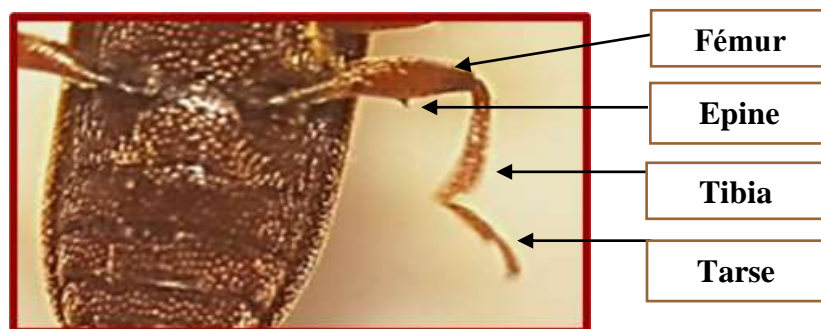
- La tête est large et de forme triangulaire, plus étroite vers l'avant, elle porte une paire d'antennes de 11 articles en forme de massue, deux petits yeux latéraux et des pièces buccales de type broyeur. La distance entre l'œil et le prothorax est supérieure à la moitié du diamètre vertical de l'œil (Fig. 16).
- Le prothorax porte sur chaque bordure latérale six dents aigues en forme de dents de scie, il est orné de trois crêtes longitudinales sur la face supérieure, ce qui le rend facilement reconnaissable et porte une paire de pattes (Fig. 16). Le mésothorax porte une paire de pattes articulées et une paire d'élytres nettement striées de forme rectangulaire en prolongement direct et arrondis en arrière. Le métathorax porte une paire de pattes articulées et une paire d'aile membraneuse.

- L'abdomen est composé de cinq segments dont le dernier renferme les organes génitaux.



**Figure 16 :** Adulte d'*O. surinamensis*, (a) face dorsale et (b) face ventrale (G×80)  
(Originale, 2022).

La distinction entre le mâle et la femelle est impossible à l'œil nu, mais à l'aide d'une loupe binoculaire, une seule différence peut être observée. Le mâle possède sur le fémur de la patte postérieure à la face ventrale une épine (dent), ce qui le différencie de la femelle qui n'en possède pas (Fig. 17) (Halstead, 1980).



**Figure 17** : Patte postérieure du mâle d'*O. surinamensis* (G×80) (Originale, 2022).

## 5. Biologie

La femelle fécondée d'*O. surinamensis* produit indifféremment des mâles ou des femelles, la femelle non fécondée produit uniquement des mâles (parthénogenèse arrhénotoque) (Maughan, 2012).

Après l'accouplement, la femelle pond 6 à 10 œufs par jour librement ou en amas dans un approvisionnement alimentaire. Chaque femelle peut pondre jusqu'à 375 œufs durant toute sa vie. L'éclosion des œufs a lieu entre 3 à 5 jours sous les conditions optimales de 30°C de température (Steffan, 1978 ; Howe, 1956).

La période larvaire moyenne dure 12 à 25 jours, au cours desquels les larves passent par 2 à 5 mues (habituellement 3), la durée entre deux mues est d'environ 4 à 6 jours.

Le dernier stade larvaire se métamorphose en nymphe en se fixant par l'extrémité anale à un objet fixe et en construisant un cocon après avoir rassemblé et adhéré plusieurs morceaux de grains cassés avec une sécrétion buccale. L'exosquelette larvaire est excrété mais reste attaché dans la cellule nymphale.

Le cycle de développement peut durer de 20 à 80 jours, il varie en fonction de la température (17°C à 35°C) et de l'humidité relative (10% à 90%) (Howe, 1956).

On compte 4 à 6 générations par an. Les adultes peuvent vivre 6 à 10 mois ou plus (jusqu'à 3 ans). En 28 jours et en conditions favorables (32°C et 70% d'humidité), la population peut être multipliée par 50 (Anne-Marie, 2016).

## 6. Dégâts

*O. surinamensis* est l'un des insectes les plus couramment rencontrés dans les céréales et les aliments pour animaux de compagnie. Il se nourrit spécifiquement de la zone germinale des céréales. Cependant, les infestations par ce ravageur peuvent entraîner une contamination importante par les excréments et les cadavres. Ainsi une diminution de la masse sèche du produit infesté et une augmentation de la teneur en eau, en raison de l'activité métabolique des insectes peut entraîner la croissance de moisissures (Fig. 18) (Steffan, 1978).

Sur les grains, les dégâts causés par les insectes diminuent leur valeur et peuvent les rendre impropres à la consommation. La présence d'*O. surinamensis* dans les denrées indique la détérioration du grain (Waongo et al., 2013 ; Kara, 2015 ; Aoues et al., 2017 ; Nurul et Noor Amni, 2019).



**Figure 18** : Semoule souillée par *O. surinamensis* (Originale, 2022).

## 7. Ennemis naturels

Parmi les ennemis naturels d'*O. surinamensis*, figurent notamment des acariens, tels que *Pediculoides ventricosus* (Acar : Tarsonemoidae) qui est un prédateur des œufs, des larves et des adultes, et *Cephalonomia tarsalis* (Hymenoptera : Bethylidae) (Fig. 19), qui est un parasite larvaire du silvain ; ce dernier pond ses œufs sur les larves d'*O. surinamensis*, après l'éclosion, il se nourrit des larves sur lesquelles il se développe. Ce parasitoïde est facilement reconnaissable par sa tête longue, aplatie et prolongée par une paire de mandibules à une seule dent. Les tibias et les tarse sont de couleur jaunâtre et contrastent avec la teinte sombre de l'insecte (Maughan, 2012 ; Panagiotis, 2019).



**Figure 19** : Parasitoïde des ravageurs des grains stockés (G×40) (Originale, 2022).

## **8. Moyens de lutte**

Afin de diminuer le taux de nuisibilité des ravageurs des grains stockés, deux méthodes de lutte sont conseillées :

### **8.1. Lutte préventive**

La lutte préventive est une méthode fréquemment utilisée car elle assure une bonne protection des denrées stockées contre les ravageurs et le maintien de la qualité des produits (Dubreil, 2014 ; Cruz et al., 2016).

D'après Kellouche (2005) ; Dubreil (2014) et Cruz et al. (2016), cette lutte consiste en :

- L'hygiène rigoureuse des moyens de transport et l'aménagement des structures de stockage pour empêcher l'accès des déprédateurs ;
- Le nettoyage et l'assainissement des locaux et des cellules d'entreposage avant leur remplissage ;
- Le séchage des graines avant le stockage pour diminuer le taux d'humidité qui doit-être maintenu entre 13% et 14% ;
- La désinsectisation des grains avant le stockage pour assurer une bonne conservation.
- L'aspiration d'air au travers du flux de grains pour éliminer les poussières et les impuretés légères ;
- Le stockage dans des silons en béton plutôt que dans des silos métalliques ;
- Et la conservation des grains dans des emballages plus résistants pour éviter l'infiltration des ravageurs.

### **8.2. Lutte curative**

La lutte curative est utilisée lorsque les grains sont déjà infestés par les ravageurs. Elle a pour but d'empêcher leur développement en cas d'infestation et avant d'arriver à des stades plus complexes et irréversibles. Divers moyens peuvent-être utilisés :

#### **8.2.1. Lutte physique**

C'est une méthode qui consiste à utiliser les agents physiques comme le froid et la chaleur afin de ralentir au maximum l'activité biologique des ravageurs des grains (Arrab, 2016 ; Fleurat-Lessard, 2018).

- **Le froid** est une méthode qui consiste à abaisser la température de stockage, ce qui entraîne un ralentissement du développement des insectes qui est freiné dès que la température est inférieure à 10°C (Bettahar, 2016 ; Fleurat-Lessard, 2018).
- **La chaleur** est une méthode qui consiste à élever la température (plus de 50°C), ce qui entraîne la mort des insectes. Le passage des produits dans un séchoir permet également d'éliminer les insectes présents dans les grains (Bettahar, 2016 ; Fleurat-Lessard, 2018).
- **Les radiations** deux types de radiations peuvent être distinguées :  
 Les radiations ionisantes (rayons gamma), stérilisent les insectes en inhibant leur système de reproduction.  
 Les radiations non ionisantes (infrarouges et radiofréquences), permettent de chauffer les produits infestés à une température létale pour tous les insectes qui s'y trouvent quels que soient l'espèce ou le stade de développement (Bettahar, 2016 ; Fleurat-Lessard, 2018).

### **8.2.2. Lutte chimique**

C'est la technique la plus utilisée pour lutter contre les organismes nuisibles, elle consiste à employer des produits chimiques. Elle doit être appliquée avec discernement pour limiter les risques auxquels les consommateurs des denrées traitées sont exposés (Aidani, 2015 ; Wijayaratne et Rajapakse, 2018 ; Khan et al., 2019). Deux types de traitement sont généralement employés :

#### **8.2.2.1. Traitement par contact**

Il 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 et elle doit être efficace et ne présenter aucun danger pour les consommateurs. Ce produit peut être utilisé sous forme de poudre.

#### **8.2.2.2. Traitement par fumigation**

La fumigation consiste à traiter les grains à l'aide d'un gaz toxique, qu'on appelle fumigant. L'intérêt majeur de la fumigation est de faciliter la pénétration des gaz à l'intérieur du grain et donc de détruire les œufs, les larves et les nymphes qui s'y développent.

### **8.2.3. Lutte biotechnologie**

#### **8.2.3.1. Lutte par phéromones**

Des phéromones de synthèse spécifiques sont utilisées pour la surveillance et la détection d'éventuelles infestations au niveau des stocks, mais également pour la confusion sexuelle et la capture en masse en les combinant avec des pièges et des attractifs alimentaires (Belouaer et Selahdja, 2020).

#### **8.2.3.2. Lutte par utilisation des régulateurs de croissance**

Des hormones de synthèse ainsi que leurs analogues IGRs sont utilisés pour le contrôle des ravageurs des denrées stockées, relativement efficaces contre plusieurs espèces. Elles sont utilisées dans les milieux clos en affectant le potentiel reproducteur des ravageurs (Belouaer et Selahdja, 2020).

### **8.2.4. Lutte biologique**

Cette méthode entre dans le cadre du développement durable et de la sauvegarde des écosystèmes. Elle vise à réduire les populations des insectes ravageurs en utilisant leurs ennemis naturels qui sont soit des prédateurs, soit des parasitoïdes ou des agents pathogènes, ainsi que des produits naturels d'origine végétale comme des poudres minérales, des huiles végétales et des huiles essentielles (Messaoudene et Mouhou, 2017 ; Marsin et al., 2020).

#### **8.2.4.1. Extraits aqueux**

Les extraits aqueux sont traditionnellement utilisés contre les insectes, ils sont obtenus à partir d'une matière végétale (feuilles, tiges, bois séchés), ils agissent plus lentement mais sont plus stables et ont par conséquent un effet plus durable dans le système de stockage (Brahmi, 2019).

#### **8.2.4.2. Extraits organiques**

Les extraits organiques sont des macérations aqueuses ou alcooliques que l'on concentre plus ou moins par évaporation (Brahmi et al., 2019).

Selon Regnault-Roger (2003), les extraits les plus puissants sont :

- L'eucalyptol, extrait d'eucalyptus (*Eucalyptus* sp.) ;
- L'eugénol, extrait des clous de girofle (*Eugenia caryophyllata*) ;

- Le menthol, extrait de thym (*Thymus vulgaris*) ;
- La pulégone, extrait de la menthe pouliot (*Mentha pulegium*).

#### **8.2.4.3. Poudres de plantes**

Certaines plantes peuvent être considérées comme un moyen efficace contre l'infestation des denrées stockées par les insectes. Leurs poudres ont un effet protecteur dont l'efficacité n'est qu'à petite échelle. Leurs propriétés insecticides sont souvent plus fortes dans certaines parties de la plante (Campolo et al., 2018).

#### **8.2.4.4. Huiles végétales**

Les huiles végétales sont des insecticides de contact qui agissent par leurs propriétés physiques et chimiques. Elles exercent des actions préventives, en empêchant la ponte des adultes à l'intérieur des grains, en inhibant le développement à la surface des grains et en tuant les œufs et les larves avant qu'elles pénètrent dans les grains (Belouaer et Selahdja, 2020).

#### **8.2.4.5. Huiles essentielles**

Les huiles essentielles peuvent être stockées dans divers organes : fleurs (origan), feuilles (citronnelle, eucalyptus), écorces (canneliers), bois (bois de rose, santal), racine (vétiver), rhizomes (acore), fruits (badiane) ou graines (carvi) (Messaoudene et Mouhou, 2017 ; Ben Chaaban et al., 2019 ; Yang et al., 2020).

- **Rôle des huiles dans la lutte :** Les huiles essentielles ont un fort potentiel pour le développement d'une stratégie alternative de lutte contre les insectes ravageurs des céréales stockées (Rajkumar et al., 2019 ; Boukhalfa et Rouabah, 2020). Leur toxicité s'exerce de plusieurs façons à savoir :
  - ❖ Une toxicité inhalatoire sur les insectes adultes en les asphyxiant rapidement et en réagissant avec les acides gras de leur corps et en interférant avec leur métabolisme.
  - ❖ Une action larvicide, ovicide, stérilisante, anti-appétante et répulsive.

La sensibilité d'un insecte pour une huile essentielle évolue en fonction de son cycle biologique. En effet, les récepteurs chimiques des insectes de certaines huiles essentielles n'existent pas dans le système nerveux des mammifères. A cause de leur faible persistance, les HE des plantes aromatiques ne présentent pas de risques pour l'environnement (Campolo et al., 2018 ; Trivedi et al., 2018 ; Pandey et al., 2020).

- **Mode d'action des huiles :** Plusieurs études confirment que l'activité insecticide des huiles essentielles est due à plusieurs mécanismes synergiques qui affectent des cibles multiples et perturbent ainsi plus efficacement l'activité cellulaire. Ils agissent via des récepteurs de l'octopamine sur le système nerveux central et périphérique des insectes, empêchent l'éclosion des œufs, altèrent le développement normal des larves en provoquant une hyperactivité générale, perturbant les mouvements, l'alimentation et entraînent des tremblements, aboutissant à la paralysie et à la mort de l'insecte (Bouzeraa et al., 2019).

Les huiles essentielles ont différents effets sur les insectes :

- **Effets anti-appétent :** en empêchant l'insecte de se nourrir, elles affectent ainsi la croissance, la mue, la fécondité et le développement (Tirakmet, 2015 ; Belgaid et Rahmani, 2018).
- **Effets sur l'octopamine :** les huiles essentielles affectent les récepteurs octopamines qui sont des neuromodulateurs spécifiques des invertébrés. Cette molécule a un effet régulateur sur les battements de cœur, la motricité, le vol et le métabolisme des invertébrés (Tirakmet, 2015 ; Belgaid et Rahmani, 2018).

# *Chapitre III*

## *Matériel et méthodes*



Notre travail expérimental s'est déroulé dans le laboratoire PSEMRVC de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, durant la période allant du 17 octobre 2021 au 30 mars 2022. Il porte sur un insecte ravageur secondaire des denrées stockées *O. surinamensis*, et a pour but de :

- ✚ Tenter de déterminer les préférences alimentaires du silvain en l'exposant à huit substrats différents.
- ✚ Caractériser le cycle biologique d'*O. surinamensis* sur deux substrats, le blé et l'orge.
- ✚ Et évaluer l'activité insecticide par inhalation de l'association de trois huiles essentielles (le basilic tropical *O. basilicum*, la lavande aspic *L. spica* et la menthe poivrée *M. piperita*), sur les adultes et les nymphes d'*O. surinamensis*.

# 1. Matériel

## 1.1. Matériel de laboratoire

Pour la réalisation de nos tests, nous avons utilisé plusieurs outils et appareils (Fig. 20) à savoir :

- Une étuve obscure réglée à différentes températures ( $28\pm 1^\circ\text{C}$  et  $31\pm 1^\circ\text{C}$ ) ainsi qu'une HR de  $50\pm 5\%$ , correspondant aux conditions favorables au développement de l'insecte ravageur étudié ;
- Une loupe binoculaire pour observer les différents stades de développement de l'insecte ;
- Une balance électronique pour peser les différents substrats utilisés ;
- Une micropipette pour le dosage des huiles essentielles ;
- Des bocaux en plastique et en verre pour l'élevage de masse des adultes ;
- Des bocaux hermétiques en verre et en plastique pour les tests par inhalation ;
- Du papier filtre pour les tests par inhalation ;
- Des tubes à essai pour le suivi des cycles biologiques ;
- Un dispositif (labyrinthe) pour réaliser les tests des préférences alimentaires ;
- Et d'autres accessoires : ciseaux, pinceaux, étiquettes, boîtes de Pétri, tamis...



1



4



2

5



6



7



8

9



10



**Figure 20 :** Matériel expérimental utilisé (1 : Etuve obscure, 2 : Loupe binoculaire, 3 : Tube à essai, 4 : Bocal hermétique en verre, 5 : Boites de Pétri en verre, 6 : Balance électronique, 7 : Micropipette (0.5-10 $\mu$ l), 8 : Papier filtre, 9 : Tamis, 10 : Autres accessoires) (Originales, 2022).

## 1.2. Matériel biologique

### 1.2.1. Insecte

L'espèce étudiée est le cucujide dentelé, elle est obtenue à partir des élevages de masse réalisés au niveau du laboratoire, sur la poudre du blé tendre, la semoule et la farine d'orge.

## 1.3. Matériel végétal

### 1.3.1. Substrat

Les substrats alimentaires utilisés dans nos tests proviennent du marché local. Pour notre expérience du choix multiple, nous avons utilisé les produits suivants : la semoule, la farine d'orge, de riz et d'avoine, les pâtes et les gâteaux moulus, ainsi que des morceaux de chocolat et des dattes (Fig. 21a).

Pour les tests par inhalation, nous avons utilisé la semoule (Fig. 21b). Pour l'étude du cycle biologique, nous avons choisi la poudre de blé tendre et la farine d'orge (Fig. 21c). La poudre de blé tendre est obtenue à partir des grains contaminés par les ravageurs primaires durant un mois.

Avant leurs utilisations, tous les substrats (sauf le chocolat) ont été stérilisés à une température de 60°C durant une heure.



**Figure 21** : Différents substrats alimentaires utilisés pour, (a) le test du choix multiples, (b) les tests de toxicité et (c) les cycles biologiques (Originale, 2022).

### 1.3.2. Huiles essentielles

Les huiles essentielles testées durant notre étude sont le basilic tropical, la lavande aspic et la menthe, elles proviennent d'un point de vente du laboratoire français Aromazone© situé à TIZI-OUZOU.

### 1.3.2.1. Basilic tropical

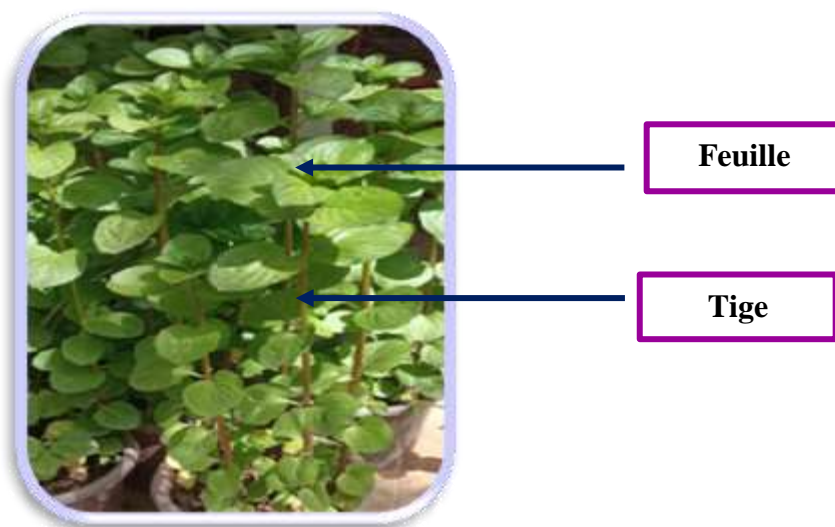
- **Origine et répartition géographique**

L'*O. basilicum* est une plante herbacée annuelle, originaire de l'Inde et de l'Asie tropicale qui s'est acclimatée en Europe. Actuellement, elle pousse à l'état sauvage dans les régions tropicales et subtropicales incluant l'Afrique centrale et le sud-est d'Asie (Rajamanickam et al., 2017).

- **Description**

Le basilic ou herbe royale est une plante qui forme de petits buissons pouvant atteindre 30 à 60 cm de hauteur, son odeur et sa saveur sont fortement aromatiques. Sa culture exige un climat chaud et ensoleillé, un sol irrigable et riche en matières organiques (Akbari et al., 2018 ; Zahran et al., 2020).

Les tiges sont anguleuses et ramifiées, portent des feuilles opposées de forme ovale à oblongue et de couleur généralement verte à aspect brillant. Elles sont longues de 2 à 5 cm, entières ou dentées et ciliées sur les bords. Les feuilles représentent la principale partie à partir de laquelle l'huile essentielle est extraite. Les fleurs sont petites et regroupées en épis à l'extrémité des rameaux et à l'aisselle des feuilles. Elles sont de couleur crème, blanche, rose ou violacée selon la variété. Les fruits sont des tétramères renfermant chacun une seule graine marron-noire oblongue (Fig. 22) (Khoualdi et Boughrara, 2018).



**Figure 22** : Partie aérienne d'*Ocimum basilicum* (Originale, 2022).

- **Classification**

Selon Cronquist (1981), le basilic appartient à la classification suivante :

- ✚ **Règne** : Plantae
- ✚ **Embranchement** : Angiospermes
- ✚ **Sous-Classe** : Astéridées
- ✚ **Classe** : Magnoliopsida
- ✚ **Ordre** : Lamiales
- ✚ **Famille** : Lamiaceae
- ✚ **Sous-famille** : Nepetoideae
- ✚ **Genre** : *Ocimum*
- ✚ **Espèce** : *Ocimum basilicum*

- **Composition chimique**

L'analyse chromatographique par CG/MS de l'huile essentielle des feuilles d'*O. basilicum* montre qu'elle est constituée majoritairement de :

- Méthyl-chavicol (76.98%) (phénols méthyl-éthers) ;
- Et linalol (17.97%) (monoterpénols) (Anonyme, 2020).

### 1.3.2.2. Lavande aspic

- **Origine et répartition géographique**

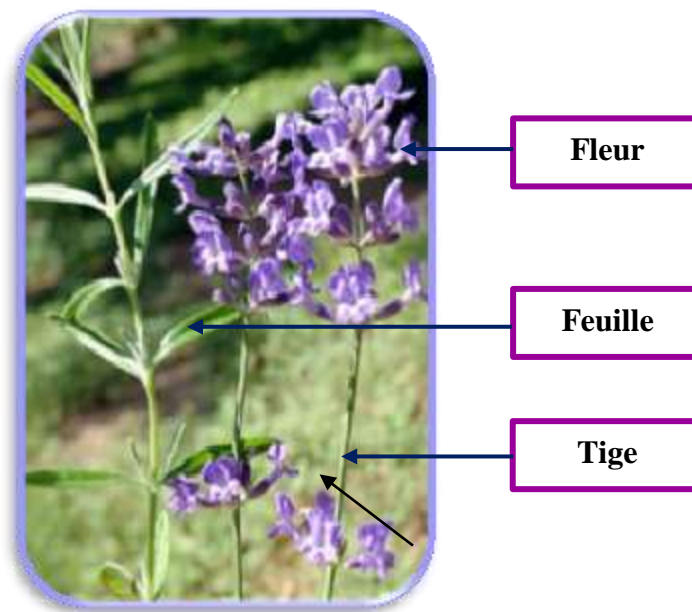
La plupart des espèces de lavande sont indigènes dans les régions montagneuses et les pentes arides des pays bordant la méditerranée occidentale. La lavande aspic est cultivé en France, en Bulgarie, en Russie, en Italie, en Espagne, en Angleterre, aux États-Unis et en Australie (Nuru et al., 2015 ; Rebey et al., 2017).

- **Description**

La lavande est une plante bisannuelle qui pousse dans des terres arides, sèches, calcaires, ensoleillées, au-dessus de 600 mètres d'altitude. Elle a pu cependant s'acclimater dans des

régions plus tempérées et douces. Certaines espèces de lavande atteignent jusqu'à un mètre de haut (Martins et al., 2019).

Les tiges sont ligneuses et vivaces, feuillues à la base et nues dans leur partie supérieure. Les feuilles sont d'un vert grisâtre, longues, étroites, simples, généralement linéaires, allongées, opposées et sans pétioles. Les fleurs sont hermaphrodites, groupées en épis au sommet de la plante et sont d'un joli bleu-violet. L'odeur de la lavande est forte et légèrement camphrée. Les fleurs sont la partie la plus importante à partir de laquelle l'huile essentielle est extraite. Les fruits sont formés de 4 akènes ovales, allongés, de couleur marron foncé (Fig. 23) (Guignard et Dupont, 2015).



**Figure 23** : Partie aérienne de *Lavandula spica* (Originale, 2022).

#### ● **Classification**

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

- ✚ **Règne** : Plantae
- ✚ **Embranchement** : Spermaphytes
- ✚ **Sous-embranchement** : Angiospermes
- ✚ **Classe** : Dicotylédones
- ✚ **Sous-Classe** : Asteridées
- ✚ **Ordre** : Lamiales
- ✚ **Famille** : Lamiacées
- ✚ **Genre** : *Lavandula*
- ✚ **Espèce** : *Lavandula latifolia (spica)*

### ● **Composition chimique**

La composition chimique de l'huile essentielle de la lavande aspic est susceptible d'évoluer en fonction des conditions de production, de l'origine géographique de la plante et du temps écoulé entre la récolte et la production de l'huile essentielle (Héral et al., 2020).

L'analyse par CG/MS de notre HE des sommités fleuries de *L. spica* montre que ses constituants majoritaires sont :

- Le linalol (40.67%) (monoterpénols) ;
- Le 1,8-cinéole (27.98%) (oxydes terpéniques) ;
- Le camphre (11.71%) (cétones) ;
- Et le limonène (1.42%) (monoterpènes) (Anonyme, 2020).

### **1.3.2.3. Menthe poivrée**

#### ● **Origine et répartition géographique**

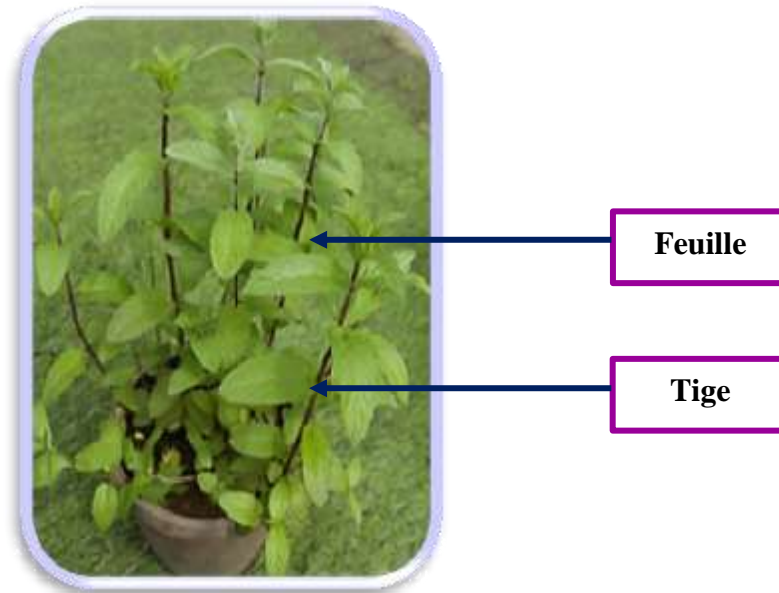
La menthe poivrée est originaire du Moyen-Orient. Le nom « mentha » vient du grec « minthe » et du latin « menta », « piperita » signifie poivrée. Les plantes de ce genre sont pérennes et utilisées pour la production d'huile essentielle, principalement aux Etats-Unis, en Inde, en Chine et en Iran (Roggen-Crausaz et Monod, 2018 ; Tafrihi et al., 2021).

#### ● **Description**

La menthe poivrée est une plante herbacée qui pousse sur des sols frais et humides, riche en humus. Elle est issue d'une hybridation spontanée entre la menthe aquatique (*Mentha aquatica*) et la menthe verte (*Mentha spicata*). Relativement résistante à l'hiver et souvent très vigoureuse et vivace, elle mesure entre 30 et 90 cm de hauteur (Goudjil, 2016).

Les tiges sont dressées ou ascendantes, de couleur généralement rougeâtre-violet, elles sont lisses, se divisent en rameaux opposés. Les feuilles sont d'un vert intense, elles sont ovales, opposées, oblongues ou lancéolées, courtement pétiolées et dentées. Elles sont courtes (4 à 10 cm de long), et recouvertes de gros poils sécréteurs arrondis dans lesquels s'accumulent les substances volatiles odorantes. Elles sont la partie à partir de laquelle l'huile essentielle est extraite. Les fleurs sont violacées, en glomérules plus ou moins nombreux, ovoïdes, à

l'extrémité des rameaux, disposés eux-mêmes en épis terminaux. Les fruits sont des tétrakènes ovoïdes, brillants, de couleurs sombre. Ils sont divisés en quatre parties, et entourés d'un calice persistant, leur odeur est puissante, leur saveur est piquante et rafraîchissante (Fig. 24) (Tafrihi et al., 2021).



**Figure 24 :** Partie aérienne de *Mentha piperita* (Originale, 2022).

#### ● Classification

Selon Cronquist (1981), la classification botanique de *M. piperita* est la suivante :

- ✚ **Règne :** Plantae
- ✚ **Embranchement :** Spermaphytes
- ✚ **Sous-Embranchement :** Angiospermes
- ✚ **Classe :** Dicotylédones
- ✚ **Sous-Classe :** Gamopétales
- ✚ **Ordre :** Lamiales
- ✚ **Famille :** Lamiacées
- ✚ **Genre :** *Mentha*
- ✚ **Espèce :** *Mentha piperita*

- **Composition chimique**

L'analyse par CG/MS de l'huile essentielle de la partie aérienne de la menthe poivrée montre que ses composés majeurs sont :

- Le menthol (38.02%) (monoterpénols) ;
- Et la menthone (27.61%) (monoterpènes) (Anonyme, 2020).

## 2. Méthodes

### 2.1. Élevage de masse

Les insectes utilisés durant tous nos tests proviennent des élevages de masse réalisés dans des bocaux en verre et en plastiques dont le couvercle est muni de petits trous d'aération et d'un dispositif empêchant la sortie des insectes. Il consiste d'abord à récolter les silvains adultes d'âge indéterminé à partir des substrats déjà infestés, puis les mettre en contact avec la semoule ou la poudre de blé tendre ou bien la farine d'orge, selon le test (Fig. 25). Au bout d'une semaine, les adultes sont retirés ; les œufs pondus sont laissés évoluer jusqu'au stade adulte. Cet élevage a été maintenu dans une étuve obscure et réglée à une température de  $28 \pm 1^\circ\text{C}$  et une HR de  $50 \pm 5\%$ .

Cet élevage nous a permis de disposer de différents stades de développement pour les tests :

- Des adultes de même âge, en nombre suffisant pour l'expérience du choix multiple ;
- Des œufs âgés de 0 à 24 h, en nombre suffisant pour l'étude des cycles biologiques.
- Des adultes âgés de 0 à 7 jours et en nombre suffisant pour les tests de toxicité ;
- Des nymphes âgées de 0 à 24h, en nombre suffisant pour les tests de toxicité ;



**Figure 25 :** Elevage de masse d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).

## **2.2. Test à choix multiple**

Dans une boîte en plastique de forme circulaire (20 cm de diamètre × 5 cm de hauteur) aménagée en huit galeries triangulaires, contenant chacune 3g de substrat alimentaire, dressées sur un support en plastique (bouchon) pour faciliter leur récupération. Ces dernières sont reliées à une arène centrale communicante où 10 couples d'*O. surinamensis* sont disposés (Fig. 26).

Les substrats alimentaires utilisés sont : la semoule, les farines d'orge, de riz et d'avoine, les pâtes et les gâteaux moulus, ainsi que les morceaux de chocolat et des dattes.

Le dispositif est placé dans une étuve obscure réglée à une température de  $31\pm 1^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative de  $50\pm 5\%$  pendant quatre jours. Quatre répétitions sont réalisées pour cette expérience.

Les substrats sont versés ensuite dans des boites de Pétri en plastique, après avoir dénombré les adultes présents sur chaque substrat et les œufs pondus. Huit jours plus tard, nous comptabilisons les larves émergées, sous la loupe (Gx40), puis 40 jours plus tard nous procédons au dénombrement des adultes émergés.

Les paramètres biologiques évalués pour ce test sont :

- ✦ Le nombre d'adultes présents sur chaque substrat ;
- ✦ Le nombre d'œufs pondus sur chaque substrat ;
- ✦ Le taux d'éclosion des œufs ;
- ✦ Le taux d'émergence des adultes ;
- ✦ La durée totale de développement du silvain sur chaque substrat.



**Figure 26 :** Dispositif expérimental utilisé dans les essais au choix multiple (1 : semoule ; 2 : avoine ; 3 : orge ; 4 : pâtes ; 5 : chocolat ; 6 : riz ; 7 : dattes ; 8 : gâteaux ; ac : arène centrale) (Originale, 2022).

### 2.3. Cycle de développement

L'étude du cycle de développement d'*O. surinamensis* est effectuée sur deux substrats alimentaires, à savoir la poudre du blé tendre et la farine d'orge. Pour récupérer les œufs, âgés de 0 à 24h, nous avons utilisé cinq bocaux en plastique, chacun contient 2g de substrat. Ces bocaux sont contaminés par 50 couples d'*O. surinamensis*, âgés de 7 à 14 jours ; après 24h, nous avons retiré les adultes afin de récolter 100 œufs fraîchement pondus, à l'aide d'un pinceau fin. Ces derniers sont placés individuellement dans des tubes à essai numérotés (Fig. 27). Le suivi du cycle de développement de l'insecte ravageur est réalisé quotidiennement depuis le stade œuf jusqu'à l'émergence de l'adulte. Après l'éclosion des œufs, nous avons introduit 0.1g de substrat dans chaque tube à essai pour l'alimentation des larves. Le passage d'un stade larvaire à un autre est marqué par la présence d'une exuvie qui est retirée à chaque observation.

Le cycle de développement du silvain s'est déroulé dans une étuve réglée aux conditions optimales de 50±5% d'HR et de températures de 28±1°C pour le blé tendre et 31±1°C pour l'orge.

Les paramètres biologiques évalués sont la durée totale du cycle de développement depuis l'œuf jusqu'à l'adulte et le taux de mortalité pour chaque stade de développement.



**Figure 27 :** Dispositif expérimental pour l'étude du cycle de développement d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).

Le taux de mortalité d'*O. surinamensis* est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Taux de mortalité} = \frac{\text{nombre d'insectes morts}}{\text{nombre total des insectes}} \times 100$$

#### **2.4. Activité insecticide de la combinaison des huiles essentielles de basilic tropical, lavande aspic et de menthe poivrée**

Ce test consiste à évaluer l'effet biocide de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des adultes et des nymphes d'*O. surinamensis* et ce par saturation de leur environnement (par inhalation) en HE. Différentes doses sont testées en fonction de la durée d'exposition.

##### **2.4.1. Test par inhalation à l'égard des adultes**

Dans des bocaux hermétiques en verre de 125 ml de volume, contenant 1g de semoule, 20 adultes d'*O. surinamensis* sont introduits. Des doses de 1.5µl, 3µl, 4.5µl et 6µl des trois huiles essentielles sont injectées à l'aide d'une micropipette sur des disques de papier filtre de 2 cm de diamètre séparément, puis l'ensemble de ces derniers est suspendu à l'aide d'un fil fixé à la face interne du couvercle. Un lot témoin n'ayant reçu aucun traitement est réalisé (Fig. 28).

- Pour chaque dose et pour le témoin quatre répétitions sont réalisées.
- Le dénombrement des individus morts est effectué après une durée d'exposition de 24h, 48h, 72h et 96h pour chaque dose et pour chaque répétition.



**Figure 28** : Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des adultes d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).

#### 2.4.2. Test par inhalation vis-à-vis des nymphes

Dans des boîtes en plastiques, parfaitement étanches et de 25 ml de volume, 20 nymphes d'*O. surinamensis* âgées de 0 à 24h sont introduits. Des doses des trois huiles essentielles de 1.5µl, 3µl et 4.5µl sont injectées à l'aide d'une micropipette, sur des disques de papier filtre de 2 cm de diamètre séparément, puis l'ensemble de ces derniers est suspendu à l'aide d'un fil fixé à la face intérieure du couvercle. Un lot témoin n'ayant reçu aucun traitement est réalisé (Fig. 29).

- Pour chaque dose et pour le témoin, quatre répétitions sont réalisées.
- Pour chaque répétition quatre temps d'exposition sont testés, 24h, 48h, 72h et 96h.
- Le dénombrement des individus morts est effectué après 10 jours du lancement de l'expérience.



**Figure 29** : Dispositif expérimental du test par inhalation de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des nymphes d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).

### 3. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de la variance à un ou deux critères de classification en utilisant le logiciel Stat Box, version 6.4.

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 (Dagnelie, 1975).

Lorsque la probabilité :

- $P > 0.05$ , il n'y a pas de différence significative ;
- $0.01 < P \leq 0.05$ , il y a une différence significative ;
- $0.001 < P \leq 0.01$ , il y a une différence hautement significative ;
- $P \leq 0.001$ , il y a une différence très hautement significative.

# *Chapitre IV*

## *Résultats et discussions*



## 1. Résultats

### 1.1. Test à choix multiple

Pour étudier les préférences alimentaires d'*O. surinamensis*, nous avons testé huit substrats différents, en évaluant plusieurs paramètres biologiques : le nombre d'adultes présent sur chaque substrat, le nombre d'œuf pondus, le taux d'éclosion des œufs, le taux d'émergence des adultes, ainsi que la durée totale du cycle de développement (Tableau 3).

**Tableau 3** : Evaluation de quelques paramètres biologiques d'*O. surinamensis* (nombre d'adultes présents et des œufs pondus, taux d'éclosion des œufs, taux d'émergence des adultes et durée totale de développement) selon différents substrats (orge, semoule, riz, chocolat, dattes, gâteaux, pâtes et avoine).

Substrat	Moyenne des adultes présents sur le substrat	Moyenne d'œufs pondus par 10 femelles	Taux d'éclosion des œufs (%)	Taux d'émergence des adultes (%) (par rapport aux œufs pondus)	Durée de développement totale (jours)
Orge	3.75±1.5 (A)	31.5±3.87 (A)	89.613±3.22 (A)	71.385±4.16 (A)	30.86±0,13
Semoule	3.25±1.26 (AB)	24±2.94 (B)	87.55±2.93 (A)	61.572±2.95 (A)	28.97±2.33
Riz	0.75±0.5 (B)	3±2.94 (F)	34.524±39.91 (B)	3.572±7.15 (D)	39.79±3.95
Chocolat	2.25±1.5 (AB)	6±1.41 (DE)	76.25±20.57 (A)	37.707±16.63 (B)	-
Dattes	1.75±1.71 (AB)	5±1.83 (EF)	62.607±19.16 (AB)	17.56±12.72 (C)	32.70±2.74
Gâteaux	3.5±1.29 (AB)	11.25±3.30 (CD)	70.433±7.14 (AB)	24.97±7.95 (D)	-
Pâtes	2.75±0.96 (AB)	15.25±4.03 (C)	78.951±4.34 (A)	24.415±3.39 (D)	-
Avoine	1.5±1 (AB)	9±2.828 (DEF)	65.303±17.98 (AB)	19.19±13.01 (D)	40.88±5.39

Les moyennes suivies d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman et Keuls, au seuil de 5%.

#### 1.1.1. Nombre moyen d'adultes présents sur chaque substrat

Dans ce test de choix multiple, nous avons dénombré les adultes d'*O. surinamensis* présents sur chaque substrat alimentaire (Tableau 3).

L'analyse de la variance à un seul critère de classification révèle une différence significative ( $P < 0.05$ ) (Tableau 4).

En effet, le plus grand nombre d'adultes est observé sur l'orge, avec 3.75 individus, alors que sur la poudre de riz, un très faible effectif a été observé (0.75 individus) (Tableau 3).

**Tableau 4 :** Résultats de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>Var.Totale</b>	69.875	31	2.254				
<b>Var.Facteur 1</b>	31.375	7	4.482	2.794	0.028		
<b>Var.Résiduelle 1</b>	38.5	24	1.604			1.267	51.96%

paramètre nombre moyen d'adultes d'*O. surinamensis* présent sur chaque substrat.

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur nombre d'adultes présent sur chaque substrat, dans trois groupes homogènes, l'orge est placé dans le groupe homogène A, le riz dans le groupe homogène B, le reste des substrats sont classés dans le même groupe homogène AB (Tableau 3).

#### 1.1.2. Nombre moyen d'œufs pondus sur les différents substrats

L'analyse de la variance à un seul critère de classification, pour le paramètre nombre d'œufs pondus, révèle une différence très hautement significative ( $P=0$ ) (Tableau 5).

Le nombre moyen d'œufs déposés sur l'orge et la semoule est significativement plus élevé avec respectivement, 31.5 et 24 œufs, comparativement à celui enregistré sur les autres substrats. Cependant, les pontes moyennes sur le riz, les dattes et le chocolat sont très faibles, 3 à 6 œufs (Tableau 3).

S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
-------	-----	------	--------	-------	------	------

**Tableau 5 :**  
Résultat

s de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre nombre moyen d'œufs pondus par *O. surinamensis* sur chaque substrat.

<b>Var.Totale</b>	3019.5	31	97.403				
<b>Var.Facteur 1</b>	2801	7	400.143	43.952	0		
<b>Var.Résiduelle 1</b>	218.5	24	9.104			3.017	22.99%

L

e  
test de Newman et Keuls, classe le facteur nombre d'œufs pondus dans huit groupes homogènes, l'orge est placé dans le groupe homogène A, il est suivi de la semoule dans le groupe homogène B, ensuite viennent les pâtes dans le groupe homogène C, enfin les gâteaux, l'avoine, le chocolat, les dattes et le riz se retrouvent dans les groupes homogènes respectifs CD, DE, DEF, EF et F (Tableau 3).

### 1.1.3. Taux d'éclosion des œufs

Notre expérimentation montre que, quelque soit le substrat alimentaire utilisé, le taux d'éclosion des œufs du silvain diminue par rapport au nombre d'œufs pondus.

L'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre taux d'éclosion des œufs, révèle une différence hautement significative entre les substrats ( $P < 0.01$ ) (Tableau 6).

En effet, le taux d'éclosions des œufs est élevé, il varie entre 62.6% et 89.61%, à l'exception du riz qui présente un taux d'éclosion relativement bas, avec 34.52% (Tableau 3).

**Tableau 6 :** Résultats de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre taux d'éclosion des œufs d'*O. surinamensis* sur chaque substrat.

	<b>S.C.E</b>	<b>DDL</b>	<b>C.M.</b>	<b>Test F</b>	<b>PROBA</b>	<b>E.T.</b>	<b>C.V.</b>
<b>Var.Totale</b>	17028.79	31	549.32				
<b>Var.Facteur 1</b>	8643.89	7	1234.84	3.53	0.009		
<b>Var.Résiduelle 1</b>	8384.89	24	349.37			18.69	26.5%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de 5%, classe le facteur taux d'éclosion des œufs, dans trois groupes homogènes, l'orge, la semoule, les pâtes et le chocolat sont classés dans le même groupe homogène A ; le riz est placé dans le groupe homogène B, alors que les gâteaux, l'avoine et les dattes dans le groupe homogène AB (Tableau 3).

### 1.1.4. Taux d'émergence des adultes

L'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre taux d'émergence des adultes, révèle une différence très hautement significative ( $P=0$ ) (Tableau 7). Selon le substrat, le taux d'émergence varie entre 3 et 71%. Le tableau 3 montre que le

taux d'émergence des adultes sur la semoule et l'orge est plus élevé que celui noté sur les autres substrats avec respectivement, 61.57% et 71.38. En revanche, le taux d'émergence des adultes sur le riz est très faible, d'ailleurs, nous n'avons observé que 3%.

**Tableau 7 :** Résultats de l'analyse de la variance, à un seul critère de classification, pour le paramètre taux d'émergence des adultes sur chaque substrat.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>Var.Totale</b>	25977.55	31	837.986				
<b>Var.Facteur 1</b>	24430.99	7	3490.142	54.161	0		
<b>Var.Résiduelle 1</b>	1546.557	24	64.44			8.027	33.31%

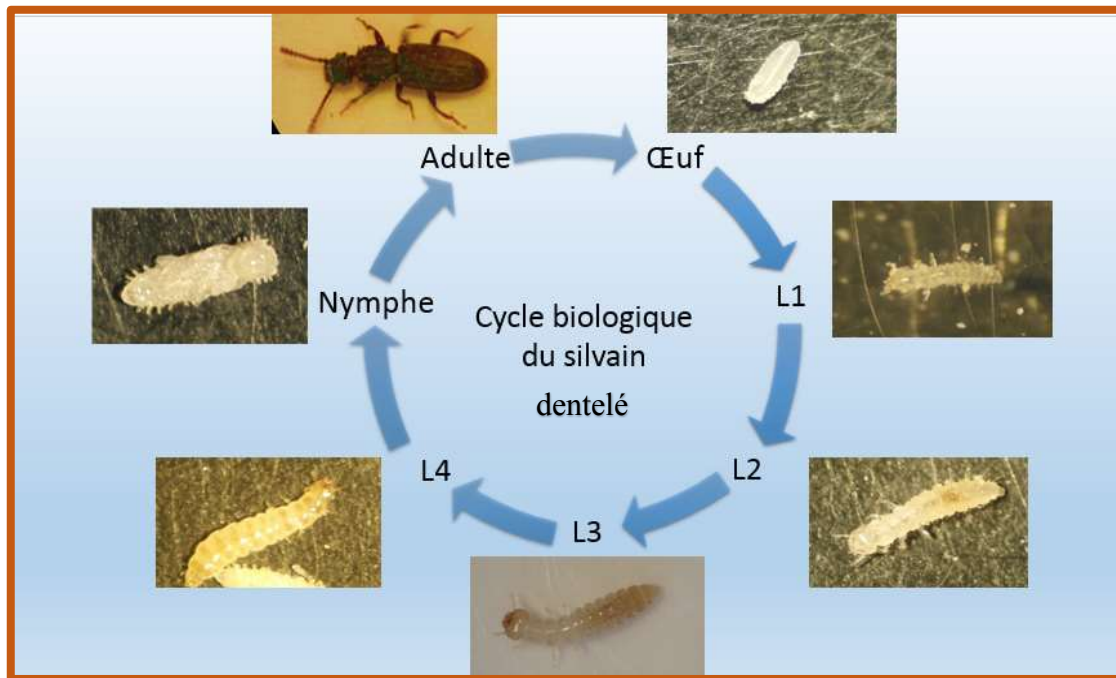
Le test de Newman et Keuls, classe le facteur taux d'émergence des adultes dans cinq groupes homogènes, l'orge et la semoule sont placés dans le groupe homogène A, suivis du chocolat dans le groupe homogène B, ensuite les dattes dans le groupe homogène C, pour les autres substrats, ils sont placés dans le même groupe homogène D (Tableau 3).

### 1.1.5. Durée totale de développement

Il ressort du tableau 3 que les durées moyennes de développement du silvain sont relativement courtes sur la semoule, l'orge et les dattes avec respectivement, 28.97 jours, 30.86 jours et 32.7 jours, longues sur le riz (39.79 jours) et l'avoine (40.88 jours) (Tableau 3).

## 1.2. Cycle de développement

Le suivi du cycle de développement d'*O. surinamensis*, du stade œuf jusqu'à l'émergence des adultes (Fig. 30) sur deux substrats alimentaires, à savoir la poudre de blé tendre, à 28±1°C, et la farine d'orge, à 31±1°C, nous a permis d'évaluer la durée totale du cycle biologique ainsi que le taux de mortalité pour chaque stade de développement.



**Figure 30** : Cycle de développement d'*O. surinamensis* (Originale, 2022).

### 1.2.1. Durées du développement

Les résultats (Tableau 8) montrent que le silvain dentelé passe par 5 stades larvaires au cours de son cycle de développement sur les deux substrats. La période d'incubation des œufs est d'environ quatre jours, le développement larvaire dure en moyenne 30.63 jours sur le blé tendre et 21.16 jours sur la farine d'orge. La nymphose dure environ 6.27 jours sur le blé tendre et 5.53 jours sur l'orge. La durée totale du cycle de vie d'*O. surinamensis* est en moyenne de 41 jours sur le blé tendre et 30.86 jours sur l'orge.

En effet sur la poudre de blé tendre, les stades larvaires L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub> ont une durée plus courte, avec respectivement, 4.77 jours et 5.23 jours, par rapport aux autres stades larvaires (L<sub>3</sub> à L<sub>5</sub>) dont la durée de développement varie entre 6.33 jours pour la L<sub>3</sub> et 7.87 jours pour la L<sub>4</sub>.

Sur la farine d'orge, les jeunes stades larvaires (L<sub>1</sub> à L<sub>3</sub>) se développent en 3 à 4 jours, alors que les stades L<sub>4</sub> et L<sub>5</sub>, se développent en 5 jours.

**Tableau 8 :** Durée (en jours) des différentes phases du cycle de vie d'*O. surinamensis* sur deux substrats alimentaires, la poudre de blé tendre et la farine d'orge.

Stade de développement	Durée moyenne $\pm$ Ecart-type (jours)	
	Blé tendre (28 $\pm$ 1°C)	Orge (31 $\pm$ 1°C)
Durée d'incubation des œufs	4.1 $\pm$ 0.24	4.17 $\pm$ 0.26
1 <sup>er</sup> stade larvaire	4.77 $\pm$ 0.77	4.15 $\pm$ 0.84
2 <sup>ème</sup> stade larvaire	5.23 $\pm$ 0.78	3.15 $\pm$ 0.65
3 <sup>ème</sup> stade larvaire	6.33 $\pm$ 0.91	3.47 $\pm$ 0.72
4 <sup>ème</sup> stade larvaire	7.87 $\pm$ 1.05	5.19 $\pm$ 0.79
5 <sup>ème</sup> stade larvaire	6.43 $\pm$ 0.75	5.2 $\pm$ 0.64
Durée de développement larvaire	30.63 $\pm$ 0.13	21.16 $\pm$ 0.09
Nymphose	6.27 $\pm$ 0.67	5.53 $\pm$ 0.62
Durée totale du cycle	41 $\pm$ 0.16	30.86 $\pm$ 0.13

### 1.2.2. Taux de mortalité

Le taux de mortalité de chaque stade de développement de l'insecte est calculé pour les deux substrats, les résultats sont présentés sous forme de cercles relativistes (Fig. 31).

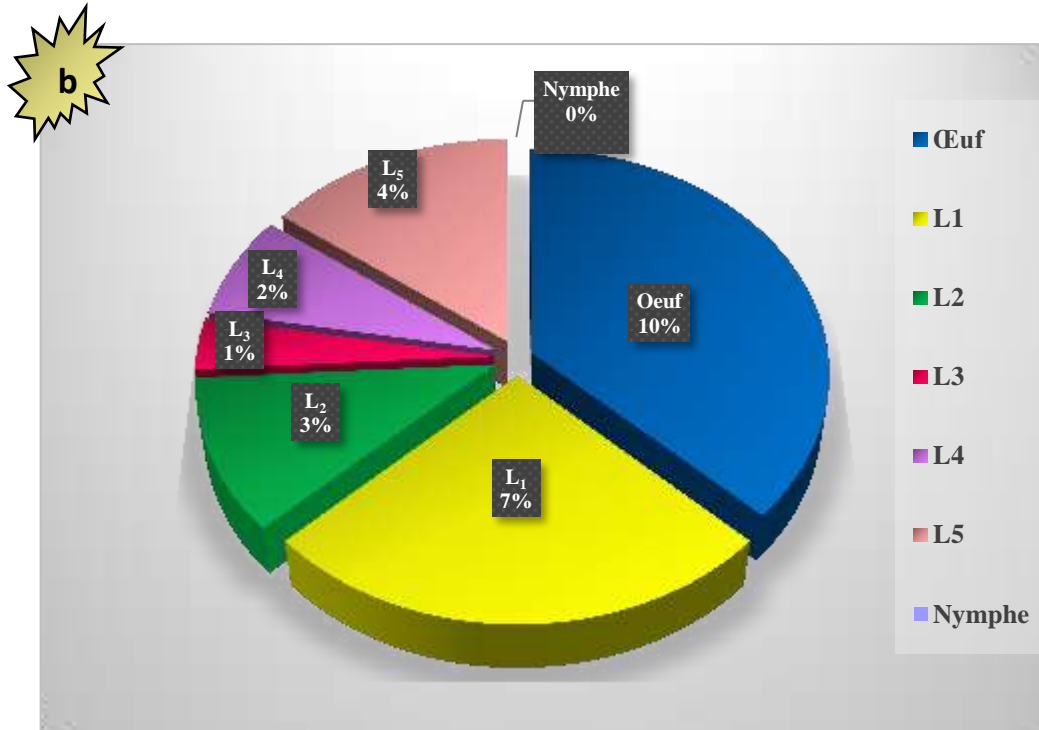
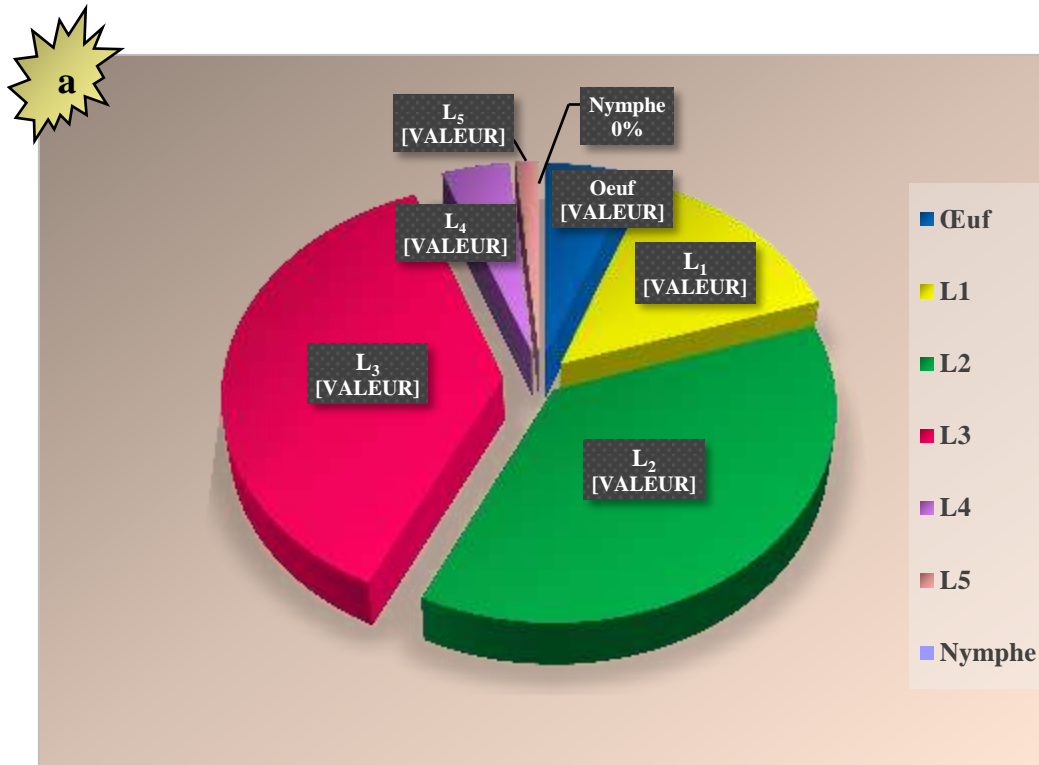
#### ○ Sur le blé tendre

En présence de la poudre de blé tendre, les résultats (Fig. 31a) montrent que le taux de mortalité total est très important (70%). Pour les œufs, les larves L<sub>1</sub>, L<sub>4</sub> et L<sub>5</sub>, le taux de mortalité varie de 1% à 10%, les larves du deuxième et troisième stade (L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub>) subissent, par ailleurs, le taux de létalité le plus élevé (26%). En revanche, aucune mortalité n'a été observée chez les nymphes.

#### ○ Sur l'orge

La figure 31b montre que le taux de mortalité totale du silvain sur la farine d'orge est beaucoup moins important (27%) que sur la poudre de blé tendre. Pour les œufs, nous avons noté un taux de létalité de 10% ; sur les L<sub>1</sub>, la mortalité larvaire était de 7%, quant

aux autres stades (L<sub>2</sub> à L<sub>5</sub>), leurs létalités étaient très basses et ne dépassent pas les 4%. En outre, pour le stade nymphal, aucune mortalité n'a été enregistrée.

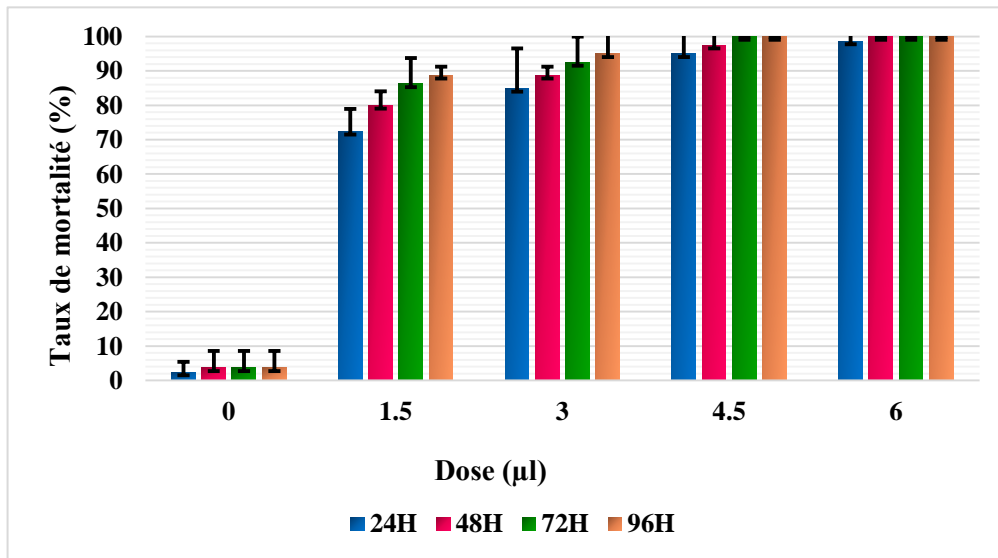


**Figure 31** : Cercles relativistes des taux de mortalité des différents stades du cycle de vie d'*O. surinamensis*, (a) sur la poudre de blé tendre et (b) sur la farine d'orge.

### 1.3. Evaluation de la toxicité par inhalation de l'association de trois huiles essentielles (basilic tropical, lavande aspic et menthe poivrée)

#### 1.3.1. Toxicité sur les adultes

L'activité insecticide de l'association de trois huiles essentielles de basilic tropical, de lavande aspic, de menthe poivrée est évaluée par inhalation par le dénombrement des adultes morts (Fig. 32).



**Figure 32 :** Taux moyen de mortalité (%) (moyenne  $\pm$  ET) des adultes d'*O. surinamensis* traités par l'association de trois huiles essentielles de basilic tropical, de lavande aspic et de menthe poivrée en fonction des doses et de la durée d'exposition.

L'analyse de la variance, à deux critères de classification, révèle une différence très hautement significative pour le facteur dose du traitement ( $P=0$ ) et une différence significative pour le facteur temps d'exposition ( $P<0.01$ ) (Tableau 9).

Le taux moyen de mortalité des adultes dans le lot témoin, qui n'a subi aucun traitement et qui représente la mortalité naturelle, est négligeable.

En revanche, les résultats obtenus dans les lots traités révèlent que la mortalité des adultes d'*O. surinamensis* évolue de façon dépendante de la dose et de la durée d'exposition.

En effet, plus de 50% de létalité est observée dès 24h d'exposition, à la plus faible dose de 1.5µl.

A partir de la dose de 4.5µl, un taux de mortalité proche de 100% est enregistré dès 48h d'exposition. A la plus forte dose de 6µl, la mortalité des adultes est totale, elle est observée dès 48h d'exposition.

**Tableau 9 :** 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'*O. surinamensis*.

Le test de Newman et Keuls, classe le facteur dose dans quatre groupes homogènes, les

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>Var. Totale</b>	107567.2	79	1361.61				
<b>Var. Facteur 1</b>	104746.9	4	26186.72	835.191	0		
<b>Var. Facteur 2</b>	543.438	3	181.146	5.777	0.0016		
<b>Var. Inter F1×2</b>	395.625	12	32.969	1.051	0.4162		
<b>Var. Résiduelle 1</b>	1881.25	60	31.354			5.599	7.50%

dos  
es  
les  
plus  
élev  
ées  
(4.5

µl et 6µl) sont classées dans le même groupe homogène A, les autres doses sont placées chacune dans un groupe homogène à part (Tableau 10).

De même, pour le facteur durée d'exposition, ce même test classe le facteur traitement en trois groupes homogènes, les temps d'expositions les plus longs (72h et 96h) sont classés dans le groupe homogène A, 48h dans le groupe AB et 24h dans le groupe B (Tableau 11).

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

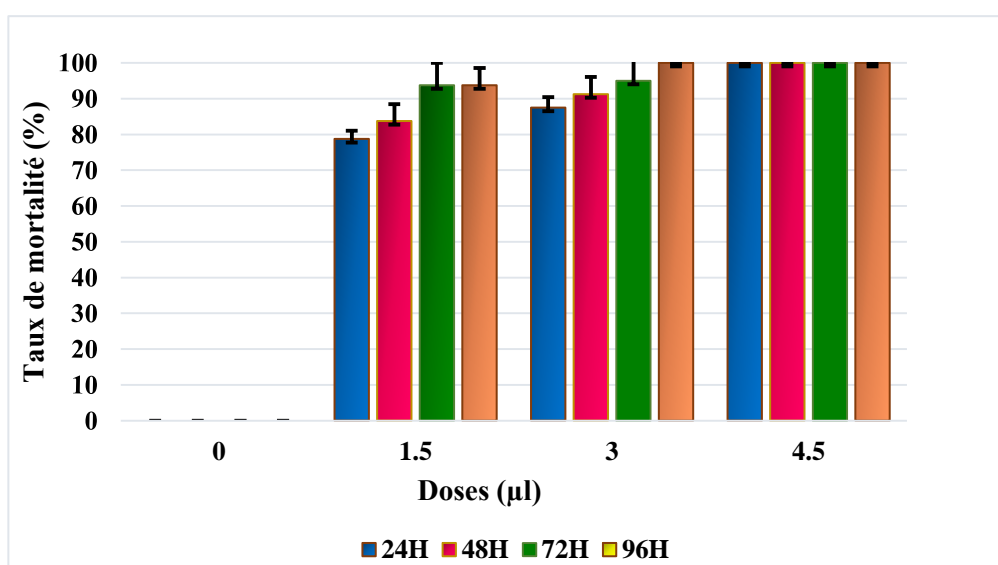
Libelles	Moyennes	Groupes homogènes			
<b>6 µl</b>	99.688	<b>A</b>			
<b>4,5 µl</b>	98.125	<b>A</b>			
<b>3 µl</b>	90.313		<b>B</b>		
<b>1,5 µl</b>	81.875			<b>C</b>	
<b>0 µl</b>	3.438				<b>D</b>

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

Libelles	Moyennes	Groupes homogènes	
96h	77.5	A	
72h	76.5	A	
48h	74	A	B
24h	70.75		B

### 1.3.2. Toxicité sur les nymphes

L'activité insecticide de l'association des trois huiles essentielles : le basilic, la lavande aspic et la menthe poivrée, est évaluée par inhalation, à l'aide du dénombrement des nymphes n'ayant pu se transformer en adultes (Fig. 33).



**Figure 33 :** Taux moyen de mortalité (%) (moyenne  $\pm$  ET) des nymphes d'*O. surinamensis* traités par l'association de trois huiles essentielles en fonction des doses et de la durée d'exposition.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative pour le facteur dose ( $P=0$ ) et le facteur durée d'exposition ( $P=0$ ) (Tableau 12).

Les résultats obtenus dans le test par inhalation ne révèlent aucune mortalité chez les nymphes d'*O. surinamensis* dans le lot témoin. Par contre dans les lots traités, la mortalité augmente en fonction de la dose et de la durée d'exposition. Par ailleurs, plus de 50% de mortalité ont été enregistrés dès 24h d'exposition à la faible dose de 1.5µl.

Tandis que l'effet toxique maximal de 100% de la mixture a été atteint avec la dose 3µl après 96h d'exposition.

**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 par inhalation, de l'association de trois huiles essentielles à l'égard des nymphes d'*O. surinamensis*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>Var. Totale</b>	107971.5	63	1713.833				
<b>Var. Facteur 1</b>	106485.6	3	35495.19	3634.707	0		
<b>Var. Facteur 2</b>	476.188	3	158.729	16.254	0		
<b>Var. Inter F1×2</b>	541	9	60.111	6.155	0.00001		
<b>Var. Résiduelle 1</b>	468.75	48	9.766			3.125	4.45%

Le test de Newman et Keuls, classe les différentes doses en quatre groupes homogènes, chacune dans un groupe homogène à part (Tableau 13).

Pour le facteur temps d'exposition, ce même test classe les différents temps d'exposition dans deux groupes homogènes, 72h et 96h sont classés dans le groupe homogène A, tandis que 24h et 48h sont placés dans le groupe homogène B (Tableau 14).

**Tableau 13 :** Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet dose du traitement par

Libelles	Moyennes	Groupes homogènes			
<b>4.5µl</b>	100	<b>A</b>			
<b>3µl</b>	93.438		<b>B</b>		
<b>1.5µl</b>	87.5			<b>C</b>	
<b>0µl</b>	0				<b>D</b>

inhalation sur la mortalité des nymphes d'*O. surinamensis*.

**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 nymphes d'*O. surinamensis*.

Libelles	Moyennes	Groupes homogènes
----------	----------	-------------------

<b>96h</b>	73.438	<b>A</b>	
<b>72h</b>	72.188	<b>A</b>	
<b>48h</b>	68.75		<b>B</b>
<b>24h</b>	66.563		<b>B</b>

## 2. Discussions

### 2.1. Test à choix multiple

La polyphagie du silvain dentelé nous a mené à explorer l'adéquation de huit substrats au développement de ce ravageur, à savoir, l'orge, la semoule, l'avoine, les dattes, le chocolat, les pâtes, le riz et les gâteaux.

Les résultats obtenus montrent que la répartition des adultes diffère significativement selon le substrat. Cependant, le plus grand nombre d'individus est retrouvé sur l'orge et le plus faible sur le riz, avec respectivement, 3.75 et 0.75 individus.

Le nombre moyen des œufs pondus est significativement plus élevé sur la semoule et l'orge, par rapport aux autres substrats avec respectivement, 24 et 31.5 œufs. En revanche, sur le riz, les dattes et le chocolat, les moyennes restent très faibles, allant de 3 à 6 œufs.

Le taux d'éclosions des œufs est élevé, il varie entre 62.6% et 89.61%. En revanche, sur le riz, le taux d'éclosion est relativement bas (34.52%).

Par ailleurs, le taux d'émergence des adultes diffère également selon le substrat, il est élevé sur la semoule et l'orge, 61.57% et 71.38%, respectivement. Cependant, le taux le plus faible est observé sur le riz (3.57%).

La durée totale du cycle de développement est relativement courte sur la semoule, l'orge et les dattes, avec respectivement, 28.30 jours, 30.86 jours et 32.70 jours, comparée au riz (39.79 jours) et à l'avoine (40.88 jours).

Nos résultats présentent une certaine analogie avec ceux de Nurul et Noor Amni. (2019) qui ont montré, en effet, que sur une gamme d'aliment (orge, gruau d'avoine, maïs séché, riz, dattes, raisin sec, abricot, figue, amande, arachide, noix et noix de cajou), le nombre d'insectes présents est élevé sur l'orge (4.13 insectes) et l'avoine (5.07 insectes), par rapport aux autres substrats et le plus petit nombre d'insectes a été observé sur le riz avec 1.47 individus.

Nos résultats présentent également une certaine similitude avec ceux de Govindaraj et al. (2014) qui ont noté que le cycle de vie d'*O. surinamensis* varie d'un produit stocké à un autre, il a duré 28.45 jours sur le grain de neem, 32.7 jours sur les dattes, 37.5 jours sur le riz, et 39.05 jours sur le blé, alors que la durée la plus longue a été observée sur les raisins secs, avec 47.50 jours.

En effet, les interactions entre la plante hôte et l'insecte ravageur forment un système dynamique. La sélection de l'hôte par les insectes comme nourriture, abri et lieu de reproduction, dépend de nombreux facteurs physiques, chimiques et abiotiques de l'hôte. Le type de nourriture influe sur les préférences des insectes et affecte par la suite leur cycle biologique (Cox et Collins, 2002 ; Mahroof et Hagstrum, 2012 ; Nurul et Noor Amni, 2019). La forme, la dureté, la taille et la texture de surface, peuvent aussi déterminer l'adéquation de l'hôte pour une espèce d'insecte donnée (Cope et Fox, 2003 ; De Sa et al., 2014). En revanche, une nourriture d'une mauvaise qualité entraîne une croissance réduite, un développement retardé, une survie courte, une fécondité et une fertilité faibles (Borzoui et al., 2015 ; Borzoui et al., 2017). Les caractéristiques chimiques du substrat hôte, telles que la teneur en amidon, amylose, protéines, azote aminé libre, *etc.* peuvent avoir un impact sur la croissance des populations d'insectes, non seulement en affectant la mortalité, la longévité des adultes et la ponte des œufs, mais aussi en interférant avec le développement des stades immatures (Chuck-Hernandez et al., 2013 ; Seifi et al., 2016 ; Kavallieratos et al., 2019).

Nurul et al. (2019) estiment que le choix du substrat dépend de sa teneur en humidité et que le taux élevé en humidité des aliments peut devenir un facteur limitant pour l'infestation par *O. surinamensis*. De même Sahito et al. (2017) ont constaté que les aliments à forte teneur en humidité se détériorent rapidement et ceci peut être accentué par l'effet des micro-organismes tels que les champignons. Cette condition pourrait être défavorable à l'installation et au développement des insectes.

Les préférences alimentaires peuvent être influencées également par les composés volatils libérés par divers substrats hôtes. Un grand nombre de ces composés sont détectés par des récepteurs situés sur les antennes des imagos d'*O. surinamensis* (Mowery et al., 2004 ; Chapman, 2013).

D'après Hill (2008), le silvain dentelé se retrouve plus fréquemment sur les produits céréaliers. En outre, une étude a révélé que la convenance alimentaire d'*O. surinamensis* dépendait en grande partie de la présence de glucides (Levinson et Levinson, 1998). D'après Mckevith (2004) et Hernández-Alonso et al. (2017), 75% de glucides sont présents dans les céréales, 70% dans les fruits secs et 15.3% dans les noix.

## **2.2. Cycle de développement**

L'étude du cycle biologique du silvain, à  $50 \pm 5\%$  d'HR et  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , pour le blé tendre et  $31 \pm 1^\circ\text{C}$  pour l'orge, a montré que ce dernier comporte cinq stades larvaires. La période d'incubation des œufs est de 4 jours sur les deux substrats, le développement larvaire dure 30.63 jours sur le blé tendre et 21.16 jours sur l'orge, la durée de la nymphose est d'environ 6 jours sur les deux substrats. La durée totale du cycle de développement de cet insecte est de 41 jours sur le blé tendre et de 30.86 jours sur l'orge.

Le cycle biologique d'*O. surinamensis* a été étudié par certains auteurs à l'instar de Jacob et Fleming. (1989) qui ont constaté que sur le blé concassé, l'incubation des œufs était de 6.6 jours, la période larvaire 21.5 jours et la nymphose dure 9 jours, alors que la période totale de développement était de 37 jours, à  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  et  $65 \pm 5\%$  d'HR.

Nos résultats sont similaires par rapport à ceux de Govindaraj et al. (2014) qui ont montré que sur le blé, l'incubation des œufs d'*O. surinamensis* durait 4.9 jours, le développement larvaire 23.75 jours, la période nymphale 6 jours, quant à la période totale de développement, elle était de 39.05 jours.

Jacob et Fleming. (1989) ont étudié le développement et la mortalité de huit souches d'*O. surinamensis*, sur du blé concassé, à une température de  $25^\circ\text{C}$  et une HR de 70%. Ces auteurs ont constaté que les œufs de toutes les souches ont éclos au bout de 6 jours. La période larvaire moyenne varie de 16 à 21.5 jours, avec une faible mortalité pour toutes les souches. La période nymphale est presque la même pour toutes les souches et que la mortalité des nymphes est très faible.

Nos résultats sont également en adéquation avec ceux d'Erifili et al. (2020) qui ont étudié l'effet de la semoule, du blé concassé, des flocons d'avoine entiers, de la farine d'orge entière et d'orge concassée, à  $30^\circ\text{C}$  et  $65\%$  d'HR, sur le développement des larves et des

nymphes du silvain dentelé. Le développement des larves était relativement plus long sur l'orge concassé (18.3 jours), la farine d'orge (19.2 jours) et les flocons d'avoine entiers (20.3 jours) par rapport aux autres substrats. En ce qui concerne le développement des nymphes, il varie de 4.6 à 4.7 jours

Howe (1956) rapporte, par ailleurs, que la rapidité du cycle de développement est influencée par la température et l'humidité. Selon Dajoz (1985), l'humidité exerce une influence sur la longévité, la vitesse du développement, la fécondité et le comportement des insectes.

Les travaux de Erifili et al. (2021) ont montré l'influence de la température sur la durée des différents stades de développement d'*O. surinamensis* sur la farine de blé tendre. L'éclosion des œufs, à 20°C, dure 13.58 jours et diminue jusqu'à 3.25 jours, à 35°C, le temps de la croissance larvaire baisse de 40.47 jours, à 20°C jusqu'à 32.5 jours à 35°C, le développement nymphal a été raccourci de 17.18 jours, à 20°C jusqu'à 4.48 jours, à 35°C.

Par ailleurs, Dos Santos et al. (2007) ont montré que l'incubation des œufs du silvain, sur le blé entier, à 25±0.5°C et 65±5% d'HR, est de 5 jours, la durée larvaire s'étale sur 20 jours, les premières pupes ont été détectées environ trois semaines après l'observation des premières larves. La période totale de développement était d'environ 35 jours.

Pour le facteur taux de mortalité des différents stades de développement, Howe (1956) assure qu'il augmente avec la température. D'ailleurs, cet auteur a observé une mortalité de 10 % des œufs à des températures comprises entre 22.5°C et 35°C, 15% des larves à 30°C, alors que la mortalité nymphale est faible.

En effet, la nature du substrat joue un rôle important dans le développement d'*O. surinamensis*. D'ailleurs, Turney (1957) a signalé que cet insecte se développe mal sur le grain entier de blé, alors que le grain moulu favorise une augmentation rapide de sa population. LeCato et McCray (1973) ajoutent que le silvain se déplace plus facilement sur le grain moulu, ce qui peut stimuler les femelles à pondre leurs œufs.

### **2.3. Evaluation de la toxicité par inhalation du traitement sur les adultes et les nymphes**

L'association de trois huiles essentielles du basilic, de lavande aspic et de menthe poivrée a été testée sur les adultes et les nymphes d'*O. surinamensis*, par inhalation, en utilisant différentes doses et différents temps d'exposition.

Les résultats obtenus montrent nettement que la mixture de trois huiles essentielles a révélé un effet toxique très hautement significatif sur les adultes et les nymphes d'*O. surinamensis* au fur et à mesure que la dose et le temps d'exposition augmentent.

Une mortalité totale des adultes est obtenue à la dose 4.5µl, après 72h d'exposition. Tandis que sur les nymphes, la toxicité maximale du traitement a été observée dès la dose 3µl après 96h d'exposition.

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de l'effet insecticide de l'huile essentielle d'*O. basilicum* sur d'autres insectes ravageurs des denrées stockées, notamment ceux de Taleb-Toudert (2015) sur *C. maculatus*, Souza et al. (2016) sur *R. dominica*, ainsi que ceux de Bounoua-Fraoucene et al. (2019) sur *S. oryzae* et *R. dominica*. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par ces auteurs, bien que les modèles biologiques utilisés soient différents. Ceci montre non seulement l'efficacité mais aussi la diversité de l'action insecticide de cette huile essentielle à l'égard des ravageurs des grains stockés.

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

Regnault-Roger et Hamraoui. (1994) ont testé également l'efficacité de l'huile essentielle d'*O. basilicum* à l'égard de *A. obtectus*, les résultats ont montré qu'elle provoque une mortalité de 100 % après un à quatre jours d'exposition, à la dose de 10µl.

Selon Bounoua-Fraoucene et al. (2019), l'huile essentielle d'*O. basilicum* a montré une activité insecticide importante sur les adultes de *R. dominica*, traités par fumigation, à la concentration de 20µl/L, après 72h d'exposition.

De leur part, Lopez-Lutz et al. (2008) ont démontré que les composants majoritaires de l'huile essentielle de basilic, le linalol, la carvone, l'estragol et le méthyl eugénol sont toxiques pour plusieurs ravageurs des denrées stockées, y compris *O. surinamensis*.

L'étude réalisée par Shaaya al. (1993) a également montré, qu'à la dose de 15µl/L, l'huile essentielle de lavande, *Lavanda angustifolia*, tue 100% d'adultes de *R. dominica*, *O. surinamensis*, *T. castaneum* et *S. oryzae*.

En effet, la toxicité des huiles essentielles peut être induite par l'action de leurs composés majoritaires (Seri-Kouassi et al., 2004). D'ailleurs, Kheloul et al. (2021) affirment aussi que l'huile essentielle de *L. spica* et son composé majeur, le linalol, possèdent une action

biocide significative vis-à-vis des nymphes de *T. confusum* et peuvent également causer des malformations chez les adultes lorsqu'ils sont appliqués, par inhalation, à la dose 500µl/L. Ces résultats peuvent être expliqués par la composition chimique de l'huile essentielle et le comportement des ravageurs.

Nos résultats sont également en adéquation avec ceux de Goucem-Khelfane (2014) qui a montré que l'huile de *L. angustifolia* est efficace à l'égard de *Acanthocelides obtectus*, car elle provoque une mortalité de 100% à la dose 10µl, après 72h d'exposition.

Des effets toxiques significatifs des substances volatiles contenues dans les huiles essentielles de laurier, romarin et lavande ont été déjà décrits pour *O. surinamensis*, *S. oryzae* et *R. dominica* avec une mortalité allant de 85 à 100%, observées après 4 jours d'exposition à une dose de 70µl/L (Shaaya et al., 1997).

Des résultats similaires ont été aussi obtenus par Goucem-Khelfane (2014) qui a testé l'efficacité de neuf huiles essentielles extraites de plantes aromatiques sur *A. obtectus*. L'auteur a montré que ce sont surtout les huiles essentielles des Lamiacées qui sont plus toxiques. En effet, l'huile essentielle de la menthe poivrée, utilisée aux doses faibles (0.25 et 2µl), s'est montrée beaucoup plus efficace en enregistrant une longévité de 1.75 et 3.5 jours, respectivement. De plus, la même étude fait ressortir une mortalité de 100% de l'huile essentielle de la menthe poivrée à la dose 10µl après 72h d'exposition.

.

De même, Kellouche et al. (2010) et Aissat et Berkane (2014) ont montré, qu'à partir de la dose de 10µl, l'huile essentielle de *M. piperita* a réduit d'une manière très significative la longévité des adultes de *C. maculatus* et ceux de *B. rufimanus*.

En effet l'association de ces trois huiles essentielles peut exercer un effet synergique, du fait que l'insecte étant submergé par le mélange d'HE qui affecte différentes cibles. Ce phénomène peut se produire en impliquant des enzymes, des métabolites, des protéines ainsi que des protéines de transport (ribosomes, ADN/ARN) et des mécanismes physico-chimiques. Il a été constaté également que l'interaction entre différents composés peut conduire à des changements dans la conformation structurelle et dans la réduction de l'activité biologique donnant ainsi un effet antagoniste (Faraone et al., 2015 ; Boukraa et al., 2021).

Grâce à leur volatilité importante, les huiles essentielles et leurs constituants, essentiellement des monoterpènes, exercent des effets insecticides et réduisent ou perturbent la croissance des insectes à différents stades de leur développement, diminuent leurs fécondités et leurs fertilités (Weaver et al., 1991 ; Hikal et al. 2017). Leurs efficacités varient en fonction du profil phytochimique des extraits des plantes et de la cible entomologique (Regnault-Roger et al., 2012). Le linalol et l'estragol modifient l'activité électrique des membranes des neurones excités, ce qui empêche la transmission de l'influx nerveux. L'eugénol et le thymol agissent au niveau des synapses et bloquent la production de neurotransmetteurs comme l'acétylcholine (Huignard, 2013).

# *Conclusion*

Notre travail de recherche est une contribution à la connaissance de la bioécologie d'un insecte ravageur des céréales stockées, *O. surinamensis*. Nous avons essayé de connaître ses préférences alimentaires, son cycle de vie sur deux substrats différents, ainsi que d'évaluer l'activité insecticide de l'association de trois huiles essentielles, par inhalation, sur les adultes et les nymphes de ce nuisible.

L'étude du choix multiple nous a permis de constater que le silvain dentelé est capable de se développer sur tous les substrats alimentaires proposés (orge, semoule, avoine, riz, dattes, chocolat, gâteaux et pâtes alimentaires) et que la durée de son cycle de développement varie selon le type de substrat. Nous avons conclu que cet insecte a une nette préférence pour la semoule et l'orge, car, le taux d'émergence des individus de la première génération était plus élevé, 61.6% et 71.4%, respectivement. En revanche, ce taux est très faible sur le riz (3%).

L'étude du cycle biologique d'*O. surinamensis* a montré que sur le blé tendre, la durée de développement est de 41 jours, alors que sur l'orge, elle n'est que de 30.86 jours. La durée d'incubation des œufs est de 4 jours sur les deux substrats, l'insecte se développe en 5 stades larvaires sur les deux substrats, la durée du développement larvaire est de 30.63 jours sur le blé tendre et 21.16 jours sur l'orge. La durée du développement nymphal est de 6 jours sur les deux substrats.

Le taux de mortalité naturelle est important (70%) sur le blé tendre, alors qu'il est beaucoup plus faible sur l'orge (27%). Pour le stade embryonnaire, le taux de mortalité est très faible sur le blé tendre (3%), il est à 10% sur l'orge. Le taux de létalité larvaire semble très prononcé sur le blé (66%), alors qu'il est de 17% sur l'orge. Cependant, le taux de mortalité nymphale est nul sur les deux substrats.

Par ailleurs, nos résultats révèlent que l'activité biologique de la combinaison des trois HEs sur les adultes et les nymphes varie selon la dose utilisée et le temps d'exposition. Nous avons observé une mortalité de 100% des adultes à la dose 4.5µl, après 72h d'exposition, mais le traitement est plus efficace sur les nymphes, car nous avons obtenu une mortalité totale dès la dose 3µl, après 96h d'exposition.

### **Perspectives de recherche**

Il serait d'abord judicieux de maîtriser le cycle de cet insecte ravageur à des températures et des humidités différentes.

Prenant en considération l'importance des dépenses occasionnées par l'importation des céréales, et celle des pesticides, dont l'utilisation représente, un danger certain pour le consommateur, la méthode de lutte par la combinaison de plusieurs huiles essentielles pourrait ouvrir une piste très intéressante dans la recherche d'une méthode de lutte alternative contre les ravageurs des grains stockés en Algérie.

Cependant d'autres études doivent être effectuées pour compléter ce travail dans le but d'évaluer l'importance de ces huiles essentielles pour lutter contre ce ravageur potentiel des denrées stockées.

Il serait judicieux de compléter cette étude par d'autres tests de toxicité sur différents stades de développement de l'insecte. Il est également important d'identifier les molécules actives de ces substances naturelles pour les tester séparément afin de définir les composés les plus toxiques.

Il serait aussi très intéressant de poursuivre ces travaux en tentant de mettre en évidence l'action synergique d'autres combinaison d'huiles essentielles dans la lutte contre le silvain dentelé et d'autres insectes ravageurs des denrées stockées.

Ainsi, des études complémentaires doivent être réalisées avant toute application de ces substances naturelles à plus grande échelle afin de prévenir d'éventuels risques aussi bien pour l'environnement que pour la santé humaine et animale.

*Références  
bibliographiques*



- **Abdellaoui Z., Teskrat H., Belhadj A., et Zaghouane O., 2010.** Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide. Options méditerranéennes. *Série A.*, 96 : 71-87.
- **Abecassis J., 2015.** La filière blé tendre. INRA- UMR IATE, Trafoon, Montpellier, 21 p.
- **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, Univ. 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.
- **Akbari G. A., Soltani E., Binesh S., and Amini F., 2018.** Cold tolerance, productivity and phytochemical diversity in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) accessions. *Ind. Crop. Prod.* 124: 677–684.<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.048>.
- **Andrew C., Karen P. S., Irene 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.
- **Anne-Marie Paradis 2016.** Guide Conseil. Les ravageurs des céréales stockées.<https://docplayer.fr/11325948-Guide-conseil-les-ravageurs-des-cereales-stockees.html>.
- **Anonyme, 2009.** Orge commune. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Orge.commune>. 19 février 2022.
- **Anonyme, 2020.** Expert naturel en soins et beauté. Guide des huiles essentielles. Fiche technique des huiles essentielles. Aromazone©. <https://www.aromazone.com/info/guide-des-huiles-essentielles/tous>. 08 octobre 2020.

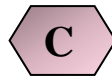
- **Anonyme, 2020.** Les céréales, culture essentielle de l'alimentation, Jardin et Binette <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1519-cereales-culture-essentielle-alimentation.html>
- **Aouali S., et Douici-Khalfi A., 2013.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte. *I.T.G.C.*, 8-36.
- **Aoues K., Boutoumi H., et Benriam A., 2017.** État phytosanitaire du blé locale stocké en Algérie. *Agrobiologia*, 7(1): 286-296.
- **Arrab R., 2016.** Effet insecticide des plantes *Melia azedarach* L. et *Peganum harmala* L. sur l'insecte des céréales stockées *Tribolium castaneum* Herbest (Coleoptera, Tenebrionidae). Mémoire de Magister en valorisation des ressources végétales, Univ., Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 89p.



- **Balachowsky A. S., 1963.** Entomologie appliquée à l'agriculture, Tome 1. Volume 2 : Coléoptères. Ed. Masson et Cie, Paris, 1097p.
- **Belagrouz A., 2013.** Analyse du comportement du blé tendre, variété el wifak (*Triticum aestivum* L.) conduite en labour conventionnel, travail minimum et semis direct sur les hautes plaines sétifiennes. Mémoire de Magister en agronomie, Univ., Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, 69p.
- **Belgaid A., et Rahmani A., 2018.** Activité insecticide du thym (*Thymus vulgaris* L.) sur un insecte des stocks *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera : Bruchidae). Master en Sciences Biologiques. Univ., Akli Mouhand Oulhadj, Bouira, Algérie, 77p.
- **Ben Chaaban S., Hamdi S. H., Mahjoub K., and Ben Jemâa J. M., 2019.** Composition and insecticidal activity of essential oil from *Rutagraveolens*, *Mentha pulegium* and *Ocimum basilicum* against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller and *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *J.P.D.P.*, 126(3): 237-246.
- **Benhalima H., Chaudhry M. Q., Mills K. A., and Price N. R., 2004.** Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *J. Stored Prod. Res.*, 40 : 241-249.

- **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.
- **Bettahar F., 2016.** Conception et prototypage d'un système complet pour la surveillance du grain dans les silos de stockage. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques et Agronomiques, Univ., Toulouse le Mirail - Toulouse II, France, 153p.
- **Belouaer R., et Selahdja A., 2020.** Synthèse bibliographique sur les méthodes de lutte contre les ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Univ., Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Algérie, 21p.
- **Borzoui E., Naseri B., and Nouri-Ganbalani G., 2017.** Effects of food quality on biology and physiological traits of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *J. Econ. Entomol.*, 110 (1): 266-273.
- **Borzoui E., Naseri B., and Namin F. R., 2015.** Different diets affecting biology and digestive physiology of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera : Dermestidae). *J. Stored Prod. Res.* 62: 1-7.
- **Boukhalfa H., et Rouabah I., 2020.** L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Univ., Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Algérie 26p.
- **Boukraa N., Ladjel S., Goudjil M. B., Eddoud A., and Sanori K. W. 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.
- **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. Entomology*, 27(2): 344-359.
- **Bouzeraa H., Bessila-Bouzeraa M., and Labed N., 2019.** Repellent and fumigant toxic potential of three essential oils against *Ephestia kuehniella*. *Biosystems Diversity*, 27(4) : 349-353.

- **Brader B., Lee R.C., Plarre R., Burkholder W., Kitto G.B., Kao C.H., Polston L., Dorneanu E., Szabo I., Mead B., Rouse B., Sullins D., and Denning R., 2002.** A comparison of screening methods for insect contamination in wheat. *J. S. P. Res.*, 38: 75-86.
- **Brahmi S., Deverra C., et Durieu N., 2019.** Biologie, composition chimique et activités biologiques des extraits et des huiles essentielles. Mémoire de Doctorat en Sciences Biologiques, Univ., Djelfa, Algérie, 165p.



- **Cabi (Centre for Agriculture and Biosciences International) 2019.** *Oryzaephilus surinamensis* (saw toothed grain beetle grain beetle). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/37988>. (December 16<sup>th</sup> 2021).
- **Camaroti J. R. S. L., De Almeida W. A., Do Rego Belmonte B., De Oliveira A. P. S., De Albuquerque Lima T., Ferreira M. R. A., Paiva P. M. G., Soares L. A. L., Pontual E. V., and Napoleão T. H., 2018.** *Sitophilus zeamais* adults have survival and nutrition affected by *Schinus terebinthifolius* leaf extract and its lectin. *Ind. Crops Prod.*, 116: 81-89.
- **Campolo O., Giunti G., Russo A., Palmeri V., and Zappalà L., 2018.** Essential oils in stored product insect pest control. *J. F. Q.* 773-778.
- **Chapman R.F., 2013.** The Insects Structure and Function, 5th Ed., Douglas, A.E. and Simpson. Ed. S.J., Cambridge University Press, Cambridge, 959 p.
- **Charmet G., Abecassis J., Bonny S., Fardet A., Forget F., et Lullien-Pellerin V., 2017.** Agriculture et alimentation durables, trois enjeux dans la filière céréales. Ed. Quae, Versailles, 189 p.
- **Chuck-Hernández C., Serna-Saldívar S. O., and García-Lara S., 2013.** Susceptibility of different types of sorghums during storage to *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *J. Stored Prod. Res.*, 54: 34-40.
- **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.
- **Codou-David G., 2018.** Blés anciens et modernes : une histoire de plus de 10 000 ans, Bourgogne-Franche-Comté Nature, 27 : 39p.

- **Cope J. M., and Fox C. W., 2003.** Oviposition decisions in the seed beetle, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae): effects of seed size on superparasitism. *J. Stored. Prod. Res.*, 39 (4): 355-365.
- **Cox P. D., and Collins L. E., 2002.** Factors affecting the behaviour of beetle pests in stored grain, with particular reference to the development of lures. *J. Stored Prod. Res.*, 38 (2): 95-115.
- **Cronquist A., 1981.** An integrated system of classification of flowering plants, Columbia University Press, New York, 248-250.
- **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

- **Dabrie C., Niango Ba M., and Sanon A., 2008.** Effects of crushed fresh *Cleomeviscosa* L. (Capparaceae) plants on the cowpea storage pest, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae). *Inter. J. Pest Manag.*, 54(4) : 319-326.
- **Dagnelie P., 1975.** Théories et méthodes statistiques. Vol 2. Ed. Presses agronomiques, Gembloux, 463p.
- **Dajoz R., 1985.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 505p.
- **Dal B. G., Padin S., Lopez lastra C., and Fabrizio M., 2001.** Laboratory evaluation of Chemical-biological control of the rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) in stored grains. *J. Stored Prod. Res.*, 37: 77-84.
- **De Carvalho B. N. C. R., Negrison Junior A. S., Bernardi D., and Silveira Garcia M., 2013.** Activity of eight strains of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) against five stored product pests. *Experimental Parasitology.*, 134: 384-388.
- **De Groot I., 2004.** Protection des céréales et des légumineuses stockées. Ed., Fondation Agromisa, Wageningen, 55p.
- **De Sa L. F., Wermelinger T. T., Da Ribeiro E. S., De Gravina G. A., Fernandes K. V., Xavier-Filho J., Venancio T. M., Rezende G. L., and Oliveira A. E. A., 2014.** Effects of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) seed coat on the embryonic and larval

development of the cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *J. Insect. Physiol.*, 60: 50-57.

- **Delobel A., et Tran M., 1993.** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Ed. Faune Tropicale, Paris, 424p.
- **Dos Santos Beckel H., Lorini I., Sonia M. N., and Lazzari., 2007.** Rearing method of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) on various wheat granulometry. *Bio. Control. Plant. Prot.*, 51(4): 501-505.
- **Doumandji A., Doumandji-mitiche B., et Doumandji S., 2003.** Cours de technologie des céréales, technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes au stockage. Ed., Office des publications universitaires, Alger, 129p.
- **Dubreil F. R., 2014.** Les bonnes pratiques du stockage des céréales. Vital Concept Agriculture, Vital Conseils. <https://www.vital-concept-agriculture.com/blog/stockage-cereale>.

## E

- **Ebrahimifar J., Jamshidnia A., Sadeghi R., and Ebadollahi A., 2020.** Repellency of *Ferulago angulate* Schlecht. Boiss essential oil on two major stored-product insect pests without effect on wheat germination. *Int. J. Tropi. Insect Sci.*, 41 (1): 1-7.
- **Emmanuel I., Yao T., and Shengmin S., 2017.** Bioactive phytochemicals in barley. *J. Food. Drug Anal.*, 25 (1): 148-161.
- **Erifili P., Nika A., Nickolas G., Kavallieratos A., Nikos E., and Papanikolaou., 2020.** Developmental and reproductive biology of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on seven commodities. *J. Stored Prod. Res.*, 11(4): 218.
- **Erifili P., Nika A., Nickolas G., Kavallieratos A., Nikos E., and Papanikolaou., 2021.** Linear and non-linear models to explain influence of temperature on life history traits of *Oryzaephilus surinamensis* (L.). *Entomol. Gen.*, 41(2): 157-167.

## F

- **FAO, 2022.** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande des céréales <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>. 24 mars 2022.


- **Faraone N., Hillier N. K., and Cutler G. C., 2015.** Plant essential oils synergize and antagonize toxicity of different conventional insecticides against *Myzuspersicae* (Hemiptera: Aphididae). *J. pone.*, 1(2): 77-74.
- **Fleurat-Lessard F., 2015.** Résidu de pesticides dans les céréales alimentaires : origine, devenir et gestion raisonnée. Ed., Quae, Gembloux, 160p.
- **Fleurat-Lessard F., 2018.** Gestion intégrée de la protection des stocks de céréales contre les insectes sans traitement insecticide rémanent. *Phytoma.*, 32-40.

## G

- **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* L.). Thèse de doctorat en Sciences Biologiques, U.M.M.T.O, Algérie, 143p.
- **Goudjil M., 2016.** Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques. Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées, Univ., Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 200p.
- **Govindaraj R., Mohankumar S., Rajasekaran B., and Mohan S., 2014.** Biology of the sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) on different stored products and its host associated genetic variability. Arthur F. H., Kengkanpanich R., Chayaprasert W., and Suthisut D., (Eds.), Proceedings of the 11th International Working Conference on Stored Product Protection, November 24-28 ; Chiang Mai, Thailand, Pp: 128-135.
- **Guignard J. L., et Dupont F., 2015.** Botanique : les familles de plantes. Ed., Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux, 408p.
- **Gwinner J., Harnish R., et Muck O., 1996.** Manuel sur la manutention et conservation des graines après récolte. Ed., GTZ, Allemagne, 368p.

## H

- **Halstead D. G. H., 1993.** Keys for the identification of beetles associated with stored products-II. Laemophloeidae, Passandridae and Silvanidae. *J. stored Prod. Res.*, 29 (2) : 99-197.

- **Halstead D., 1980.** A revision of the genus *Oryzaephilus* Ganglbauer, including descriptions of related genera (Coleoptera: Silvanidae). *J. Linnean. Society.*, 69(4): 271-374.
  - **Henrotte B., 2016.** Transformation des céréales, Itinéraires BIO, Biowallonie. Ed., Philippe Grogna, Belgique, 59p.
  - **Héral B., Stierlin E., Fernandez X., and Michel T., 2020.** Phytochemicals from the genus *Lavandula*. *Phytochem. Rev.*, 20: 751-771.
  - **Hernández-Alonso P., Camacho-Barcia L., Bulló M., and Salas-Salvadó J., 2017.** Nuts and dried fruits: An update of their beneficial effects on type 2 diabetes. *Nutrients*, 9 (7): 1-34.
  - **Hikal W. M., Baeshen R. S., and Said-Al H. A. H., 2017.** Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biology*, 3(1): 325.
  - **Hill D., 2008.** Pests of crops in warmer climates and their control. Ed., Springer, United Kingdom, 284p.
  - **Holloway P. J., and Jeffree C. E., 2017.** Epicuticular Waxes, In Encyclopedia of Applied Plant Sciences. 2<sup>nd</sup>Ed., Ed. Brian Thomas, Brian G Murray and Denis J Murphy, Academic Press, Oxford, 386p.
  - **Howe R. W., 1956.** The biology of the two common storage species of *Oryzaephilus* (Coleoptera: Cucujidae). *Ann. Appl. Biol.*, 44(2): 341-355.
  - **Huchet J. B., 2016.** Le Coléoptère, la Graine et l'Archéologue : Approche archéo entomologie des principaux ravageurs des denrées stockées. Ed., M.F. Diestch-Sellami, Ch. Hallavant, L. Bouby, B. Pradat Paris, 42p.
  - **Huignard J., 2013.** Les plantes et les insectes : une lutte permanente. Les défenses des plantes. *Insectes*, 168 : 1-8.
- 
- **Irma N. R., Cintia G. V., Maria V. C., Ana S., Ester S., and Carla C., 2017.** Identification and expression analysis of 11 subtilase genes during natural and induced senescence of barley plants. *J. Plant. Physio.*, 211: 70- 80.

## J

- **Jacob T. A., and Fleming D. A., 1989.** The difference in the development period and mortality of some field strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) at constant temperatures (Coleoptera: Silvanidae). *J. Stored Prod. Res.*, 25: 73-76.
- **Jarraya A., 2003.** Principaux nuisibles des plantes cultivées et des denrées stockées en Afrique du Nord. Leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts, leur contrôle. Ed., Climat Publications, Tunis, 415p.
- **Jestin, 1992 in Betka R., et Smaili Y., 2006.** Etude d'induction de la calogènes d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, Univ. M'sila, 80p.

## K

- **Kara K., 2015.** Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique. Thèse de Doctorat en Sciences biologiques et sciences agronomiques, Univ. Des Frères Mentouri Constantine, Algérie, 171p.
- **Karner M., Salvato G., et Uliana M., 2015.** Un nouveau genre et une nouvelle espèce de *Telephanini* (Coleoptera : Silvanidae) du Gabon. *J. Euro. Taxonomie.*, 130: 1-10.
- **Kavallieratos N. G., Athanassiou C. G., Arthur F. H., Throne J. E., 2012.** Lesser grain borers, *Rhyzopertha dominica*, select rough rice kernels with cracked hulls for reproduction. *J. Insect. Sci.*, 12(38): 1-8.
- **Kavallieratos N. G., Athanassiou C. G., Boukouvala M. C., Tsekos G. T., 2019.** Influence of different non-grain commodities on the population growth of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *J. Stored Prod. Res.*, 81: 31–39.
- **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., and 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.
- **Keskin S., and 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., and 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): 289-294.
- **Kheloul L., Anton S., Bréard D., and Kellouche A., 2021.** Fumigant toxicity of some essential oils and eucalyptol on different life stages of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Asia-Pacific. Entomo.*, 23: 320-326.
- **Khoualdi I., et Boughrara 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, Univ., Larbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi, Algérie, 58p.

## L

- **LeCato G. L., and McCray T. L., 1973.** Multiplication of *Oryzaephilus* spp. and *Tribolium* spp. on 20 natural product diets. *Environ. Entomol.*, 2 (2) : 176-179.
- **Levinson H., and Levinson A., 1998.** Control of stored food pests in the ancient Orient and classical antiquity. *J. Applied. Entomol.*, 122 (1-5): 137-144.
- **Liliana A. A. O., 2014.** Autophagie, sénescence et remobilisation de l'azote chez l'orge. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Univ., Paris-Sud, France, 164p.
- **Linnaeus C., 1758.** Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordinus, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Ed., Decima, Reformata., Impensis Direct, Laurentii Salvii, Holmiae, 824p.
- **Lopes-Lutz D., Alviano D. S., Alviano C. S., and Kolodziejczyk P. P., 2008.** Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of Artemisia essential oils. *Phytochem.*, 69(8): 1732-1738.

## M

- **Mahroof R. M., and Hagstrum D. W., 2012.** In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W., Cuperus, G.W. (Eds.), Biology, Behavior, and Ecology of Insects in Processed Commodities. *Stored. Prod. Protec.*, 33-44.
- **Mallah N. A., Sahito H. A., Kousar T., Kubar W. A., Jatoi F. A., and Shah Z. H., 2016.** Susceptibility of different varieties of stored date palm fruits infested by saw

tooth grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* L., (1758) under laboratory conditions. *J. Entomol. Zool. Stud.* 4: 438-443.

- **Mallek H., 2017.** Contribution à l'étude de la mycoflore associée aux grains de blé dans la wilaya de Bouira. Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Univ., Akli Mohand Oulhadj de Bouira, Algérie, 57p.
- **Marsin A. M., Muhamad I. I., Anis S. N. S., Lazim N. A. M., Ching L. W., and Dolhaji N. H., 2020.** Essential oils as insect repellent agents in food packaging. *Eur. Food Res. Technol.*, 246(8):1519-1532.
- **Martinez M., 2013.** Hypp-encyclopedie en protection des planteset Caractéristiques du ravageur *Stegobium paniceum* et de ses dégâts. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/16206/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Characteristiques-du-ravageur-et-de-ses-degats>. (20/02/2022).
- **Martins R. P., Gomes R. A. S., Malpass A. C. G., and Okura M. H., 2019.** Chemical characterization of *Lavandula* essential oils grown in Uberaba-MG. *Ciência Rural.*, 49:8.
- **Maughan N., 2012.** Evolution biologique et modélisation, *Cephalonomia tarsalis* en zones urbaines insecte. *Insecte.*, 164 (1) : 21-23.
- **Mckevith B., 2004.** Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bull.*, 29: 111-142.
- **Messaoudene H., et Mouhou N., 2017.** Etude de la toxicité des huiles essentielles contre les ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences biologiques, Univ., Abderrahmane MIR-Bejaia, Algérie, 35p.
- **Mowery S. V., Campbell J. F., and Mullen M. A., 2004.** Response of *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) to food odor emanating through consumer packaging films. *Envir. Entomol.*, 33 (1): 75-80.



- **Nuru A., Al-Ghamdi A., Tena Y.T., Shenkut A.G., Ansari M.J., and Al-Maktary A., 2015.** Floral phenology, nectar secretion dynamics and honey production potentials of *Lavandula* in south-western Saudi Arabia. *J. Apic. Sci.*, 59: 135-144.

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

## P

- **Panagiotis A. E., 2019.** Life table parameters of the parasitoid *Cephalonomia tarsalis* (Hymenoptera: Bethyridae) and its host the saw-toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae). *J. Plant. Prot. Res.*, 59(4): 544-551.
- **Pandey A. K., Kumar P., Saxena M., and Maurya P., 2020.** Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Ed., Panagiota Florou-Paneri, Grèce, 380p.

## R

- **Rajamanickam K., Packirisamy M., Ramalingam S., 2017.** Phytochemical Analysis, Antioxydant and Antibacteriel Activities of two traditionally used Indian medicinal plants. *Asian. J. Biology.*, 4(5): 1-11.
- **Rajkumar V., Gunasekaran C., Christy I. K., Dharmaraj J., Chinnaraj P., and Paul C. A., 2019.** Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of *Mentha piperita* L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. *Pesticide Biochemis. Physiol.*, 156: 138-144.
- **Rastoin J. L., et Ben abderrazik E., 2014.** Céréales et oléo protéagineux au Maghreb : Pour un co-développement de filières territorialisées « Construire la Méditerranée ».Ed., I pemed, Paris, 136p.
- **Rebey B. I., Bourgou S., Saidani Tounsi M., Fauconnier M. L., et Ksouri R., 2017.** Etude de la composition chimique et de l'activité antioxydante des différents extraits de la Lavande aspic (*Lavandula latifolia*). *J. New. Sci. Agric. Biotech.*, 39(2): 2096-2105.
- **Rees D., 2004.** Insect of Stored Products. Ed., CSIRO Publishing, Australia, 181p.
- **Regnault-Roger C., 2003.** De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième illénaire In Biopesticides d'origine végétal. Ed., Lavoisier, Tech et Doc, Paris, 140p.
- **Regnault-Roger C., and Hamraoui A., 1994.** Inhibition of reproduction of *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera) a kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) bruchid, by aromatic essential oils. *Crop Protec.*, 13:624-628.

- **Regnault-Roger C., Vincent C., and Arnason J. T., 2012.** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes word. *An. Review. Entomol.*, 57: 405-424.
- **Ripusudan L. P., Gonzalo G., Honor R. L., Alejandro D. V., 2002.** Le Maïs en zones tropicales : amélioration et production. Ed., Jean-Pierre Marathée, Rome, 382 p.
- **Roggen-Crausaz C., et Monod A., 2018.** Les secrets du druide 2. Ed. Bois carré, Suisse 256p.
- **Rosentrater K. A., and Evers A. D., 2018.** Introduction to cereals and pseudo cereals and their production. *Kent's Technol. Cereal.*, 5: 1-76.



- **Sahito H. A., Mallah N. M., Kousar T., Kubar W. A., Shah Z. H., Jatoi F. A., and 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.
- **Seifi S., Naseri B., and Razmjou J., 2016.** Nutritional physiology of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) fed on various barleycultivars. *J. Econ. Entomol.*, 109 (1) : 472–477.
- **Seri-Kouassi B. P., Kanko C., Aboua L. R. N., Bekon K. A., Glitho A. I., Koukoua G., and Guessan Y. T., 2004.** Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé. *C. R. Chim.*, 7: 1043-1046.
- **Shaaya E., Kostjukovski M., Eilberg J., and Sukprakarn C., 1997.** Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored product insects. *J. Stored Prod. Res.*, 33: 7-15.
- **Shaaya E., Ravis U., Paster N., Koutjukovsky M., and Plotkin S., 1993.** Essential oils and their components as active fumigants against several species of stored product insects and fungi. *Acta Horticulturae.*, 344: 131-137.
- **Shepherd J. G., Wolfram B., Sohi S. P., and 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.

- **Sinha R. N., et Watters F. L., 1985.** Insectes nuisibles des minoteries, des silos-élevateurs, des usines à provendes et méthodes de désinfection. Ed., Agriculture, Canada, 311p.
- **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. *Biocataly. Agricul. Biotechnol.*, 11:1-8.
- **Soltner D., 1998.** Les grandes productions végétales céréalières, plantes sarclées- prairies 16<sup>ème</sup> Ed., Collection sciences techniques agricoles, Montolieu, 463p.
- **Souza V. N. D., De Oliveira C. R. F., Matos C. H. C., and De Almeida D. K. F., 2016.** Fumigation toxicity of essential oils against *Rhyzopertha dominica* (F.) in stored maize grain. *Review Caatinga, Mossoró.*, 29(2): 435-440.
- **Sriman N. D., Ankit T., Vinay K. P., and Ghanshyam V. S., 2018.** Effect of nitrogen levels and its time of application on growth parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Pharmaco. Phytochem.*, 7(1): 333-338.
- **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.




- **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/molecules26041118>.
- **Taleb-Toudert 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.

- **Taleb-Toudert K., and Kellouche A., 2021.** Sage essential oil composition from Kabylia (Algeria) and its biological effects against cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*) (Coleoptera: Bruchidae). Mdpi Editor, Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Entomology (IECE 2021); Jul 1-15; Basel, Switzerland. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>.
- **Thomas M. C., and Leschen R. A. B., 2010.** Manuel de zoologie, coléoptères, coléoptères, Vol. 2: morphologie et systématique des Silvanidés (Elateroidea, Bostrichiformia, Cucujiformia partim). In Leschen R., Beutel RG., and Lawrence JF., (Eds.), Berlin Walter de Gruyter, Germany, 812p.
- **Tirakmet S., 2015.** Étude 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 : Tenebrionidea). Mémoire de Master en Agronomie, UMMTO., Algérie, 76p.
- **Trivedi A., Nayak N., and Kumar J., 2018.** Recent advances and review on use of botanicals from medicinal and aromatic plants in stored grain pest management. *J. Entomol. Zool. Stud.*, 6(3): 295-300.
- **Turney H. A., 1957.** Some effects of cracked grain on the reproduction of the saw-toothed grain beetle. *J. Kansas. Entomol. Society.*, 30: 6-8.



- **Waongo A., Yamkoulga M., Dabir-Binso C. L., Ba M. N., and Sanon A., 2013.** Conservation post récolte des céréales en zone sud-saoudienne du Burkina Faso : Perception paysanne et évaluation des stocks. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(3) : 1157-1167.
- **Weaver D. K., Dunkel F. V., Ntezurubanza L., Jackson L., and Stock D. T., 1991.** The efficacy of linalool, a major component of freshly-milled *Ocimum canum* Sims (Lamiaceae), for protection against postharvest damage by certain stored product Coleoptera. *J. stored Prod. Res.*, 27 (4): 213-220.

- **Wijayaratne L. K. W., and Rajapakse R. H. S., 2018.** Effects of spinosad on the heat tolerance and cold tolerance of *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored. Prod. Res.*, 77: 84-88.
  - **Yang Y., Isman M. B., and Tak J. H., 2020.** Insecticidal activity of 28 essential oils and a commercial product containing *cinnamomum* cassia bark essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Insects*, 11(8):1-15.
  - **Yoshida T., et Hirowatari T., 2018.** Un nouveau genre et une nouvelle espèce de Brontinae de Bornéo (Coleoptera, Silvanidae). *Zookeys.*, 805: 45-57.
  - **Yoshida T., Hirowatari T., et Hashim R., 2017.** Un nouveau genre de Silvaninae (Coleoptera : Silvanidae) avec deux nouvelles espèces de la péninsule malaise. *Zootaxa.*, 4258(4): 365-374.
- 
- **Zahran E.M., Abdelmohsen U.R., Khalil H.E., Desoukey S.Y., Fouad M.A., and Kamel M.S., 2020.** Diversity, phytochemical and medicinal potential of the genus *Ocimum* L. (Lamiaceae). *Phytochem. Rev.*, 19(4): 907-953.

## Résumé

Cette étude a pour objectifs de déterminer d'abord les préférences alimentaires d'*O. surinamensis*, l'un des principaux insectes ravageurs des denrées alimentaires entreposées, en l'exposant huit substrats différents, puis la durée de son cycle biologique sur deux substrats alimentaires, la poudre de blé tendre et la farine d'orge et enfin d'évaluer la toxicité de l'association de trois huiles essentielles (*O. basilicum*, *L. spica* et *M. piperita*), par inhalation, à l'égard des adultes et des nymphes de ce ravageur, dans des conditions de laboratoire. Les résultats acquis montrent qu'*O. surinamensis* a une préférence significative pour l'orge et la semoule, avec un taux d'émergence des adultes de la première génération de 71 % et 61%, respectivement. En revanche, ce le taux d'émergence est très faible sur le riz (3%). Par ailleurs, *O. surinamensis* développe 5 stades larvaires, avec une période d'incubation des œufs et celle de la nymphose qui sont presque les mêmes sur les deux substrats. La durée totale de développement de l'insecte est de 41 jours sur le blé tendre et de 31 jours sur l'orge. D'autre part, le taux de mortalité naturelle est plus élevé sur le blé tendre (70%) comparativement, à l'orge (27%). Nos résultats indiquent que les traitements insecticides réalisés avec le mélange de trois huiles essentielles ont causé une mortalité de 100 % des adultes, à la dose 4.5µl, après 72h d'exposition et une létalité totale des nymphes, à la dose 3µl, après 96h d'exposition. Par conséquent, l'utilisation de cette combinaison de substances naturelles représente une piste intéressante à explorer dans la recherche d'un moyen alternatif de lutte contre les insectes ravageurs des produits alimentaires entreposés, en remplacement des produits chimiques dont on connaît suffisamment les nuisances.

**Mots-clés :** *Oryzaephilus surinamensis*, préférence alimentaire, cycle biologique, huile essentielle, inhalation, toxicité.

## Abstract

This study aims firstly to determine food preferences of *O. surinamensis*, one of the main insect pests of stored foodstuffs, by exposing it to eight different substrates, then the duration of its biological cycle on two food substrates, soft wheat powder and barley flour, and finally to improve the performance of three essential oils association (*O. basilicum*, *L. spicata* and *M. piperita*), by inhalation, against adults and nymphs of this pest, under laboratory conditions. Results demonstrated that *O. surinamensis* had a significant preference for barley and semolina, with a first-generation adult emergence rate of 71% and 61%, respectively while this emergence rate is very low on rice (3%). On the other hand, *O. surinamensis* develops 5 larval stages, with an egg incubation and pupation period which are almost the same on both substrates. Total development time of the pest was 41 days on common wheat and 31 days on barley. Also, the natural mortality rate was higher when the food substrate was soft wheat (70%) compared to barley (27%). Our results indicate that the insecticide treatments carried out with the mixture of three essential oils induced an adult mortality of 100% at the dose of 4.5µl, after 72h exposure and a total lethality of the nymphs, at the dose of 3µl, after 96h exposure. Consequently, the use of this combination of natural substances represents an interesting avenue to explore for searching alternative means of combating insect pests of stored food products, replacing chemicals whose harmful effects are sufficiently well known.

**Keywords :** *Oryzaephilus surinamensis*, food preference, biological cycle, essential oil, inhalation, toxicity.