



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE VIE

DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES

LABORATOIRE DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE DES PRODUCTIONS
VEGETALES (LBPV)

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention

Du diplôme de Master Académique en Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité : Phytopharmacie et protection des végétaux



**ETUDE COMPARÉE DE L'EFFICACITÉ DES HUILES
ESSENTIELLES FORMULÉES À BASE DE THYM ET DE
GERANIUM SUR UN RAVAGEUR DES DENRÉES STOCKÉES
TRIBOLIUM CASTANIMUM (HERBST, 1797).**

Présenté par :

Mlle AIT AZZOUG SARAH

Mlle BOUASLA SIRINE

Soutenu devant le jury composé de :

Mr	MOUSSAOUI	KAMEL	MAA	Président	Université Blida 1
Mme	BABA-AISSA	KARIMA	MAA	Promotrice	Université Blida 1
Mme	REMINI	LOUIZA	MCB	Examinatrice	Université Blida 1

ANNEE UNIVERSITAIRE 2019/2020

REMERCIEMENTS

Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices ; nos remerciements vont d'abord au Créateur de l'univers qui nous a doté d'intelligence, et nous a maintenu en santé pour mener à bien cette année d'étude.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude, notre reconnaissance et nos vifs remerciements à **Mme BABA AISSA K.** Maître assistant à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Saad Dahleb de Blida1 pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la direction de ce mémoire ainsi que pour ses encouragements et pour avoir partagé avec nous ses compétences tout au long de ce travail et pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle nous a procuré.

Nous exprimons nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance à **Mr MOUSSAOUI K.** Maître assistant à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Saad Dahleb de Blida1 d'avoir bien voulu accepter de présider ce jury.

Nos très vifs remerciements vont aussi à **Mme REMINI L.** Maître de conférences à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Saad Dahleb de Blida1 pour avoir bien voulu examiner ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent également à **Mr WAEEL HAMMAD** pour son aide durant la période de réalisation de ce travail.

Enfin, Merci à tous ceux et celles qui nous ont soutenus d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin.

DÉDICACES

Je dédie ce travail, tout d'abord à la mémoire de mon très cher grand-père, parti trop tôt, paix à son âme, s'il était encore vivant, il serait certainement fier de moi. Ainsi qu'à ma grand-mère, *ce travail est le résultat de tes prières incessantes, de ta tendresse, et de ton amour. Que dieu te procure santé et joie pour le restant de ta vie...Je t'aime !*

A mes très chers parents....

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

A mes très chères tantes..., mes conseillères, qui m'ont assisté dans les moments difficiles et m'ont pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles.... Je vous suis très reconnaissante, et je ne vous remercierai jamais assez pour votre amabilité, votre générosité et votre aide précieuse.

A ma chère sœur et mes adorables frères que Dieu puisse vous garder pour moi et que votre vie soit comblée de réussite et de bonheur.

A mon âme sœur Gigi ma plus douce, ma confidente. Ton amitié est un honneur et une fierté pour moi. Je te remercie pour les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble, Que notre amitié soit éternelle.

A toutes mes amies avec qui j'ai partagé les meilleurs moments de ma jeunesse : Ilham, Rahma, Zola et Nawel

A ma chère amie et mon binôme Sirine et sa Famille

A la mémoire de mon oncle Hamid Qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je te dédie aujourd'hui ma réussite. Que Dieu, t'accueille dans son éternel paradis.

A toutes les personnes que je connais.

Sarah

DÉDICACES

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde, mes chers parents qui m'ont permis de continuer mes études dans les meilleures conditions et qui m'ont appris à ne jamais baisser les bras

A mes très chères sœurs pour leur amour et leur soutien

A toutes mes tantes pour leurs tendresses et leurs affections et encouragements. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

A mes chers amis et collègues : sarah oz, mayssoune, bouchra, maya, hadjer

A tous ceux qui m'ont apporté de l'aide de près ou de loin, Je leur dédie ce travail.

Sirine

RÉSUMÉ

ETUDE COMPARÉE DE L'EFICACITÉ DES HUILES ESSENTIELLES FORMULÉES À BASE DE THYM ET DE GERANIUM SUR UN RAVAGEUR DES DENRÉES STOCKÉES *TRIBOLIUM CASTANIUM* (HERBST, 1797).

Les huiles essentielles constituent un élément majeur dans la lutte biologique contre les ennemies des denrées stockées, l'application raisonnée de ces huiles permet de minimiser les effets secondaires des produits chimiques sur la santé humaine essentiellement et aussi sur l'environnement.

La présente étude se propose d'estimer dans le temps l'effet comparé de l'efficacité de trois bioproduits formulés à base d'huiles essentielles de plantes aromatiques à savoir *Thymus vulgaris L.*, *Pélargonium sp.* et leur synergie sur les adultes de *Tribolium castaneum Herbst* (1797) par des tests de toxicité à savoir inhalation et contact. Cependant, la bioformulation constituée de la synergie des deux huiles essentielles de *Thym* et de *Géranium* s'est révélée la plus toxique en présentant 84% de mortalité par rapport à celles de *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.* testées séparément (seules) qui ont enregistré une mortalité de l'ordre de 56% et 58% respectivement.

Les résultats relatifs à l'effet doses ont montré que la variation des concentrations des bioproduits appliquées influence très significativement les mortalités de *Tribolium castaneum*, représentées par des taux croissants allant de la faible dose (D1 =1ml) suivie de la moyenne dose (D2=2ml) et enfin de la forte dose (D3=3ml) qui se révèle la plus efficace avec un taux de 82.22% de mortalité corrigé à 24H pour l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.*, de 88.57% pour celle de *Pélargonium sp.* et enfin de 98.88% pour la synergie des deux huiles. Cependant, à 72h après traitement, les trois bioproduits testés ont atteint 100% de mortalité. En effet, plus la dose augmente et plus l'efficacité est grande dans le temps. Les doses létales obtenues (DL50) sont respectivement de 0.69 ml et 1.49 ml pour l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.* ; de 0.63 ml et 0.67 ml pour celle de *Pélargonium sp.* et enfin de 0.12 ml et 0.21 ml pour la synergie des deux huiles. Par ailleurs, les traitements appliqués se sont avérés plus toxiques par inhalation que par contact, ce qui nous permet d'avancer que le mode inhalation est le plus approprié pour réprimer l'abondance de ces ravageurs.

Mots clés : Huiles essentielles, *Pélargonium sp.*, Synergie, Toxicité, *Thymus vulgaris L.*, *Tribolium castaneum*.

ABSTRACT

COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF ESSENTIAL OILS FORMULATED BASED ON THYME AND GERANIUM ON A PEST OF STORED FOODSTUFFS *TRIBOLIUM CASTANIUM* (HERBST, 1797).

Essential oils constituting a major element in the biological fight against the enemies of stored foodstuffs, the reasoned application of these oils makes it possible to minimize the side effects of chemicals on human health mainly and also on the environment.

The present study proposes to estimate in the time of effect compared to the effectiveness of three bioproducts formulated based on essential oils of aromatic plants, namely *Thymus vulgaris L.*, *Pelargonium sp.* and their synergy on the adults of *Tribolium castaneum Herbst (1797)* by toxicity tests namely inhalation and contact. However, the bioformulation consisting of the synergy of the two essential oils of Thyme and Geranium was found to be the most toxic, exhibiting 84% mortality compared to those of *Thymus vulgaris L.* and *Pelargonium sp.* tested separately (alone) which recorded mortality in the order of 56% and 58% respectively.

The results relating to the dose effect have shown that the variation in the concentrations of the bioproducts applied very significantly influences the mortalities of *Tribolium castaneum*, represented by increasing rates ranging from the low dose (D1 = 1ml) followed by the medium dose (D2 = 2ml) and finally the high dose (D3 = 3ml) which proves to be the most effective with a mortality rate of 82.22% corrected at 24 hours for the essential oil of *Thymus vulgaris L.*, of 88.57% for that of *Pelargonium sp.* and finally 98.88% for the synergy of the two oils. However, 72 hours after treatment, the three bioproducts tested reached 100% mortality. This is because the higher the dose, the greater the effectiveness over time. The lethal doses obtained (LD50) are respectively 0.69 ml and 1.49 ml for the essential oil of *Thymus vulgaris L.*; 0.63 ml and 0.67 ml for that of *Pelargonium sp.* and finally 0.12 ml and 0.21 ml for the synergy of the two oils. Furthermore, the treatments applied have been shown to be toxic by inhalation than by contact, which allows us to suggest that the inhalation mode is the most appropriate to suppress the abundance of these pests.

Key words: Essential oils, *Pelargonium sp.*, Synergy, Toxicity, *Thymus vulgaris L.*, *Tribolium castaneum*.

ملخص

دراسة مقارنة لفعالية الزيوت الأساسية المركبة على أساس الزعتر والجرازيوم على آفة من قشور البروبوليوم المخزنة (هيربست، 1797).

تشكل الزيوت العطرية عنصراً رئيسياً في المعركة البيولوجية ضد أعداء المواد الغذائية المخزنة، ويسمح التطبيق المنطقي لهذه الزيوت بتقليل الآثار الجانبية للمواد الكيميائية على صحة الإنسان بشكل رئيسي وعلى البيئة أيضاً.

تقترح الدراسة الحالية تقدير وقت التأثير مقارنة بفاعلية ثلاث منتجات حيوية تمت صياغتها على أساس الزيوت الأساسية للنباتات العطرية، وهي *Thymus vulgaris L.* و *Pélargonium sp.* وتأزرهم على البالغين من *Tribolium castaneum Herbst* (1797) عن طريق اختبارات السمية وهي الاستنشاق والتلامس

ومع ذلك، فقد وجد أن التركيبة الحيوية المكونة من تأزر اثنين من الزيوت الأساسية من الزعتر وإبرة الراعي هي الأكثر سمية، حيث أظهرت نسبة وفيات 84% مقارنة بتلك الموجودة في *Thymus vulgaris L.* و *Pélargonium sp.* تم اختبارها بشكل منفصل (وحده) وسجل معدل الوفيات في حدود 56% و 58% على التوالي.

أظهرت النتائج المتعلقة بتأثير الجرعة أن الاختلاف في تركيزات المنتجات الحيوية المطبقة يؤثر بشكل كبير على نفوق تريبوليوم كاستانيوم، ويمثل ذلك زيادة معدلات تتراوح من الجرعة المنخفضة (D1 = 1 مل) تليها الجرعة المتوسطة (D2 = 2ml) وأخيراً الجرعة العالية (D3 = 3ml) والتي تبين أنها الأكثر فاعلية مع معدل وفيات 82.22%. مصحح في 24 ساعة للزيت العطري من *Thymus vulgaris L.*، 88.57% لزيوت *Pélargonium sp.* وأخيراً 98.88% لتأزر الزيتين. ومع ذلك، بعد 72 ساعة من العلاج، وصلت المنتجات الحيوية الثلاثة المختبرة إلى معدل وفيات بنسبة 100%. هذا لأنه كلما زادت الجرعة، زادت الفعالية بمرور الوقت. الجرعات المميتة التي تم الحصول عليها (LD50) على التوالي 0.69 مل و 1.49 مل للزيت العطري من *Thymus vulgaris L.*؛ 0.63 مل و 0.67 مل من *Pélargonium sp.* وأخيراً 0.12 مل و 0.21 مل لتأزر الزيتين.

بالإضافة إلى ذلك، ثبت أن العلاجات المطبقة سامة عن طريق الاستنشاق أكثر من الملامسة، مما يسمح لنا باقتراح أن طريقة الاستنشاق هي الأنسب لقمع وفرة هذه الآفات.

الكلمات المفتاحية: الزيوت الأساسية، *Pélargonium sp.*، التأزر، السمية، *Thymus vulgaris L.*

Tribolium castaneu

SOMMAIRE

REMERCIEMENT.....	
DÉDICACES.....	
RÉSUMÉ.....	
ABSTRACT.....	
ملخص.....	
SOMMAIRE.....	
LISTE DES SYMBOLES ET D'ABRÉVIATION.....	
LISTE DES FIGURES.....	
LISTE DES TABLEAUX.....	
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1 : Le stockage des céréales et les moyens de lutte contre les bioagresseurs.....	4
1. Les céréales.....	4
1 Importance économique des céréales.....	4
1.1 Dans le monde.....	4
1.2 En Algérie.....	4
2. Le stockage des céréales.....	4
2.1. Généralités.....	4
2.2. Principaux insectes ravageurs des Céréales Stockées.....	4
2.2.1. Les lépidoptères.....	4
2.2.2. Coléoptères.....	5
3. Présentation du <i>Tribolium castaneum</i>	6
3.1. Généralités sur Ténébrionidae.....	6
3.2. Position systématique.....	6
3.3. Origine et répartition géographique.....	6
3.4. Morphologie.....	6
3.5. Bio-écologie.....	8
3.6. Dommages et importance.....	8
4. Méthodes de lutte.....	9
4.1. La lutte préventive.....	9
4.2. La lutte curative.....	9
4.2.1. La lutte chimique.....	9
4.2.2. Lutte physique et mécanique.....	10
4.2.3. Lutte biotechnique par confusion sexuelle.....	11
4.2.4. Lutte biologique.....	11
Chapitre 2 : Les Biopesticides.....	12
1. Importance des biopesticides.....	12
2. Les huiles essentielles.....	13
2.1. Historique.....	13
2.2. Définition.....	13
2.3. Répartition.....	13

2.4. Localisation et lieu de synthèse	14
2.5. Propriétés physico-chimiques	14
2.6. Rôle physiologique	14
2.7. Composition chimique	15
2.7.1. Les terpenoïdes	15
2.7.2. Les composés aromatiques	15
2.7.3 Les composés d'origines diverses	16
2.7.4 Notion de chémotype	16
2.8. Facteurs de variabilité de la composition chimique	16
2.8.1. Facteurs intrinsèques	16
2.8.2. Facteurs extrinsèques	16
2.9. Méthodes d'extraction des huiles essentielles	17
2.9.1. Hydrodistillation	17
2.9.2. Hydrodiffusion	18
2.9.3. Entraînement à la vapeur	18
2.9.4. Distillation à la vapeur saturée	18
2.9.5. Extraction à froid	18
2.9.6. Extraction par CO ₂ super critique.....	18
2.9.7. Extraction par solvants organiques.....	19
2.9.8. Extraction assistée par micro-onde	19
2.10. Domaines d'application	19
2.10.1. Parfums et cosmétiques	19
2.10.2. Santé : pharmacie et aromathérapie	19
2.10.3. Agro-alimentaire	19
2.10.4. Agriculture	20
2.11. Intérêt de la formulation	20
3. Les plantes étudiées	21
3.1. <i>Thymus vulgaris</i> L.....	21
3.1.1. Description morphologique.....	21
3.1.2. Taxonomie	21
3.1.3. Habitat.....	22
3.1.4. Répartition géographique	22
3.1.4.1. Dans le monde	22
3.1.4.2. En Algérie.....	22
3.1.5. Composition chimique	23
3.1.6. Usages	23
3.2. <i>Pelargonium</i> sp.....	23
3.2.1. Description morphologique.....	23
3.2.2. Habitat.....	24
3.2.3. Taxonomie	24
3.2.4. Répartition géographique	25
3.2.4.1. Dans le monde	25
3.2.4.2. En Algérie.....	25
3.2.5. Composition chimique	25

3.2.6. Utilisation	26
Chapitre 3 : Matériel et méthodes	27
1. Présentation des régions d'étude	27
1.1. Situation géographique des régions de récolte	27
1.2. Synthèse climatique	28
1.2.1. Diagramme ombrothermique	28
1.2.2. Climagramme d'Emberger	29
2. Lieu de l'expérimentation	30
3. Matériels utilisés	31
3.1. Matériel de laboratoire	31
3.2. Matériels biologiques.....	31
3.2.1. Matériel végétal	31
3.2.2. Matériel animal	31
3.2.2.1. Identification de l'espèce étudiée	31
3.2.2.2. Elevage du matériel animal	32
4. Méthodes	33
4.1. Formulation des bioproduits	33
4.2. Préparation des doses	33
4.3. Les Tests de toxicité	34
4.3.1. Application par inhalation	34
4.3.2. Application par contact	35
5. Exploitation des données	36
5.1. Dénombrement	36
5.2. Estimation de la mortalité observée	36
5.3. Estimation de la mortalité corrigée	36
5.4. Calcul des doses létales 50	36
5.5. Analyse de la variance	37
Chapitre 4 : Résultats	39
1. Évaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle formulée de <i>Thymus vulgaris</i> <i>L.</i>	39
1.1. Fluctuation des taux de mortalité par contact	39
1.2. Fluctuation des taux de mortalité par inhalation	40
1.3. Comparaison des deux modes d'application	41
2. Évaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle formulée de <i>Pélargonium sp.</i>	42
2.1. Fluctuation des taux de mortalité par contact.....	42
2.2. Fluctuation des taux de mortalité par inhalation.....	43
2.3. Comparaison des deux modes d'application.....	45
3. Évaluation de l'activité insecticide de la synergie de deux huiles essentielles.....	45
3.1. Fluctuation des taux de mortalité par contact.....	45
3.2. Fluctuation des taux de mortalité par inhalation.....	47
3.3. Comparaison des deux modes d'application.....	48
4. Comparaison des trois traitements.....	49

5. Analyses de la variance (GLM) pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris L.</i>	50
5.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris L.</i> par contact sur <i>Tribolium Castaneum</i>	50
5.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris L.</i> par inhalation sur <i>Tribolium Castaneum</i>	51
6. Analyses de la variance (GLM) pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de <i>Pélargonium sp.</i>	52
6.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de <i>Pélargonium sp.</i> par contact sur <i>Tribolium Castaneum</i>	52
6.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de <i>Pélargonium sp</i> par inhalation sur <i>Tribolium Castaneum</i>	53
7. Analyses de la variance (GLM) pour le test d'efficacité temporelle de la synergie..	54
7.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de la synergie par contact sur <i>Tribolium Castaneum</i>	54
7.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de la synergie par inhalation sur <i>Tribolium Castaneum</i>	55
8. Estimation de la DL50.....	56
8.1. La DL50 des différents modes d'exposition de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris L.</i>	56
8.2. La DL50 des différents modes d'exposition de l'huile essentielle de <i>Pélargonium sp.</i>	57
8.3. La DL50 des différents modes d'exposition de l'huile essentielle de la synergie...	59
Chapitre 5 : Discussion.....	61
Conclusion et perspective.....	67
Références bibliographies.....	68

LISTE DES SYMBOLES ET D'ABRÉVIATION

% : pourcentage

D : dose

D1 : dose 1 (1ml/9ml d'eau)

D2 : dose 2 (2 ml/8 ml d'eau)

D3 : dose 3 (3 ml/7ml d'eau)

DL50 : dose létale pour tuer 50% de population

g : gramme

GLM : modèle générale linière HE : huile essentielle HEF : huile essentielle formulée

FAO : organisation de la nation unie par l'alimentation

h : heures

H : Humidité

Ma : matière active

Mc% : mortalité corrigée

ml : millilitre

MO : mortalité observée

P : Probabilité

Probit : Modèle employé en statistique pour la réalisation de la droite de régression

R : Répétition

R² : Régression

S : Significatif

T : Témoin

T.H.S : Très hautement significatif

T° : Température

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Adulte de <i>Tribolium castaneum</i>	7
Figure 2. Nymphe de <i>Tribolium castaneum</i>	7
Figure 3. Dimorphismes sexuels chez la puppe et le mâle de <i>Tribolium castaneum</i>	7
Figure 4. La larve de <i>Tribolium castaneum</i>	8
Figure 5. Cycle de développement de <i>Tribolium castaneum</i>	8
Figure 6. Dégâts de <i>Tribolium castaneum</i> sur la semoule.....	9
Figure 7. Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation.....	17
Figure 8. Aspect morphologique de <i>Thymus vulgaris</i> L.....	21
Figure 9. Distribution géographique du thym dans le monde.....	22
Figure 10. Aspect morphologique de <i>Pelargonium</i> sp.	24
Figure 11. Distribution géographique du <i>pélargonium</i> sp. dans le monde.....	25
Figure 12. Carte de localisation régionale d'El Milia.....	27
Figure 13. Carte de localisation régionale du Zéralda.....	28
Figure 14. Diagramme ombrothermique des deux régions de récolte.....	29
Figure 15. Climagramme d'emberger pour les deux régions d'El Milia et Zéralda.....	30
Figure 16. Partie tête et thorax de <i>Tribolium castaneum</i> (massue antennaire brusquement élargie)	32
Figure 17. Partie tête et thorax de <i>Tribolium confusum</i> (massue antennaire graduellement élargie)	32
Figure 18. Partie tête et thorax de <i>Tribolium castaneum</i> (espace plutôt étroit entre les yeux environ 33% de la largeur de la tête).....	32
Figure 19. Partie tête et thorax de <i>Tribolium confusum</i> (espace plutôt large entre les yeux environ 50% de la largeur de la tête).....	32
Figure 20. Partie tête et thorax de <i>Tribolium castaneum</i> (yeux comportant 4 facettes à leur point le plus étroit).....	32

Figure 21. Partie tête et thorax de <i>Tribolium confusum</i> (yeux comportant 2 facettes à leur point le plus étroit).....	32
Figure 22. Elevage en masse de <i>Tribolium castaneum</i>	32
Figure 23. Bioformulations à base des huiles essentielles étudiées de <i>Thymus vulgaris</i> L. et <i>Pélargonium sp.</i> et la synergie de ces huiles.....	33
Figure 24. Préparation des différentes doses (D1, D2, D3).....	33
Figure 25. Application des traitements par mode d'inhalation.....	34
Figure 26. Application des traitements par mode de contact.....	35
Figure 27. Schéma directeur des différents traitements appliqués sur les populations de <i>Tribolium castaneum</i>	38
Figure 28. Évolution temporelle du taux de mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> traité par contact sous l'effet de la bioformulation de <i>Thymus vulgaris</i> L.(A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée.....	40
Figure 29. Évolution temporelle du taux de mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> traité par inhalation sous l'effet de la bioformulation de <i>Thymus vulgaris</i> L.(A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée.....	41
Figure 30. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> par inhalation et contact sous l'effet de la bioformulation de <i>Thymus vulgaris</i> L.....	42
Figure 31. Évolution temporelle du taux de mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> traité par contact sous l'effet de la bioformulation de <i>Pélargonium sp.</i> (A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée.....	43
Figure 32. Évolution temporelle du taux de mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> traité par inhalation sous l'effet de la bioformulation de <i>Pélargonium sp.</i> (A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée.....	44
Figure 33. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par différents modes inhalation et contact sous l'effet de la bioformulation de <i>Pélargonium sp.</i>	45

Figure 34. Évolution temporelle du taux de mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> traité par contact sous l'effet de la bioformulation de la synergie (A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée.....	46
Figure 35. Évolution temporelle du taux de mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> traité par inhalation sous l'effet de la bioformulation de la synergie (A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée.....	48
Figure 36. Évolution de la mortalité corrigée des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> traité par inhalation et contact sous les bioformules de la synergie.....	48
Figure 37. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par différentes doses de <i>Thymus vulgaris L.</i> ; <i>Pélargonium sp.</i> et la synergie de ces huiles par contact.....	49
Figure 38. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par différentes doses de <i>Thymus vulgaris L.</i> ; <i>Pélargonium sp.</i> et la synergie de ces huiles par contact.....	50
Figure 39. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> traité par <i>Thymus vulgaris L.</i> par contact en fonction du temps et des doses.....	51
Figure 40. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> traité par <i>Thymus vulgaris L.</i> par inhalation en fonction du temps et des doses.....	52
Figure 41. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> traité par <i>Pélargonium sp.</i> par contact en fonction du temps et des doses.....	53
Figure 42. L'analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> traité par <i>Pélargonium sp.</i> par inhalation en fonction du temps et des doses.....	54
Figure 43. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> traité par synergie par contact en fonction du temps et des doses	55
Figure 44. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> traité par synergie par inhalation, en fonction du temps et des doses	56

Figure 45. Droite de régression représentant la mortalité par contact transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de <i>Thymus vulgaris L.</i>	57
Figure 46. Droite de régression représentant la mortalité par inhalation transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de <i>Thymus vulgaris L.</i>	57
Figure 47. Droite de régression représentant la mortalité par contact transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de <i>Pélargonium sp.</i>	58
Figure 48. Droite de régression représentant la mortalité par inhalation transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de <i>Pélargonium sp.</i>	59
Figure 49. Droite de régression représentant la mortalité par contact transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de la synergie de deux huiles essentielles <i>Thymus vulgaris L.</i> et <i>Pélargonium sp.</i>	60
Figure 50. Droite de régression représentant la mortalité par inhalation transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de la synergie de deux huiles essentielles <i>Thymus vulgaris L.</i> et <i>Pélargonium sp.</i>	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Classification de <i>Tribolium castaneum</i>	6
Tableau 2. La Classification botanique de l'espèce <i>Thymus vulgaris L.</i>	21
Tableau 3. La Classification botanique de l'espèce <i>Pelargonium sp.</i>	24
Tableau 4. Taux de mortalité observée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Thymus vulgaris L.</i> par contact.....	39
Tableau 5. Taux de mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Thymus vulgaris L.</i> par contact.....	39
Tableau 6. Taux de mortalité observée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Thymus vulgaris L.</i> par inhalation.....	40
Tableau 7. Taux de mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Thymus vulgaris L.</i> par inhalation	41
Tableau 8. Taux de mortalité observée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Pélargonium sp.</i> par contact.....	42
Tableau 9. Taux de mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Pélargonium sp.</i> par contact.....	43
Tableau 10. Taux de mortalité observée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Pélargonium sp.</i> par inhalation.....	44
Tableau 11. Taux de mortalité corrigée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par <i>Pélargonium sp.</i> par inhalation.....	44
Tableau 12. Taux de mortalité observée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par la synergie par contact.....	46
Tableau 13. Taux de mortalité corrigé du <i>Tribolium castaneum</i> traité par la synergie par contact.....	46
Tableau 14. Taux de mortalité observée du <i>Tribolium castaneum</i> traité par la synergie par inhalation	47
Tableau 15. Taux de mortalité corrigé du <i>Tribolium castaneum</i> traité par la synergie par inhalation	47

Tableau 16. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> par rapport au temps et aux doses appliquées par contact (<i>Thymus vulgaris</i> L.).....	50
Tableau 17. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité du <i>Tribolium Castaneum</i> par rapport au temps et aux doses appliquées par inhalation (<i>Thymus vulgaris</i> L.).....	51
Tableau 18. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par contact (<i>Pélargonium</i> sp.).....	52
Tableau 19. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par inhalation (<i>Pélargonium</i> sp.).....	53
Tableau 20. Analyse de variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par contact (synergie).....	54
Tableau 21. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par inhalation (synergie).....	55
Tableau 22. Toxicité (DL50) de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> L. sur les adultes du <i>Tribolium castaneum</i> selon deux modes d'exposition.....	57
Tableau 23. Toxicité (DL50) de l'huile essentielle de <i>Pélargonium</i> sp. sur les adultes du <i>Tribolium castaneum</i> selon deux modes d'exposition.....	58
Tableau 24. Toxicité (DL50) de la synergie de deux huiles essentielles <i>Thymus vulgaris</i> L. et <i>Pélargonium</i> sp. sur les adultes du <i>Tribolium castaneum</i> selon deux modes d'exposition.....	59

INTRODUCTION

Les céréales et leurs dérivées constituent depuis toujours la principale ressource alimentaire de l'homme et des animaux domestiques (**Aoues et al., 2017**), elles fournissent actuellement une alimentation régulière et abondante aussi bien pour l'homme que pour le bétail (**Bouallegue, 2017**). En Algérie la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares (**Ouanzar, 2012**).

La protection de céréales entreposées contre les détériorations fait partie intégrante de leur production. Laissées sans protection, ces récoltes risquent d'être déclassées (**Dave et al., 2001**). Les denrées stockées peuvent être attaquées par les insectes, les champignons et les rongeurs. Les dégâts causés par les insectes sont les plus importants (**Inge de Groot, 2004**). Même si le problème se pose de manière globale, il est plus important dans les pays en voie de développement et dans ceux de l'Afrique en particulier à cause des conditions climatiques favorables à leur développement (**Ndomo et al., 2009**).

Les insectes ravageurs des denrées, majoritairement des Coléoptères peuvent causer la perte quantitative et qualitative totale d'un stock (**Ngamo et Hance, 2007**). Il y a plusieurs catégories d'insectes attaquant les grains de céréales depuis la récolte jusqu'à la consommation. Dans le cas du blé, ces insectes peuvent occasionner des pertes considérables, allant jusqu'à 50 % (**Mebarkia et al., 2012**).

L'insecte ravageur le plus ubiquiste, le plus polyphage et le plus redoutable, est connu sous le nom scientifique de *Tribolium castaneum* (Herbst) et sous le nom barbare de *Tribolium* rouge de la farine (**Seck, 1992**). Il est caractérisé par un rythme de reproduction très rapide (**Noel et al., 2011**). Vu la rapidité de son rythme de reproduction, cet insecte favorise des pertes de poids énormes de céréales stockées qui empêchent aux exploitants agricoles de tirer pleinement partie de leur travail et il est ainsi devenu un ravageur économiquement menaçant (**Seck, 1992**). Hormis ces dégâts quantitatifs, *T. castaneum* confère aux stocks une odeur répulsive caractéristique et nauséabonde suite à la sécrétion d'une substance par les glandes odoriférantes des adultes en cas d'une forte infestation (**Seck, 1989**). *T. castaneum* est un insecte véritablement nuisible qui doit faire l'objet d'une lutte rationnelle pour protéger les grains lors du stockage et de la conservation.

Depuis longtemps, la lutte contre les ennemis des cultures est plus facilement réalisable par l'application de pesticides de synthèse qui peuvent limiter leurs populations à un seuil tolérable (**Lopez et al.,2012**). Elles sont plus rapides, moins coûteuses et plus efficaces à la première utilisation, mais toutes ces substances toxiques répandues dans les champs se retrouvent dans l'aire, l'eau et le sol. Elles ne se dégradent pas facilement et portent atteinte à la biodiversité de notre planète (réduction des ennemis naturels, l'apparition du phénomène de résistance chez les ravageurs, etc...), à l'environnement (pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques, etc...) et à la santé humaine (**Camara et al., 2010**). Ces dangers ont conduit l'OMS à interdire l'usage de certains insecticides chimiques, d'autres vont être prohibés dans un futur proche (**Cissokho et al., 2015**).

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux ont été menés dans le but de rechercher des méthodes de protection des denrées plus sécurisantes, moins polluantes, respectueuses de la santé humaine et de l'environnement et sans utilisation de moyens sophistiqués, faisant appel à des coûts financiers lourds pour les cultivateurs, commerçants et producteurs (**Ngamo et Hance, 2007**). Parmi ces méthodes, les biopesticides qui sont définis comme étant des substances d'origine végétale, rapidement biodégradables et de faible impact sur la santé et l'environnement sembleraient être une solution (**Riba et sivy,1989**).

Plusieurs études se sont intéressées aux plantes qui peuvent être utilisées dans la protection des cultures. Ces plantes contiennent naturellement dans leurs tissus des quantités, importantes de molécules bioactives qui ne sont pas intrinsèquement biocides. Cependant, lorsqu'elles sont exposées à un stress, ces plantes libèrent une gamme de produits connus pour leurs propriétés biocides et/ou biostatiques. Ces composés secondaires naturels, sont souvent considérés comme étant un moyen de défense de la plante productrice contre les microorganismes pathogènes et ravageurs (**Augar et al.,1999**).

Ces dernières années, des intérêts sont générés dans le développement de nouvelles molécules bioactives tels que les huiles essentielles et les extraits à base de plantes. Les huiles essentielles sont considérées comme des composés non phytotoxiques très actifs et biodégradables et sont utilisées comme moyens de défense contre les ravageurs phytophages (**Sidhu et al.,2009**).

Dans l'optique du récent intérêt grandissant pour le développement d'insecticides d'origine végétale comme alternatives aux insecticides chimiques, on va s'intéresser lors de ce présent travail, à l'étude comparée de l'efficacité des huiles essentielles formulées à base de *Thymus vulgaris L.* et de *Pélargonium sp.* et la synergie de ces huiles, en se basant sur l'étude in vitro de tests de toxicité par inhalation et contact sur les adultes d'un ravageur redoutable des denrées stockées *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797).

Notre travail est structuré en deux parties :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique mettant l'accent sur deux chapitres. Le premier chapitre aborde des généralités sur le stockage des céréales et les moyens de lutte contre les adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), le deuxième est consacré aux biopesticides et à la description botanique des deux espèces végétales étudiées *Thymus vulgaris L.* (1753) et *Pélargonium graveolens L'Hér.* (1789)
- La partie expérimentale est subdivisée en trois chapitres. Le premier présente le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail, le second est réservé à la présentation de l'ensemble des résultats obtenus et le troisième chapitre s'intéresse à leur discussion.
- Le manuscrit est achevé par une conclusion générale qui résumera l'ensemble des résultats et des perspectives.

Chapitre 1 : Le stockage des céréales et les moyens de lutte contre les bioagresseurs

1. Importance économique des céréales

1.1.1. Dans le monde

Le maïs, le blé et le riz sont les trois principales céréales cultivées dans le monde. En 2013, la Chine confirme son rang de premier producteur mondial de céréales (18% du total), devant les États-Unis (16%), l'Union européenne (11 %) et l'Inde (9%) (**F.A.O, eurostat, agreste.2013**).

1.1.2. En Algérie

Les céréales occupent une place dominante dans l'agriculture en Algérie. En effet, 80% de la superficie agricole utile du pays est occupée par la production céréalière. La surface emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha (**Djermoun, 2009**).

2. Le stockage des céréales

2.1. Généralités

Le stock de céréales constitue une entité formée d'une part de la céréale à stocker et d'autre part de l'environnement dans lequel il évolue et où il subit diverses agressions. Ces dernières se répartissent en quatre groupes principaux : les agressions d'origine mécanique, les agressions d'origine biochimique et chimique, les agressions d'origine enzymatique et les agressions d'origines biologiques qui sont dues à des êtres vivants (rongeurs, oiseaux, insectes, acariens et microorganismes) (**Benayad,2013**).

2.2. Principaux insectes ravageurs des Céréales Stockées

2.2.1. Les lépidoptères

Selon **Steffan (1978)**, toutes les espèces de lépidoptères attaquant les denrées stockées, appartiennent au groupe des Hétérocères. Comprenant surtout des papillons nocturnes, qui se distinguent des papillons journaliers par leurs antennes dont l'extrémité ne se renfle jamais en bouton et par le fait qu'au repos, ils ne tiennent pas leurs ailes verticalement. Ils ont une durée de vie relativement limitée de 1 à 2 semaines en moyenne (**Godon et Willm, 1991**). Le papillon adulte ne s'alimente pas à partir des matières solides, seules les larves ou les chenilles sont des déprédateurs. Les chenilles de certaines espèces ont une particularité, elles pénètrent à l'intérieur des grains pour terminer leur cycle de développement. C'est le cas de *Sitotroga Cerealella Oliv.* Les

autres espèces, dont les stades sont libres, ont besoin de la présence des espèces primaires pour infester les stocks ou se nourrissent à partir de grains brisés ou des produits de mouture c'est le cas d'*Ephestia Kuehniella* ZEL (Steffan, 1978). Les larves vivent au milieu de la nourriture mais arrivées au bout de leur développement, elles vont chercher les lieux isolés pour nymphoser (Ducom, 1985). Les cadavres des lépidoptères polluent les produits de mouture en laissant un nombre considérable d'écailles (Godon et Willm, 1991).

2.2.2. Coléoptères

Cet ordre représente le plus grand nombre d'insectes nuisibles aux denrées stockées. Quel que soit leur stade, larve ou adulte, ils sont nuisibles. Dans bien des cas, certaines espèces, au stade larvaire, causent plus de dégâts que les adultes et vice-versa. Sous leur forme adulte et à des températures comprises entre 15 et 35°C et une humidité relative variant de 50 à 80%, les coléoptères vivent beaucoup plus longtemps que les lépidoptères (Steffan, 1978). Selon Bekon et Fleurat (1989), ces coléoptères peuvent être répartis en deux groupes à savoir les ravageurs primaires et les ravageurs secondaires.

Les insectes à forme cachée : s'attaquent à des grains intacts dont *Rhyzopertha dominica* et *Sithophilus granarius* ; *S.oryzae*. Passent une période importante de leur cycle de développement à l'intérieur des grains et ne sont détectables qu'au stade adulte où ils se déplacent librement. Ils sont considérés les plus dangereux, car ils endommagent les grains intacts, ce qui permet aux larves de se développer à l'intérieur des graines. Ils permettent également l'infestation du stock par les ravageurs secondaires et tertiaires et leurs facilite la prise de la nourriture (Inge De Groot, 2004).

Les insectes à forme libre : capables d'attaquer les grains qu'à partir des ouvertures causées par les ravageurs primaires servant de voies d'accès, tel que *Tribolium confusum*. Ils se développent sur des céréales déjà dépréciées physiquement ou biologiquement, déjà endommagés par les ravageurs primaires ou par d'autres agents quelconques, ou encore les produits de transformation de ces grains comme la farine (Fleurat et Leussard, 2015).

3. Présentation du *Tribolium castaneum*

3.1. Généralités sur Ténébrionidae

Selon **Balachowsky (1962)**, les ténébrionidés sont des coléoptères de taille comprise entre 2 mm et 80 mm, de forme très variée, à téguments le plus souvent rigides ; épais ; noir mat ou luisant ; de teinte sombre ; coloré ou métallique par interférence, avec des yeux généralement grands ; ovales ou ronds. Antennes de 11 articles ; aptères ou ailées ; avec nervation alaire du type primitif, 5 sternites abdominaux, pattes longues ou tout au contraire ; contractées ; souvent fouisseuses. Le régime alimentaire des Ténébrionidae, bien qu'assez varié, est avant tout saprophage, certaines des espèces citées comme nuisibles aux produits emmagasinés (**Delobel et Tran, 1973**). Parmi ces dernières le genre *Tribolium* comprend 36 espèces, dont quatre sont cosmopolites (**Angelini et Jockusch, 2008**).

3.2. Position systématique

Tableau 1. Classification de *Tribolium castaneum* (**Perrier, 1964**)

Rang Taxonomique	Nomenclature
Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Sous- embranchement	Hexapoda
Classe	Insecta
Ordre	Coleoptera
Sous - ordre	Polyphaga
Super - famille	Tenebrionoidea
Famille	Tenebrionidae
Sous - famille	Tenebrioninae
Tribu	Triboliini
Genre	<i>Tribolium</i>
Espèce	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst, 1797)

3.3. Origine et répartition géographique

On le trouve dans toutes les parties du monde. Sous les climats froids, uniquement dans les stockages à température élevée (**Aziez et al., 2003**). Selon **Bonneton (2010)**, il serait en provenance d'Asie méridionale au climat chaud et sec ou bien même de l'Inde.

3.4. Morphologie

Selon **Bonneton (2010)**, l'adulte de couleur uniformément brun rougeâtre, mesure de 4 à 5 mm de long. Il est reconnaissable par la distinction très nette des trois parties du corps (Tête, Thorax et Abdomen), des antennes dont les trois derniers articles plus gros que les suivants et un chaperon qui ne dépasse pas l'œil latéralement. Etroit, allongé, à bords parallèles, à pronotum presque aussi large que les élytres et non rebordé

antérieurement, *Tribolium castaneum* présente des yeux ovales et non surmontés d'un bourrelet semblable à une paupière, et des élytres avec des lignées longitudinales pointillées (**Camara, 2009**). L'adulte se déplace de préférence en fin d'après-midi, par temps chaud et calme et migre à partir de stocks infestés à la recherche de nouvelles ressources alimentaires (**Delobel et Tran, 1993**).



Figure 1. Adulte de *Tribolium castaneum* (G x40) (**Diome, 2014**)

D'après **Christine (2001)**, la nymphe a une forme cylindrique. Elle est de couleur blanchâtre virant vers le jaune. La partie terminale de l'abdomen porte deux épines.



Figure 2. Nymphe de *Tribolium castaneum* (G x40) (**Kassemi, 2014**).

Tribolium castaneum présente un dimorphisme sexuel aussi bien au stade nymphal qu'au stade adulte, mais il est plus facile de distinguer les sexes chez les nymphes que chez les adultes. Chez les femelles, les papilles génitales, situées juste en avant des urogomphes, sont nettement plus développées que chez les mâles. Autrement dit, les urogomphes des pupes mâles sont beaucoup plus petits et ressemblent beaucoup plus à du bout des doigts plutôt qu'à des doigts (**Shukla et Palli, 2012**).

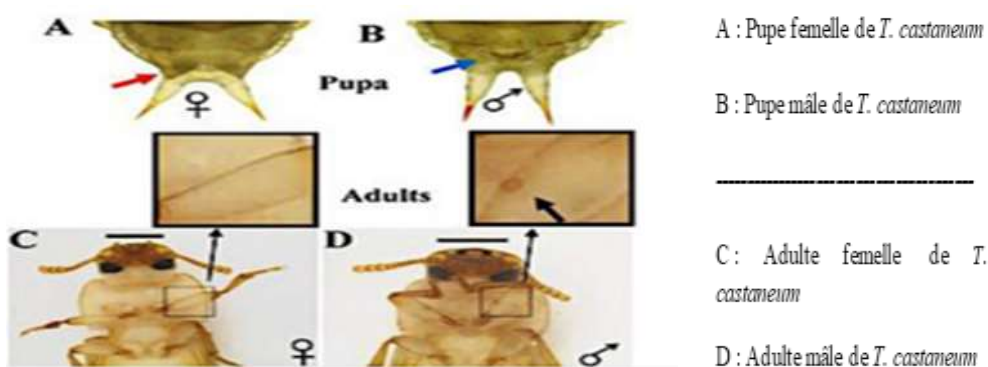


Figure 3. Dimorphismes sexuels chez la puppe et le mâle de *Tribolium castaneum* (G x40) (**Shukla et Palli, 2012**).

Les larves de *Tribolium castaneum* sont vermiformes, elles ont un corps mou couvert de petits poils et se terminent par deux petites pointes. Elles ont six pattes, avec deux projections pointues vers l'extrémité caudale (**Diome, 2014**). La larve mesure 6mm, environ 8 fois plus longue que large, d'un jaune très pâle à maturité, avec latéralement quelques courtes soies jaunes (**Delobel et Tran, 1993**).



Figure 4. La larve de *Tribolium castaneum* (G x40) (**Aouina et Khelifi, 2018**).

Les œufs sont ovulaires, sans sculpture, blanchâtres ou sans couleur et microscopiques dans la taille en moyenne 0.6mm de long, avec des particules de nourriture adhérentes à la surface (**Godon et Willm, 1998**).

3.5. Bio-écologie

Tribolium castaneum est un insecte facile à élever avec un cycle de développement court de 30 jours. C'est un insecte qui a exceptionnellement une longévité de deux mois à six mois jusque à quatre ans et une fécondité élevée (**Bonneton, 2010**).

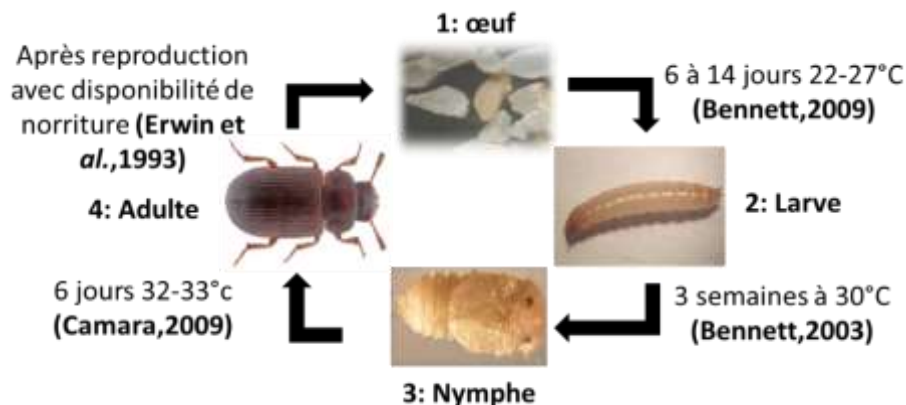


Figure 5. Cycle de développement de *Tribolium castaneum* (G x40) (**Mbacké, 2019**)

3.6. Dommages et importance

Tribolium castaneum est un insecte nuisible et cosmopolite dont les souillures corrompent de très nombreuses denrées amylacées, notamment les farines de céréales (**Bonneton, 2010**). Selon **Mebarkia et Guechi (2006)**, les *Tribolium* peuvent entraîner des dégâts très importants en consommant les denrées, mais en les contaminant aussi

avec leurs fèces, des odeurs désagréables, des toiles de soie, des cadavres et des mues, modification de l'aspect extérieur et changement de couleur par jaunissement et noircissement. De plus, l'humidité issue du métabolisme de leurs pullulations et les produits d'excrétion azotée favorise l'apparition de moisissures dans les lieux de stockage. Les adultes ont des glandes odoriférantes qui sécrètent un liquide nauséabonde riche en quinones qui communique au lot infecté une odeur particulièrement désagréable (**Pageau, 2006**).



Figure 6. Dégâts de *Tribolium castaneum* sur la semoule (**G x2**) (**Aouina et Khelifi, 2018**).

4. Méthodes de lutte

4.1. La lutte préventive

Cette lutte consiste en une hygiène rigoureuse des moyens de transport, des locaux de stockage, des installations de manutention et des machines de récolte, un badigeonnage ou une pulvérisation d'insecticides, en réduisant au minimum les causes de contamination. Il est important d'isoler les nouvelles récoltes de celles qui sont anciennes dans l'entrepôt (**Kellouche, 2005**).

4.2. La lutte curative

4.2.1. La lutte chimique

- **Traitement par contact :**

Qui consiste à recouvrir les grains, l'emballage ainsi que les locaux de stockage d'une pellicule de produit insecticide qui agit par contact sur les déprédateurs, dont l'effet est plus ou moins rapide avec une persistance d'action plus longue (**Cruz et al., 1988**). Les insecticides de contact pénètrent dans les tissus de l'insecte après avoir traversé la cuticule, parmi ce groupe d'insecticides, les pyréthriinoïdes de synthèse agissent par contact et ingestion, en provoquant souvent un effet choc sur les insectes (**Schiffers et al., 1990**).

- **Traitement par fumigation :**

La fumigation consiste à traiter les grains à l'aide d'un gaz toxique, qu'on appelle fumigeant. Cependant, l'utilisation de pesticides pendant plusieurs années a entraîné de nombreux problèmes entre autres la présence de résidus sur les denrées stockées et le développement du phénomène de résistance chez les insectes (**Arthur, 1996**). 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 (**Cruz et al., 1988**).

4.2.2. Lutte physique et mécanique

Elles concernent toutes les techniques mécano-thérapeutiques susceptibles de rendre le stock sain. En général, ces techniques ne sont pas efficaces contre les formes cachées. Ainsi plusieurs techniques ont été expérimentées et ont eu des succès divers : l'écrasement mécanique dans les « Entôlera », le traitement par le froid et le chaud, le stockage étanche ou sous atmosphère contrôlée et les radiations ionisantes (**Benayad, 2013**).

- **La lutte par le froid** consiste à abaisser la température de stockage, ce qui entraîne un ralentissement du développement des insectes, freiné dès que la température est inférieure à 10°C (**Gwinner et al., 1996**).
- **La lutte par le chaud** consiste à une élévation de la température (température supérieure à 50°C), ce qui entraîne la mort des insectes. Le passage des produits dans un séchoir permet d'éliminer les insectes présents dans les grains (**Gwinner et al., 1996**).
- **Radiations ionisantes** : les mâles sont plus sensibles aux radiations gamma que les femelles, la dose létale dépend de l'insecte et la période du traitement (**Ahmed, 1992**). La désinsectisation par les rayons gamma, à hautes doses provoque la mort de tous stades de développement de l'insecte (**Diop et al., 1997**), par contre son exposition à des doses faibles entraîne sa stérilité (**Dongret et al., 1997**).
- **Radiations non ionisantes** : tels que les infrarouges et les radiofréquences qui permettent de chauffer les produits infestés à une température létale pour tous les insectes qui s'y trouvent quelle que soit l'espèce ou le stade de développement (**Singh et al., 1988 ; Zegga et Terchi, 2001**).

4.2.3. Lutte biotechnique par confusion sexuelle

Selon **Fargo et al. (1994)**, cette technique consiste à multiplier le nombre de points d'émission du bouquet de phéromones sexuelles de telle sorte que les mâles attirés soient dans l'incapacité d'identifier et localiser la femelle de la même espèce cela engendre une diminution du taux de la copulation et par conséquent le déclin de la génération suivante.

4.2.4. Lutte biologique

D'après **Sanon et al. (1999)**, 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 parasites ou des agents pathogènes, ainsi que des produits naturels d'origine végétale comme des poudres minérales, extrait organique, extrait aqueux, huiles végétales, huiles essentielles, issue du phénomène de la phytothérapie. La lutte biologique avec auxiliaires est également utilisée pour lutter contre les insectes ravageurs. Ainsi, *Bacillus thuringiensis* est utilisé dans la lutte contre *T. castaneum* (**Malick et Riazuddin, 2007 ; in Diome, 2014**). La lutte biologique sans auxiliaires fait intervenir l'utilisation des huiles essentielles. Ainsi elles ont des activités insecticides en fonction de leur nature, des volumes utilisées et du temps d'exposition. Par la suite, l'huile d'*Ocimum basilicum* pourrait être retenue comme plus efficace comparée à celles d'*Ocimum gratissimum* et de *Cymbopogon citratus* (**Camara, 2009**), **Mondal et Khalequzzaman (2006)** ont montré que l'huile de Cardamom (*Elletaria cardamomum*) empêche le développement des larves de *T. castaneum* jusqu'au stade adulte et l'utilisation de l'huile de *Azadirachta indica* contre *T. castaneum* entraîne une mortalité de plus de 52,66% à une concentration et à une durée d'exposition élevée dans la farine. Actuellement, la lutte biologique est la méthode la plus favorisée dans les programmes de recherche vus ses intérêts économiques et agro-environnementaux qui permettent le maintien d'un équilibre bioécologique (**Amari, 2014**).

Chapitre 2 : Les Biopesticides

1. Importance des biopesticides

Ces dernières décennies, la protection de l'environnement s'impose de plus en plus comme une préoccupation mondiale majeure. Dans le domaine de l'agriculture, il est indéniable que l'expansion et la productivité agricole doivent dorénavant passer par une gestion optimale des insectes nuisibles et des mauvaises herbes en minimisant les effets sur l'environnement. La méthode classique de lutte chimique contre les insectes ravageurs des récoltes et des mauvaises herbes, jadis considérée comme panacée, fait de plus en plus place à la lutte intégrée et à la lutte biologique par utilisation de micro-organismes, de prédateurs, de parasitoïdes et de méthodes dites physiques (**De Kouassi, 2001**).

Il est admis maintenant par tous que la lutte chimique a des conséquences néfastes sur l'environnement; entre autres, par la toxicité dans la chaîne trophique, la pollution des eaux de surface et souterraine (**Rudd, 1974; Mellanby, 1977; Roberts, 1989; Tooby, 1989 ; Vereijken et Viaux, 1990**), sur la santé humaine par les résidus de pesticides sur les aliments et les intoxications par inhalation (**Foschi, 1989; Izraillet et al., 1975; Pimentel et al., 1980**) et surtout la résistance acquise par les insectes ravageurs et les vecteurs de maladies infectieuses chez les humains, suite à l'utilisation intempestive, inconditionnelle et irrationnelle des pesticides chimiques (**Georghiou et Mellon, 1983; Poiré et Pasteur, 1991; Starnes et al., 1993; Knight et Norton, 1989**).

Thakor (2006), définit les biopesticides comme étant des produits phytosanitaires dont le principe actif est un organisme vivant ou l'un de ses dérivés. Ils peuvent donc être constitués d'organismes (plantes, insectes, nématodes) ou de micro-organismes pathogènes (bactéries, levures, mycoplasmes, champignons, virus) exerçant une activité protectrice sur les plantes vis-à-vis d'agents phytopathogènes, ainsi des substances d'origine naturelle telles que des extraits végétaux (nicotine et autres alcaloïdes, pyrèthres, huiles et les phéromones). Ce sont des éliciteurs ou stimulateurs des défenses naturelles (SDN)

Fravel (2005), stipule qu'un biopesticide donné est efficace dans toutes les conditions, contre tous les ravageurs, sur toutes les cultures et pour tous les systèmes

agricoles. Les biopesticides sont plus écologiques que les produits chimiques et présentent une grande spécificité vis-à-vis des agents pathogènes contre lesquels ils sont dirigés ; ils causent moins de dommages pour les organismes non ciblés de la microflore endogène qui exerce une action bénéfique sur les plantes et sont efficaces en faibles quantités (**Thakore, 2006**).

2. Les huiles essentielles

2.1. Historique

D'après **Berthier (1980)**, les huiles sont connues depuis des millénaires pour leur action bénéfique pour l'homme. Les plantes étaient utilisées telles quelles ou sous forme d'infusion ou de décoctions. Les huiles furent utilisées dans les momifications des corps ou la conservation des momies, dans l'aromatisation des bains, la désinfection des plaies, les parfums et la fabrication des boissons aromatiques. Puis, fut l'époque de la recherche de l'extraction de la substance odorante qui aboutissait à la création et au développement de la distillation. Enfin, la période moderne qui est celle qui correspond à la détection et à l'identification des constituants des huiles essentielles ainsi que leurs effets physiques, chimiques, biochimiques et physiologiques (**Moller, 2008**).

2.2. Définition

Une huile essentielle est un mélange naturel complexe de métabolites secondaires lipophiles, volatils, odorants et souvent liquides contenus dans des tissus végétaux spécialisés (**Bruneton, 1993 ; Kalemba et Kunicka, 2003**). Il est important de distinguer huile essentielle et essence. Cette dernière est une sécrétion naturelle élaborée par l'organisme végétal, contenue dans divers types d'organes producteurs, variables selon la partie de la plante considérée. En revanche, une huile essentielle est le résultat d'extraction de l'essence, autrement dit, l'essence distillée (**Carette, 2000**). Et contrairement à ce que le terme pourrait laisser penser, l'huile essentielle ne contient pas de corps gras comme l'huile végétale (**Anton et Lobstein, 2005**).

2.3. Répartition

Les huiles essentielles se trouvent principalement chez les plantes aromatiques (**Berger, 2007**). Certaines familles se caractérisent par le grand nombre d'espèces à essences qu'elles regroupent, en particulier Myrtacées, Lauracées, Rutacées, Lamiacées, Astéracées, Apiacées etc. (**Baser et Buchbauer, 2010**).

2.4. Localisation et lieu de synthèse

Les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : les fleurs (lavande), les feuilles (eucalyptus et thym), les racines (vétiver), rhizomes (gingembre), les fruits (fenouil), le bois et les écorces (cannelle) et les graines (noix de muscade) (**Bruneton, 1993 ; Anton et Lobstein, 2005**). Les huiles essentielles sont élaborées par des glandes sécrétrices qui se trouvent sur presque toutes les parties de la plante. Elles sont sécrétées au sein du cytoplasme de certaines cellules où elles se rassemblent sous formes de petites gouttelettes comme la plupart des substances lipophiles (**Gonzalez-Trujano et al., 2007**).

2.5. Propriétés physico-chimiques

Selon **Degryse et al. (2008)**, les huiles essentielles sont liquides à température ambiante, volatiles, inflammables, très odorantes et ne sont que très rarement colorées. Elles sont liposolubles et solubles dans les alcools et dans la plupart des solvants organiques mais sont peu solubles dans l'eau (**Bruneton, 1999**). Entraînables à la vapeur d'eau, elles se retrouvent dans le protoplasme sous forme d'émulsion plus ou moins stable qui tend à se collecter en gouttelettes de grosse taille (**Martini et Seiller, 1999**). Elles sont également très altérables et s'oxydent au contact de l'air et de la lumière, il convient alors de les conserver à l'abri de la lumière et de l'humidité (**Bruneton, 1993**).

D'après **Bernadet (2000)**, les huiles essentielles présentent une densité en général inférieure à celle de l'eau (de 0,8 à 1,08) et un indice de réfraction élevé et la plupart dévient la lumière polarisée (optiquement active) (**Bruneton, 1999 ; Charpentier et al., 2008 ; Desmares et al., 2008**). En revanche les huiles végétales ne sont pas volatiles et laissent sur le papier une trace grasse persistante (**Bernadet, 2000**). Elles sont constituées de molécules à squelette carboné, le nombre d'atomes de carbone étant compris entre 5 et 22 (**Couic-Marinier et Lobstein, 2013**).

2.6. Rôle physiologique

Les plantes produisent des huiles essentielles en tant que métabolites secondaires, mais leur rôle exact dans les processus de la vie de la plante est resté encore mal connu (**Rai et al., 2003**). Parmi les plusieurs rôles qu'on peut distinguer le rôle de défense contre les prédateurs, par goût et effets défavorables sur le système nerveux, tandis que les huiles essentielles possèdent des propriétés toxiques pouvant

paralyser leurs muscles masticateurs (**Porter, 2001 ; Guignard et al., 2004**) telles que l'*Eucalyptus citronné* (**Purchon, 2001 ; Willem, 2002**). Contre les micro-organismes pour leurs propriétés antifongiques on peut citer celle de *Melaleuca alternifolia* (tea tree) ou de *Syzygium aromaticum* (giroflier) (**Bruneton, 2009**), et antibactérienne ont trouvé que les huiles essentielles de la citronnelle et du citronnier, empêchent la croissance de *Helicobacter pylori* (même les souches résistantes) (**Ohno et al., 2003**). De plus, elles peuvent être utilisées comme moyen de compétition aux ressources environnementales par l'inhibition de la germination des graines des autres espèces de plante ou par la limitation de la croissance de certaines espèces voisines (**Fischer et al., 1994 ; Bakkali et al., 2008**). Enfin, on confère également aux huiles essentielles un rôle de communication, les huiles essentielles attirent les insectes favorisant ainsi la pollinisation, intervenant ainsi dans les interactions plantes animaux (**Bruneton, 1997**).

2.7. Composition chimique

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés organiques possédant des structures et des fonctions chimiques très diverses (**Lahlou, 2004**).

2.7.1. Les terpinoïdes

D'après **Hernandez-Ochoa (2005) et Fillatre (2011)**, les terpènes sont des hydrocarbures naturels, de structure cyclique (acycliques, monocyclique ou bicyclique) ou de chaîne ouverte. Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'unité isoprénique à cinq atomes de carbone (C₅H₈). Ces mêmes auteurs rapport aussi que les terpènes sont subdivisés selon le nombre d'unités isopréniques en : hémiterpènes (1 unité : C₅), monoterpènes (2 unités : C₁₀), sesquiterpènes (3 unités : C₁₅), diterpènes (4 unités : C₂₀), sesterpènes (5 unités : C₂₅), triterpènes (6 unités : C₃₀), carotènes (8 unités : C₄₀) et les polyisoprènes (n unités : C_{5n}).

2.7.2. Les composés aromatiques

Selon **Bruneton (1999)**, les dérivés phénylpropane (C₆-C₃) sont beaucoup moins courants que les précédents, parmi lesquels se trouvent des aldéhydes, des alcools des phénols, des dérivés méthoxy ou méthylène dioxy. Il est cependant

possible de rencontrer des composés C6-C1, comme la vanilline (assez fréquente) et l'antranilate de méthyl ainsi que des lactones dérivées des acides cinnamiques.

2.7.3. Les composés d'origines diverses

Il existe un nombre non négligeable de composés volatils issus de la dégradation de terpènes non volatils et d'acides gras (**Bruneton, 1999**).

2.7.4. Notion de chémotype

Le chémotype d'une huile essentielle est une référence précise qui indique le composant biochimique majoritaire ou distinctif présent dans l'huile essentielle. Cet élément permet de distinguer des huiles essentielles extraites d'une même variété botanique mais d'une composition biochimique différente (**Pibiri, 2005**).

2.8. Facteurs de variabilité de la composition chimique

Etant formées de mélanges généralement complexes, les huiles essentielles présentent une très grande variabilité, tant au niveau de leur composition, qu'au plan du rendement des plantes d'origine. Cette variabilité peut s'expliquer par différents facteurs d'origine intrinsèque, spécifiques du bagage génétique de la plante ou extrinsèque, liés aux conditions de croissance et de développement de la plante (**Morin et Richard, 1985**).

2.8.1. Facteurs intrinsèques

Une huile essentielle doit avant tout autre chose être rapportée au matériel botanique d'où elle est issue pour éviter toutes dénominations trompeuses du matériel végétal (**Barry, 2001**). L'organe de la plante (**Chowdhury et al., 2009**). L'influence du stade végétatif et la période de récolte ou la saison (**Stefanini et al., 2006**), L'origine géographique (**Verzele et al., 1988**). Les hybridations, les facteurs de mutation, la polyploïdie (**Aprotosoie et al., 2010**) et le polymorphisme chimique « chimiotypes ou formes physiologiques » (**Belyagoubi, 2006**).

2.8.2. Facteurs extrinsèques

Les conditions environnementales notamment la température, la lumière, la pluviométrie (**Aprotosoie et al., 2010 ; Olle et Bender, 2010**). Les conditions édaphiques spécialement le système racinaire et de son activité, la forme des racines, leur répartition dans le sol, leur vitesse d'extension, la texture du sol, de sa structure, de sa teneur en eau ou de sa température. (**Razafindrakoto, 1988 ; Dethier,**

1996). Les conditions culturales telles que les techniques sylvicoles (la densité de plantation, l'irrigation, l'utilisation d'engrais, les traitements phytosanitaires, les techniques de récolte...etc) (**Barry, 2001 ; Lahlou, 2004 ; Stefanini et al., 2006 ; Aprotosoie et al., 2010**), les méthodes d'extraction utilisées (**Huang et al., 1995**). Les conditions de stockage des matières premières avant distillation (**Fantino, 1990**). Par ailleurs, le temps de stockage des huiles essentielles après extraction tend aussi à modifier leur composition (**Carette, 2000**).

2.9. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

2.9.1. Hydrodistillation

L'hydrodistillation est un procédé simple d'extraction fondé sur le principe de l'évaporation puis de la condensation des liquides. La plante est mise en contact avec de l'eau dans un ballon lors d'une extraction au laboratoire ou dans un alambic industriel. Le tout est ensuite porté à ébullition sous pression atmosphérique. La chaleur permet l'éclatement et la libération des molécules odorantes contenues dans les cellules végétales (**Benayad, 2013**). Durant l'hydrodistillation, l'eau bouillante pénètre dans les cellules végétales et solubilise une partie de l'huile essentielle contenue dans les cellules de la plante. La solution aqueuse chargée de composés volatils, diffuse ensuite à travers le tissu de l'organe végétal vers la surface extérieure ou l'huile essentielle sera vaporisée. Les vapeurs sont condensées dans un réfrigérant et les HE se séparent de l'eau par différence de densité, les parties insolubles dans l'eau de condensation sont décantées et, en raison de sa plus faible densité, l'huile essentielle se place au-dessus de la phase aqueuse. La phase aqueuse contenant les composés hydrosolubles est appelée eau de distillation (ou hydrolat) (**Başer et Buchbauer, 2010**).

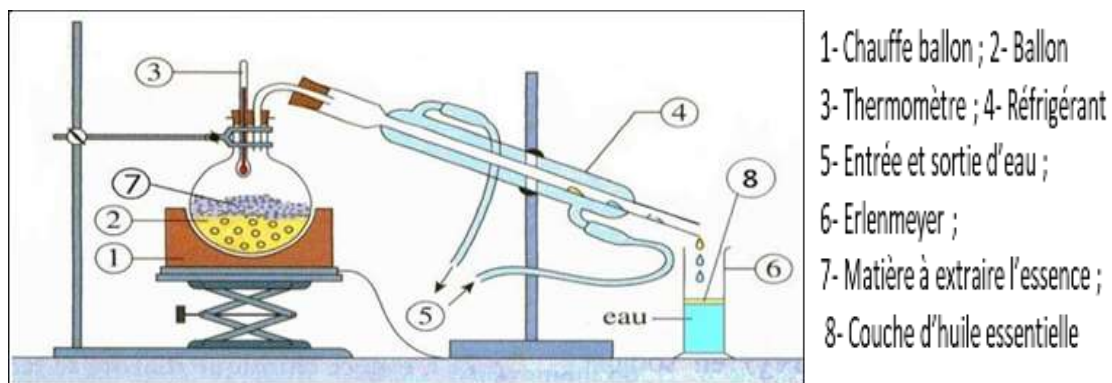


Figure 7. Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (**Lucchesi et al., 2005**)

2.9.2. Hydrodiffusion

L'hydrodiffusion consiste à faire passer un courant de vapeur d'eau à très faible pression à travers la masse végétale du haut vers le bas. La composition des produits obtenus est sensiblement différente au plan qualitatif de celle des produits obtenus par les méthodes précédentes **(Wijesekara et al.,1997)**

2.9.3. Entraînement à la vapeur

La vapeur détruit la structure des cellules végétales, libère les molécules contenues et entraîne les plus volatiles en les séparant du substrat cellulosique. La vapeur, chargée de l'essence de la matière première distillée, se condense dans le serpentín de l'alambic avant d'être récupérée dans un essencier **(Lucchesi, 2005)**.

2.9.4. Distillation à la vapeur saturée

Le matériel végétal n'est pas en contact avec de l'eau, il est placé sur une grille perforée au-dessus de la base de l'alambic. Les composés volatils entraînés par la vapeur d'eau vont pouvoir être séparés par décantation du distillat refroidi **(Benayad, 2013)**.

2.9.5. Extraction à froid

L'expression à froid est une extraction sans chauffage réservée aux agrumes. Il s'agit d'un traitement mécanique qui consiste à broyer à l'aide de presses les zestes frais des agrumes pour détruire les poches et les péricarpes riches en cellules sécrétrices afin de libérer l'essence **(Başer et Buchbauer, 2010 ; Wilson, 2010)**.

2.9.6. Extraction par CO2 super critique

Cette technique se base sur la solubilité des constituants dans le CO2 et de son état physique. Grâce à cette propriété, il permet l'extraction dans le domaine supercritique et la séparation dans le domaine gazeux. Le CO2 est liquéfié par refroidissement et comprimé à la pression d'extraction choisie, ensuite il est injecté dans l'extracteur contenant le matériel végétal, après le liquide se détend pour se convertir à l'état gazeux pour être conduit vers un séparateur où il sera séparé en extrait et en solvant **(Pellerin, 2001 ; Duarte et al., 2004)**. Cette méthode est utilisée pour les organes végétaux présentant une concentration en essence relativement faible ou pour les essences que l'on ne peut extraire par distillation. **(Duraffourd et al.,1990)**.

2.9.7. Extraction assistée par micro-onde

Cette technique est rapide. Le matériel végétal est immergé dans un solvant transparent aux micro-ondes de manière à ce que seul le végétal soit chauffé. Les micro-ondes vont chauffer l'eau présente dans le système glandulaire et vasculaire de la plante, libérant ainsi les produits volatils qui passent dans le solvant (non chauffé). On filtre et on récupère ensuite l'extrait (**Bouzar et oucharfi, 2016**).

2.10. Domaines d'application

2.10.1. Parfums et cosmétiques

Dans le domaine des parfums et cosmétiques, les huiles essentielles sont employées en tant qu'agents conservateurs grâce à leurs propriétés antimicrobiennes qui permettent d'augmenter la durée de conservation du produit. Elles sont utilisées, notamment dans la formulation de parfums, de produits d'entretien personnels ou ménagers domestiques ou industriels (**Aburjai et Natsheh, 2003**).

2.10.2. Santé : pharmacie et aromathérapie

En pharmacie, les huiles essentielles sont majoritairement destinées à l'aromatisation des formes médicamenteuses administrées par voie orale (**Bruneton, 1999**). De même, elles peuvent être utilisées pour leur activité antiseptique, en particulier dans le milieu hospitalier (**Edris, 2007**). De nombreux produits tels que les pommades, les crèmes et les gels à base d'huiles essentielles (**Dethier, 1996 ; Edris, 2007**).

L'aromathérapie correspond à l'utilisation des odeurs et des substances volatiles pour soigner, atténuer ou prévenir les infections et les indispositions internes uniquement par le moyen d'inhalation (**Buchbauer et Jirovetz, 1994**) ou encore, à l'utilisation des huiles essentielles pour traiter certaines maladies externes par leur application sur la peau au travers de massages (**Tisserand et Balacs, 1995**).

2.10.3. Agro-alimentaire

Les huiles essentielles sont utilisées en industrie agroalimentaire comme arômes et épices alimentaires pour les boissons gazeuses ou alcooliques, les condiments, les confiseries, les produits laitiers, les produits carnés, les produits de boulangerie mais également pour la nutrition animale (**Bruneton, 1999**). Actuellement, les huiles essentielles ou leurs composés actifs, représentent un outil très intéressant pour augmenter la durée de conservation des produits alimentaires,

tout en assurant une qualité organoleptique meilleure, en rehaussant le goût des aliments (**Caillet et Lacroix, 2007 ; Tiwari et al., 2009**).

2.10.4. Agriculture

Les pesticides naturels basés notamment sur les huiles essentielles, représentent une alternative intéressante pour la protection des cultures contre les insectes mais également contre les adventices et les champignons (**Isman, 2000 ; Dayan et al., 2009**). Les modes d'application sont très variés soit par fumigation, attractif ajouté aux pièges à phéromones, répulsif ou par contact (**Regnault-Roger et Hamraoui, 1995**). Outre leurs activités biologiques, les huiles essentielles présentent d'autres caractéristiques qui en font des produits adaptés dans la lutte contre les nuisibles. Parmi celles-ci, on peut citer :

- Leur prix faible et approvisionnement assurés par une production mondiale importante pour de nombreuses huiles essentielles ;
- Leurs multiples modes et sites d'action sur les insectes ;
- Leur faible toxicité pour les mammifères (à quelques rares exceptions près) ;
- Leur faible persistance dans l'environnement due à leur volatilité (temps de demi-vie en extérieur < 24 heures sur les surfaces, dans les sols ou l'eau) (**Isman et al., 2010**).

2.11. Intérêt de la formulation

Gauvrit et Cabanne (1993), ont estimé que les matières actives des produits phytosanitaires sont rarement administrées seules. Alors, il est nécessaire de les associer à des composés appelés formulants ou adjuvants dépourvus de l'activité biologique. La préparation de l'adjonction se fait au niveau industriel, mais le formulant se prépare lors de l'application du produit. Une formulation a pour intérêt l'assurances des buts suivants :

- L'efficacité biologique et son innocuité à l'égard des cultures.
- Les sécurités de l'utilisateur et de l'environnement.
- Les stabilités chimique et physique du produit.

3. Les plantes étudiées

3.1. *Thymus vulgaris* L.

3.1.1. Description morphologique

Thymus vulgaris L. est un sous-arbrisseau touffu, vivace et aromatique pouvant atteindre de 20 à 30 cm de hauteur. Ses tiges sont dressées, ligneuses, rameuses et tortueuses à la base et ses racines sont assez robustes (Teuscher et al., 2005 ; Bruneton, 2009 ; Skaria, 2007). Leurs feuilles opposées par deux, sont petites, ovales, pétiolées, recourbées sur les bords, de couleur vert foncé, et recouvertes de poils et de glandes ou trichomes (Teuscher et al., 2005 ; Bruneton, 2009). Leurs petites fleurs sont bisexuées, irrégulières, zygomorphes, regroupées en panicules très denses sur les rameaux ce qui constitue un cas unique chez les lamiacées (Dellile, 2007), leur couleur varie du blanc au violet en passant par le rose (Bruneton, 1999 ; Morales, 2002). Le fruit est un tétrakène brun clair à brun foncé qui renferme à maturité 4 minuscules graines (1 mm) (Teuscher et al., 2005 ; Bruneton, 2009). La période de floraison de l'espèce a lieu de mai à août (Hoffman, 2003).



Figure 8. Aspect morphologique de *Thymus vulgaris* L. (Fayad et al., 2013)

3.1.2. Taxonomie

Tableau 2. La Classification botanique de l'espèce *Thymus vulgaris* L. (Goetz et Ghédira, 2012)

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Embranchement	Magnoliophyta
Sous-embranchement	Magnoliophytina
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	Thymus
Espèce	Thymus vulgaris L

3.1.3. Habitat

Thymus vulgaris est une plante typique des garrigues, qui s'accommode particulièrement des zones calcaires et rocailleuses, ne dépassant pas 2500 m d'altitude (Pitman, 2004 ; Polese, 2006). Elle préfère les sols légers, perméables, secs ou bien drainés, légèrement alcalins, constamment ensoleillés et quelque peu riches en matières organiques et en éléments minéraux fertilisants (Rey, 1990 ; Small et Deutsch, 2001 ; Peter, 2004). Elle ne survit pas longtemps dans un sol lourd et détrempé. Sa croissance tolère un pH allant de 4.5 à 8.0 et une température annuelle moyenne de 7 à 20°C (Small et Deutsch, 2001 ; Peter, 2004).

3.1.4. Répartition géographique

3.1.4.1. Dans le monde

Il existe près de 350 espèces de thym réparties entre l'Europe, l'Asie de l'ouest et la Méditerranée. C'est une plante très répandue dans le Nord-Ouest Africain (Maroc, Tunisie, Algérie et Libye), elle pousse également sur les montagnes d'Ethiopie et d'Arabie du Sud-ouest en passant par la péninsule du Sinaï en Egypte (Dob et al., 2006).

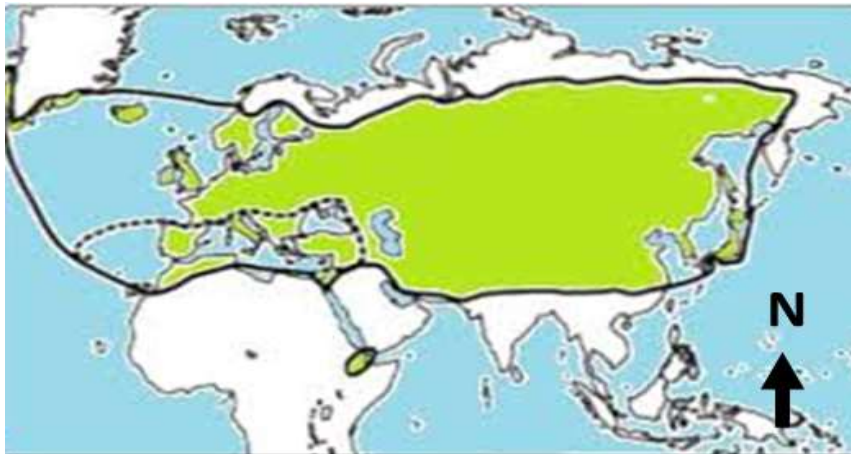


Figure 9. Distribution géographique du thym dans le monde (Morales, 1997 in Abdelli, 2017).

3.1.4.2. En Algérie

Le thym est représenté par plus de 300 espèces à travers le monde dont 12 sont localisées en Algérie et 9 d'entre elles sont endémiques (Quezel et Santa, 1962). Ces espèces sont réparties le long du territoire national, du Nord algérois à l'Atlas saharien, et du constantinois à l'oranais (Kabouche et al., 2005).

3.1.5. Composition chimique

Thymus vulgaris renferme une huile volatile de couleur pâle, jaune ou rouge, avec une odeur riche, douce, herbacée et aromatique et un goût persistant, corsé et épicé (Farrell, 1998). L'huile est composée d'une quantité très variable en phénols (20 – 80%) (Díaz-Maroto et al., 2005) ; thymol (30 – 70%) et carvacrol (3 – 15%) en sont les majeurs constituants (Kuhn et Winston, 2008). Elle contient également des alcools tels que linalool (4 – 6.5%) et α -terpinéol (7.8 – 8.9%) (Skaria, 2007 ; Goetz et Ghédira, 2012), des monoterpènes hydrocarbonés tels que p-cymène (15 – 20%) et γ -terpinène (5 – 10%) (Peter, 2004). *T. vulgaris* est représentée par au moins sept chémotypes différents (Kaloustian et Hadji-Minaglou, 2013).

3.1.6. Usages

Son huile essentielle est exploitée en aromathérapie et dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques (Tisserand, 2014). Le thym est consommé en tisane, condiment ou épice (Stahl-Biskup et Sàez, 2002). En raison de ses nombreuses propriétés ethno-médicinales, il est utilisé comme stimulant, antiseptique, sédatif, stomachique, antitussive, antispasmodique, antimicrobien, antioxydant, anti-inflammatoire, antiviral, carminatif, expectorant, anthelminthique, diaphorétique et diurétique (Johnson, 1998 ; Razzaghi-Abyaneh et Rai, 2013).

L'huile essentielle de *Thymus vulgaris* entre dans les formulations de divers produits pharmaceutiques comme les pommades antiseptiques et cicatrisantes, les émulsions, les cataplasmes et les liniments, ainsi que, les gouttes, les sirops, les élixirs ou les gélules pour le traitement des affections des voies respiratoires ainsi que des préparations pour inhalation (Zaruelo et Crespo, 2002 ; Tiwari et Tandon, 2004).

3.2. *Pélargonium sp.*

3.2.1. Description morphologique

Pélargonium sp. est une plante herbacée, pour la plupart vivaces. Il se développe sous forme de buisson à port érigé, d'environ 1,30 m de hauteur. Les tiges cylindriques et noueuses sont vertes et tendres ; elles se lignifient et deviennent plus foncées avec l'âge. Les feuilles sont opposées, odorantes et découpées en cinq à sept lobes. L'inflorescence est terminale et constituée de trois à dix semi-ombelles de couleur rose. Les feuilles persistantes sont un peu coriaces et couvertes de poils microscopiques parsemés de glandes qui libèrent leur parfum au toucher ou à la

chaleur. Les fleurs roses maculées de pourpre et de grenat s'épanouissent tout au long de l'année et sont la plupart du temps stériles (**Watt et Breyer-Brandwijk, 1962 ; Rajeswara et al., 1993, 1994 ; Kulkarni et al., 1997 ; Hammer et al., 2003**).



Figure 10. Aspect morphologique de *Pelargonium sp.* (**Nabhi, 2014**).

3.2.2. Habitat

Il croît dans des conditions climatiques et édaphiques ni humides ni trop sèches. En revanche, des conditions trop sèches entraînent un retard de croissance. Le géranium croît sur les sols légers, friables et perméables. Il peut être propagé par graine ou par bouture (**Watt & Breyer-Brandwijk, 1962**). Les conditions climatiques ont une forte influence sur le développement du *Pélargonium sp.*, qui demande un climat chaud, sec, sans vent nuisible. La température doit rester supérieure ou égale à 35°C. Il résiste à la sécheresse, l'humidité atmosphérique lui étant nuisible (**Rivière, 1889**).

3.2.3. Taxonomie

Tableau 3. La Classification botanique de l'espèce *Pelargonium sp.* (**Keddar, 2017**).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Géraniales
Famille	Géraniaceae
Genre	<i>Pelargonium</i>
Espèce	<i>Pelargonium sp</i>

3.2.4. Répartition géographique

3.2.4.1. Dans le monde

Le géranium ou plus exactement le genre *pélargonium* est originaire d'Afrique du sud, de la région du cap. Il a été importé en Europe dès le XVII^e-ème siècle, acclimaté dans divers jardins botaniques, propagé et hybridé (**Berthier, 2008**).

On le retrouve aujourd'hui cultivé à la Réunion, en Chine, en Egypte, en Algérie, au Maroc et en Inde (**Narayana et al., 1986**). La Chine et l'Egypte sont les plus grands producteurs d'huile essentielle de géranium (80 tonnes), suivis de l'Inde (20 tonnes), puis de la Réunion (3 tonnes) et l'Afrique du Sud (3 tonnes) (**Lawrence, 2009**).

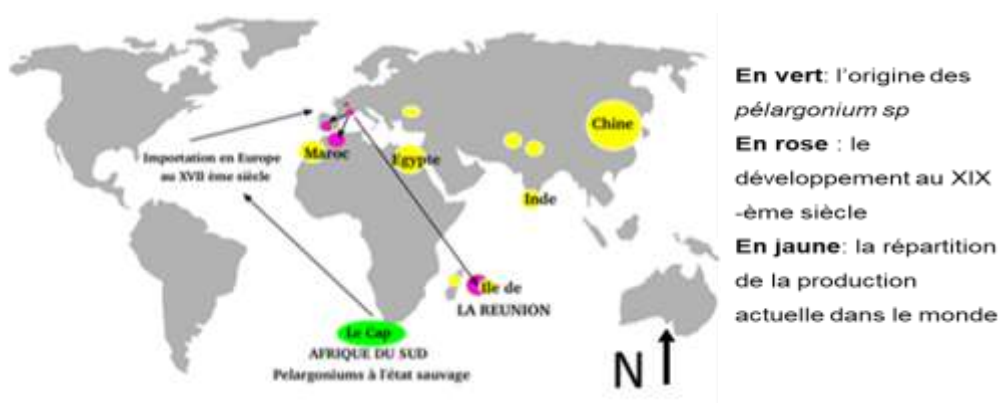


Figure 11. Distribution géographique du *pélargonium* sp. dans le monde (**Narayana et al., 1986**).

3.2.4.2. En Algérie

Cette plante a été introduite en Algérie au 19^eème siècle où elle a acquis des proportions gigantesques durant la période coloniale (**Charabot, 1913 ; Quezel et Santé, 1963**). Aujourd'hui, sa culture, pratiquée sur de petites parcelles dans des conditions de production difficiles, est menacée d'abandon malgré les immenses atouts qu'elle offrirait. La distillerie locale « Extral Bio » (w. Blida), en exploite seulement quelques hectares de géranium (**Lis-Balchin, 2002**).

3.2.5. Composition chimique

Suivant la variété, la composition de l'huile essentielle varie par le pourcentage des composés majoritaires (citronellol et géraniol) et certains composés ne se retrouvent pas dans toutes les huiles de géranium (**Chauhan et Verma, 2010**). L'huile essentielle obtenue à partir de plantes en Italie possède 61 composés, dont 69 % de monoterpènes oxygénés, 16,2 % de sesquiterpènes oxygénés et 9,7 % de

sesquiterpènes hydrocarbonés (**Benelli et al., 2017**). De manière générale, elle est composée majoritairement des monoterpènes oxygénés citronellol, géraniol et du formiate de citronellyle (**Ralambondrainy, 2017**).

3.2.6. Utilisation

De nombreuses espèces sont cultivées pour leurs huiles essentielles et vendues sous le nom de géranium rosat. Certaines espèces de géranium sont cultivés pour l'ornement, l'alimentation et la médecine traditionnelle : acné, brûlure, eczéma, plaie, impétigo, mycoses cutanées, couperose, asthénie (**Akdemir et al., 2001 ; Yi et al., 2008**). L'huile essentielle de géranium possède des vertus antimicrobiennes, insecticides, antiseptiques et cicatrisantes (**Burt, 2004 ; Zhiri et Boudeaux, 2005 ; Prabuseenivasan et al., 2006 ; Kelen et Tepe, 2008**). L'activité contre *Leishmania* de l'HE de géranium ou de ses composés majoritaires, tels que le géraniol a été mise en évidence (**Essid et al., 2015**). Le géranium a une activité antibactérienne contre *E. coli* mais aussi plusieurs bactéries gram-négatives isolées de patients (**Lin et al., 2016 ; Sienkiewicz et al., 2014**). L'activité antifongique a été caractérisée, entre autres, pour le champignon *Ascoshpaera apis* mais aussi *Candida*, en action synergique avec l'amphotéricine B (**Ansari et al., 2016 ; Rosato et al., 2008**) et la levure *Malassezia* (**Naeini et al., 2011**). Le géranium a une activité insecticide contre les larves de la mineuse de tomate (*Tuta absoluta*) aussi les moustiques araignées et les guêpes (**Keddar, 2017**).

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. Présentation des régions d'étude

1.1. Situation géographique des régions de récolte

La plante *Thymus vulgaris* L. est collectée de la région d'El Milia qui fait partie de la Wilaya de Jijel située au Nord-est de l'Algérie dans le nord constantinois. Elle se trouve aux croisements des routes de Constantine-Jijel. Elle est à 72 km de Constantine au Sud, 80 km de Skikda à l'Est, 57 km de Jijel à l'Ouest et à 15 km de la mer méditerranée. La région d'El-Milia se caractérise par un relief montagneux très accidenté, les montagnes occupent 82% de la superficie totale, elles se tiennent jusqu'à 1200 m. Elle est caractérisée par un littoral vierge et des petites montagnes couvertes par des végétations assez denses et des sources d'eau. Ses coordonnées géographiques sont : latitude 36°45' 00" Nord et longitude 6° 16' 00" Est. L'altitude par rapport au niveau de la mer est de 210 m (**Figure 12**).



Figure 12. Carte de localisation régionale d'El Milia (**Google Earth, 2020**).

Zéralda constitue la deuxième région de récolte de la plante *Pélargonium sp.* Elle est localisée à environ 26 km à l'ouest d'Alger. Elle est située sur une vaste plaine du sahel algérois en légère pente et qui débouche sur des plages de sable fin. Elle est délimitée, au Nord-Ouest par la mer méditerranée, au Nord par la commune de Staouéli, au Sud par une forêt de 600 hectares appelée "forêt des planteurs », à l'Est par la commune de Mahelma et à l'Ouest la commune de Douaouda. Ses coordonnées géographiques sont : latitude 36°43' 05" Nord et longitude 2° 51' 01" Est. L'altitude par rapport au niveau de la mer est de 38 m (**Figure 13**).



Figure 13. Carte de localisation régionale du Zéralda (Google Earth, 2020).

1.2. Synthèse climatique

1.2.1. Diagramme ombrothermique

Le diagramme de **Bagnouls et Gausson (1957)** considère qu'un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimé en mm est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P \geq 2 T$). Cette relation permet d'établir un graphique sur lequel les précipitations sont portées à l'échelle double des températures. La période sèche se situe entre les deux intersections des deux courbes.

Ces paramètres bioclimatiques sont des facteurs distinctifs du climat et qui sont déterminants dans la vie des êtres vivants. Ils conditionnent en effet le cycle de développement et la croissance des espèces ainsi que leur répartition géographique. Les données proviennent de l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M) pour la période 2009 à 2019 et l'année d'étude 2020.

Le diagramme ombrothermique de l'année 2019 pour la région d'**El Milia**, montre l'existence d'une période humide et sèche (**Figure 14**). La première période humide s'étale de janvier jusqu'au début du mois de mai et la deuxième période du mois d'octobre au mois de décembre. La période sèche dure 6 mois et s'étend du mois de mai au mois d'octobre.

Quant à la région de **Zéralda**, Le diagramme ombrothermique de l'année 2019 révèle la présence d'une période humide et sèche (**Figure 14**). La première période humide s'étale du mois de janvier jusqu'au mois d'mai et la deuxième période humide du mois de septembre au mois de décembre. La période sèche dure 3 mois et s'étend du mois de juin à la fin du mois d'aout.

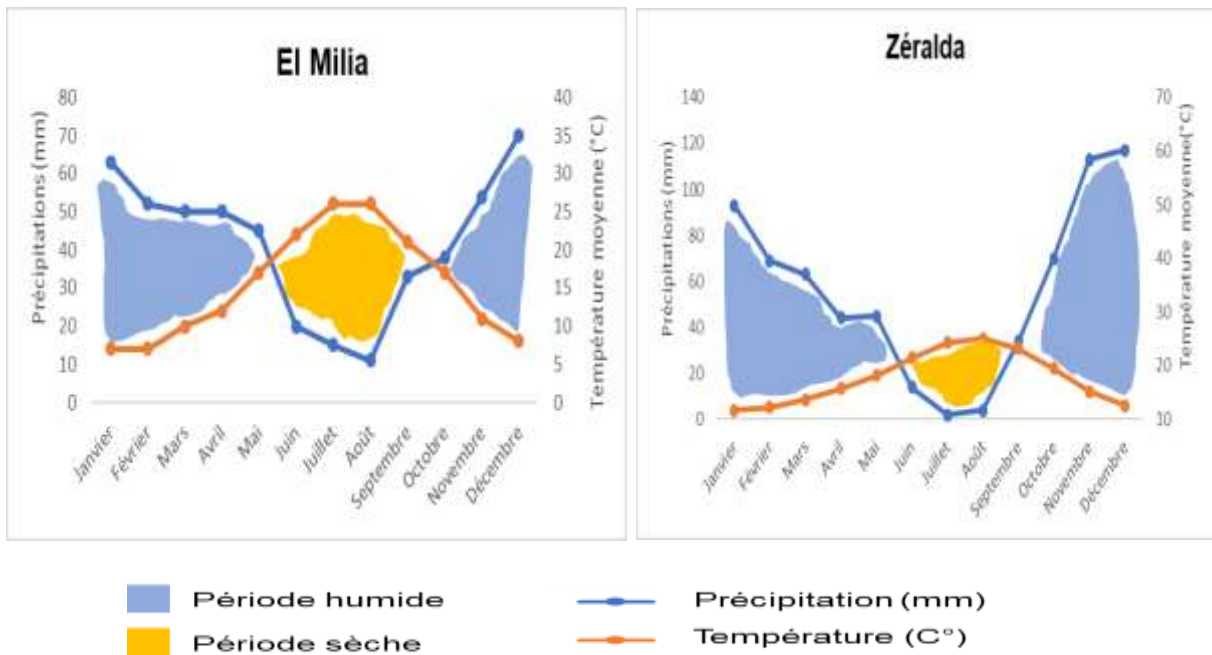


Figure 14. Diagramme ombrothermique des deux régions de récolte pour l'année 2019.

1.2.2. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique permettant de distinguer les différentes nuances du climat méditerranéen a été défini par **Emberger en 1952**. Il est déterminé à partir de la formule suivante :

$$Q2=2000P/M^2- m^2$$

Avec :

P : Précipitation annuelle en mm

M : Température maximale du mois le plus chaud °C.

m : Température minimale du mois le plus froid °C.

Quant au scientifique **Stewart (1963)** il a élaboré une formule pour le climat méditerranéen, soit :

$$Q = 3,43 (P/M-m)$$

Avec :

3,43 est une constante.

Q : Le quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm.

M : Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C.

m : Moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

En portant les valeurs de **Q2**= 55.5 et **m**= 3°C sur le climagramme d'Emberger, nous constatons que la région d'**El Milia** est classée dans l'étage bioclimatique Semi-aride, à hiver frais (**Figure 15**). Quant à la région de **Zéralda** on quotient pluviométrique **Q2**= 109.62, placé en ordonnées, et la température moyenne minimale du mois le plus froid **m**= 8.4°C, placée en abscisses, est localisée dans l'étage bioclimatique subhumide, à hiver chaud (**Figure 15**).

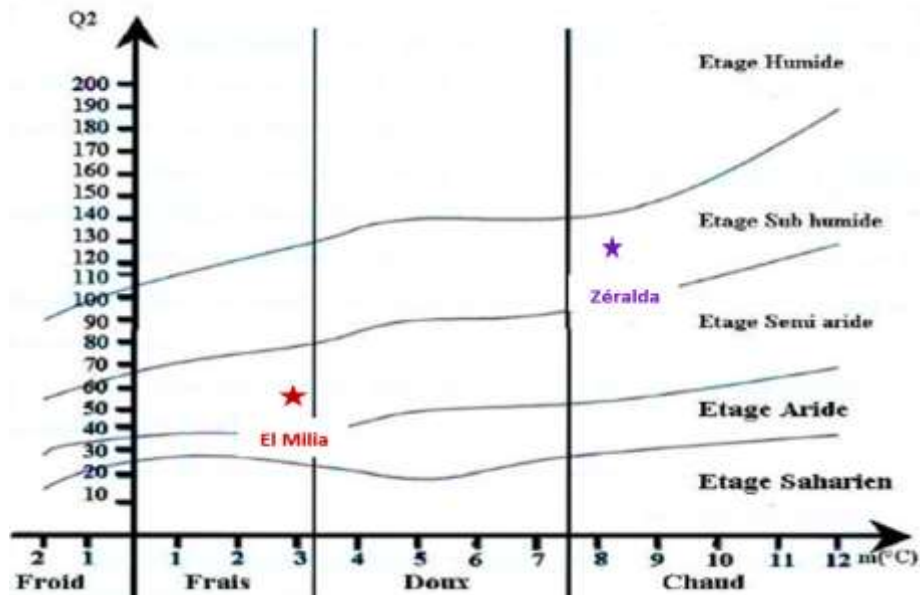


Figure 15. Climagramme d'emberger pour les deux régions d'El Milia et Zéralda pour la période 2009 à 2019.

2. Lieu de l'expérimentation

Suite aux conditions de confinement, l'expérimentation a été réalisée dans une chambre aménagée répondant aux conditions de laboratoire. Elle a consisté à l'évaluation de l'activité insecticide de deux huiles essentielles formulées de *Thymus vulgaris* L. ; *Pélargonium* sp. et la synergie de ces huiles, sur les adultes d'un ravageur redoutable des denrées stockées *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797).

3. Matériels utilisés

3.1. Matériel de laboratoire

Pour effectuer nos essais, nous avons utilisé :

- ❖ Des bocaux en verre utilisés pour l'élevage en masse des adultes de *Tribolium castaneum*.
- ❖ Des bouteilles en verre utilisées dans le test de toxicité par inhalation.
- ❖ Des boîtes de pétri en plastique utilisées dans le test de toxicité par contact.
- ❖ Une balance de précision
- ❖ Un autre type de matériel utilisé comme accessoires tels que le coton, fil, Papier wattmans, les Seringues graduées, un filet à fine maille, les étiquettes, un bécher gradué, des tubes en verre pour la conservation des huiles et le matériels métal (cullière /pince ...).

3.2. Matériels biologiques

3.2.1. Matériel végétal

Les huiles essentielles étudiées de *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.* nous ont été fournies par le laboratoire de Phytopharmacie du département des Biotechnologies de l'université de Blida1. L'extraction de ces huiles essentielles est réalisée par la technique d'hydrodistillation sur un appareil de type Clevenger.

3.2.2. Matériel animal

3.2.2.1. Identification de l'espèce étudiée

Il existe plusieurs espèces de *Tribolium* dont deux espèces connues qui sont nuisibles *T. confusum* et *T. castaneum* ces deux espèces semblables d'aspect et de taille identique se distinguent par la forme de leurs antennes, l'espace entre les yeux et le nombre de facettes de ces derniers. L'identification du modèle biologique animal qui dans notre cas est le *Tribolium* rouge de la farine.



Figure 16. Partie tête et thorax de *Tribolium castaneum* (massue antennaire brusquement élargie) (Bousquet, 1990)



Figure 17. Partie tête et thorax de *Tribolium confusum* (massue antennaire graduellement élargie) (Bousquet, 1990)



Figure 18. Partie tête et thorax de *Tribolium castaneum* (espace plutôt étroit entre les yeux environ 33% de la largeur de la tête) (Bousquet, 1990)



Figure 19. Partie tête et thorax de *Tribolium confusum* (espace plutôt large entre les yeux environ 50% de la largeur de la tête) (Bousquet, 1990)



Figure 20. Partie tête et thorax de *Tribolium castaneum* (yeux comportant 4 facettes à leur point le plus étroit) (Bousquet, 1990)



Figure 21. Partie tête et thorax de *Tribolium confusum* (yeux comportant 2 facettes à leur point le plus étroit) (Bousquet, 1990)

3.2.2.2. Elevage du matériel animal

L'élevage en masse de *Tribolium castaneum* (Herbst) est réalisé au mois de mars au laboratoire de Phytopharmacie du département des Biotechnologies de l'université de Blida1, dans des bocaux en verre fermé par un filet à fine maille pour permettre la respiration des insectes dans un milieu nutritif composé de semoule de blé, à une température de 28°C et une humidité relative de 70%.



Figure 22. Elevage en masse de *Tribolium castaneum* (G x2) (originale).

4. Méthodes

4.1. Formulation des bioproduits

Pour assurer la stabilité de l'efficacité des huiles essentielles à tester, Ces dernières ont été formulées au laboratoire de phytopharmacie du département des Biotechnologies de l'université de Blida1. Selon le protocole établi par **Moussaoui et al., (2014)**.



Figure 23. Bioformulations à base des huiles essentielles étudiées de *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.* et la synergie de ces huiles (**G x2**) (**originale**).

4.2. Préparation des doses

A partir des solutions mères formulées à 10% de matière active de deux huiles essentielles de *Thymus vulgaris L.* ; *Pélargonium sp.*, la solution mère de leur synergie est préparée. Cette dernière est composée de 50% d'HE de thym et de 50% d'HE de géranium. Trois doses sont préconisées pour les tests de toxicité. Cependant, l'eau distillée est utilisée comme traitement témoin.

La première dose consiste à prélever 1g de la solution mère à laquelle on rajoute 9ml d'eau distillée correspondant ainsi à la dose la plus faible (D1). De la même façon la (D2) correspond à la dose moyenne avec 2g/8 ml d'eau distillée, et la plus forte dose est relative à la (D3) avec 3g/7ml d'eau distillée.



Figure 24. Préparation des différents doses (D1, D2, D3) (**G x2**) (**originale**).

4.3. Les tests de toxicité

4.3.1. Application par inhalation

Le traitement par inhalation consiste à :

- ❖ Déposer un lot de 10 individus d'adultes de *Tribolium castaneum* dans chaque flacon préalablement lavé et séché.
- ❖ Préparer des boules de coton de même dimension munies d'un fil auxquelles on a injecté une même quantité de la dose à tester (1 ml) à savoir D1, D2 et D3 des HE de *Thymus vulgaris L.*, *Pélargonium sp.*, la synergie de ces huiles.
- ❖ Suspendre à la même hauteur les boules de coton traitées, et les fixer sur les bouchons puis fermer de suite les flacons.
- ❖ Toutes les doses testées sont répétées 5 fois et comparées à un lot témoin qui a subi un traitement à l'eau distillée.
- ❖ Estimer dans le temps l'efficacité des bioproduits par le dénombrement des Individus morts dès les premières heures après l'application des traitements à savoir 1h, 2h, 4h, 24h, 48h, 72h.



Figure 25. Application des traitements par mode d'inhalation (G x1.9) (original).

4.3.2. Application par contact

Le traitement par contact consiste à :

- ❖ Déposer dans chaque boîte de pétri de 11 cm de diamètre du papier wattman N1 imbibé à l'aide d'une seringue d'une quantité de 1 ml de différentes doses D1, D2 et D3 de deux HE de *Thymus vulgaris L.*, *Pélargonium sp.*, et de leur synergie.
- ❖ Déposer dans chaque boîte de pétri à l'aide d'une pince 10 individus de *Tribolium castaneum*.
- ❖ Recouvrir les boîtes de pétri d'un tissu transparent à mailles très fines afin d'éviter la volatilisation et la fuite des individus.
- ❖ Réaliser 5 répétitions pour toutes les doses testées et les comparer à un lot témoin dont les disques sont imbibés qu'avec de l'eau distillée.
- ❖ Évaluer dans le temps l'efficacité des bioproduits testés en dénombrant quotidiennement les Individus morts dès les premières heures après l'application des traitements (1h, 2h, 4h, 24h, 48h, 72h).

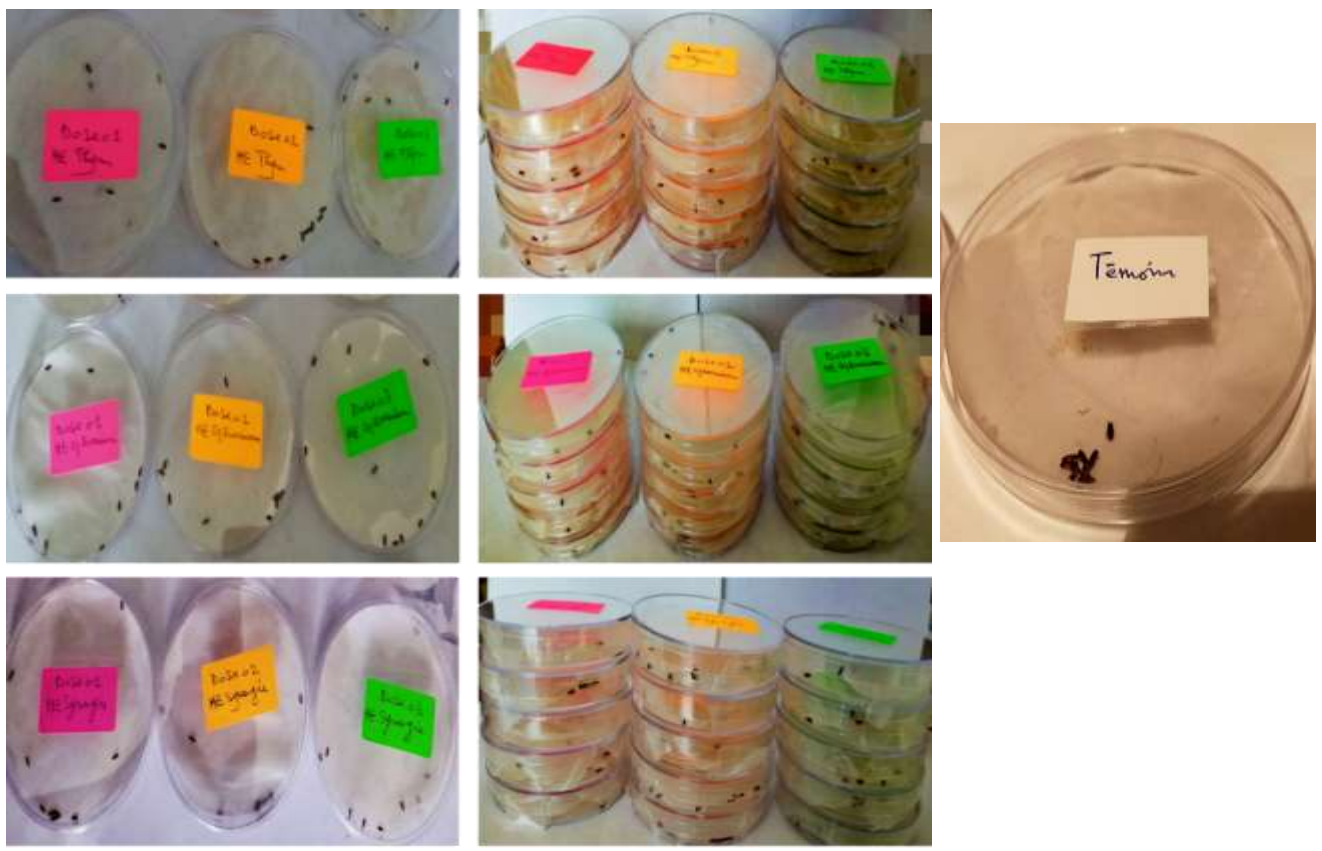


Figure 27. Application des traitements par mode de contact (**G x1.9**) (**original**).

5. Exploitation des données

5.1. Dénombrement

Le dénombrement des individus de *Tribolium castaneum* morts est réalisé quotidiennement pour tous les traitements. Les adultes immobiles au contact d'une pince sont considérées comme mortes. Le taux de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* est estimé en fonction de temps d'exposition (1h, 2h, 4h, 24h, 48h, 72h) et des différentes doses appliquées D1, D2, D3 de chaque traitement par rapport au témoin.

5.2. Estimation de la mortalité observée

Le pourcentage de mortalité observée chez les individus témoins et traités est estimé par la formule suivante :

$$\text{Mortalité observée} = (\text{Nombres des individus morts} / \text{Nombres totales des individus}) \times 100$$

5.3. Estimation de la mortalité corrigée

L'efficacité d'un produit biocide est évalué par la mortalité de l'organisme cible. La mortalité des populations adultes de *Tribolium castaneum* a été calculée et corrigée selon la formule d'**Abbott (1925)** en tenant compte de la mortalité naturelle observée dans le test de contrôle (témoin).

$$\text{MC \%} = (\text{Mo} - \text{Mt} / 100 - \text{Mt}) \times 100$$

Avec : **MC (%)** : le pourcentage de mortalité corrigée.

Mo (%) : le Pourcentage des morts dans la population traitée.

Mt (%) : le Pourcentage des morts dans la population témoin.

5.4. Calcul des doses létales 50

L'efficacité d'un produit toxique se mesure par la DL50 qui représente la quantité de substance toxique qui entraîne la mort de 50% d'individus d'un même lot.

Elle est déduite à partir du tracé d'une droite de régression, prenant en compte les probits des valeurs des mortalités corrigées en ordonnées par le biais de la table des probits et les logs décimaux des doses en abscisse. Les pourcentages de mortalité corrigée sont transformés en probits selon le tableau de **Bliss in Cavelier, (1976)** (annexe). Ces probits sont représentés graphiquement en fonction du logarithme

népérien afin d'évaluer la dose létale 50 (DL50) qui est déterminée à partir de l'équation de la droite de régression obtenue en utilisant le logiciel **Excel (2019)** :

$$Y = a x + b$$

Y étant le probit de la valeur de la mortalité corrigée

X le logarithme décimal de la dose

a la pente de l'équation de la droite de régression

b valeur constante.

On déterminera la dose qui correspond à un probit de 5 (5% de mortalité) d'où la DL50. Ou encore se munir de logiciels comme le **R (R Development CoreTeam 2010)** qui arrive à calculer directement les DL50 sans application numérique.

5.5. Analyse de la variance

Les résultats obtenus ont été soumis aux tests de l'analyse de la variance (ANOVA) et le modèle linéaire global (GLM) avec le **logiciel statistique SYSTAT vers 26 SPSS 2019** Permet de vérifier la signification de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités, dans les conditions paramétriques si la distribution de la variable quantitative est normale. Le seuil de 5 % a été retenu pour tous les tests.

L'effet variable dépend de la probabilité de l'erreur réellement commise :

- **P > 0, 05** Différence non significatif.
- **P < 0, 05** Différence significatif.
- **P < 0, 01** Différence hautement significatif.
- **P < 0, 001** Différence très hautement significatif.



Figure 27. Schéma directeur des différents traitements appliqués sur les populations de *Tribolium castaneum* (original).

Chapitre 4 : Résultats

Cette partie regroupe les résultats des tests de l'évaluation des activités insecticides des huiles essentielles formulées de *Thymus vulgaris L.* ; *Pélargonium sp.* et la synergie de ces huiles, sur les adultes d'un ravageur redoutable des denrées stockées *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797).

1. Évaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle formulée de *Thymus vulgaris L.*

1.1. Fluctuation des taux de mortalité par contact

Les résultats des mortalités observée et corrigée cumulées dans le temps chez les individus de *Tribolium castaneum* traités, par contact, à différentes doses de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.* sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous (**Tableau 4**) (**Tableau 5**). Les résultats obtenus sont illustrés dans la **figure 28**.

Tableau 4. Taux de mortalité observée du *Tribolium castaneum* traité par *Thymus vulgaris L.* par contact.

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
Dose 1	10	17	26	40	64	83
Dose 2	27	38	52	58	72	94
Dose 3	61	65	76	84	92	100
Témoin	0	0	0	10	30	50

Tableau 5. Taux de mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par *Thymus vulgaris L.* par contact.

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
MC % D1	10	17	26	33,33	48,57	66
MC % D2	27	38	52	53,33	60	88
MC % D3	61	65	76	82,22	88,57	100

L'effet des traitements appliqués est confirmé par les résultats graphiques de la **Figure 28**. En effet, le bioproduit formulé à base de Thym montre une efficacité en relation avec les doses de traitement et le temps sur les individus de *Tribolium castaneum*. La plus forte dose D3 se révèle la plus toxique en affichant 24h après

traitement un taux de mortalité corrigée de 82,22% suivie de la moyenne dose D2 avec une valeur de 53.33% et enfin la faible dose D1 avec un taux de mortalité de 33.33%. Le taux de mortalité de 100% est atteint après 72h et cela pour la troisième dose D3.

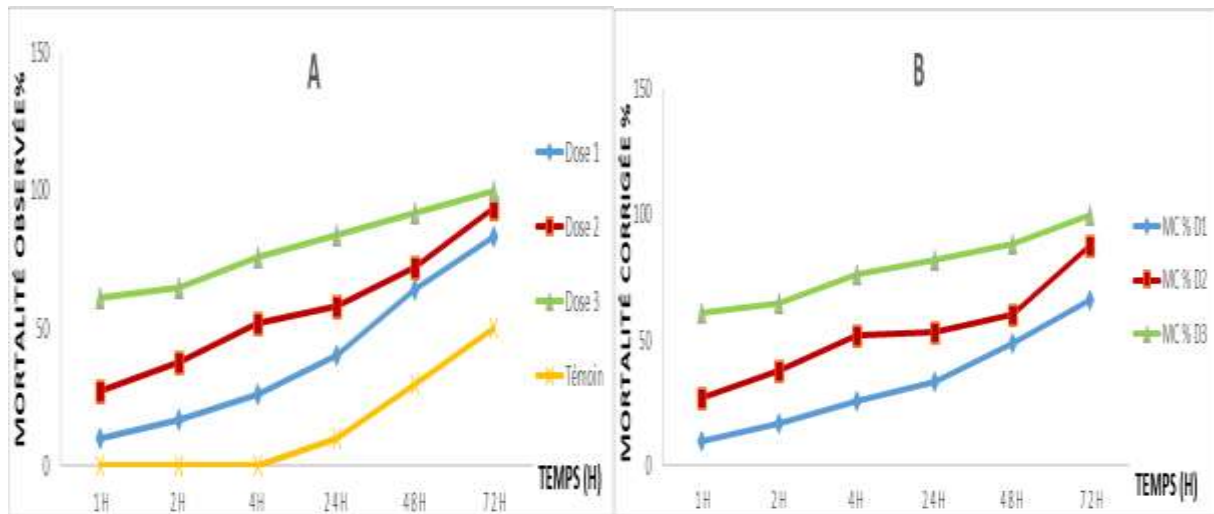


Figure 28. Évolution temporelle du taux de mortalité du *Tribolium castaneum* traité par contact sous l'effet de la bioformulation de *Thymus vulgaris* L.

(A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée

1.2. Fluctuation des taux de mortalité par inhalation

Les résultats de mortalités observée et corrigée cumulées dans le temps chez les individus de *Tribolium castaneum* traités, par inhalation, à différentes doses de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous (**Tableau 6**) (**Tableau 7**). Les résultats obtenus sont illustrés dans la **figure 29**.

Tableau 6. Taux de mortalité observée du *Tribolium castaneum* traité par *Thymus vulgaris* L. par inhalation

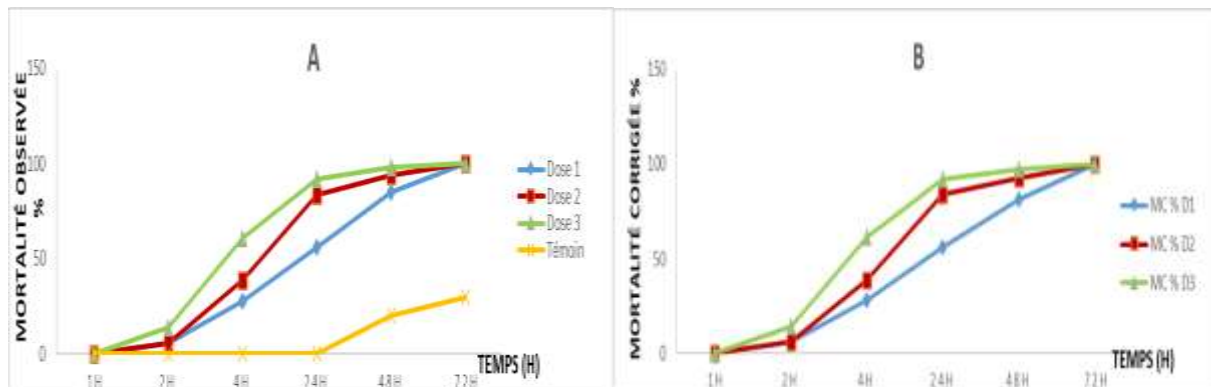
	1h	2h	4h	24h	48h	72h
Dose 1	0	6	28	56	85	100
Dose 2	0	6	39	84	94	100
Dose 3	0	14	61	92	98	100
Témoin	0	0	0	0	20	30

Tableau 7. Taux de mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par *Thymus vulgaris* L. par inhalation

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
MC% D1	0	6	28	56	81,25	100
MC% D2	0	6	39	84	92,5	100
MC% D3	0	14	61	92	97,5	100

Les résultats obtenus avec l'huile essentielle appliquée par mode inhalation révèlent que cette dernière a provoqué une plus forte mortalité que celle exposée par contact. Après 24 h le bioproduit formulé montre des taux de mortalité élevés avec 56% pour la dose D1, 84% pour la dose D2 et 92% pour la dose D3. Le taux de mortalité de 100% est atteint à 72h et cela pour toutes les doses.

Selon la **figure 29**, on peut dire que les mortalités des adultes du *Tribolium castaneum* augmentent progressivement en fonction des doses et des temps d'exposition.

**Figure 29.** Évolution temporelle du taux de mortalité du *Tribolium castaneum* traité par inhalation sous l'effet de la bioformulation de *Thymus vulgaris* L.

(A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée

1.3. Comparaison des deux modes d'application

D'après les résultats obtenus, on a constaté que les deux modes inhalation et contact réagissent différemment l'un par rapport à l'autre selon la dose et en fonction du temps. La **figure 30** montre que les traitements à base d'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. se sont avérés plus toxique par inhalation que par contact.

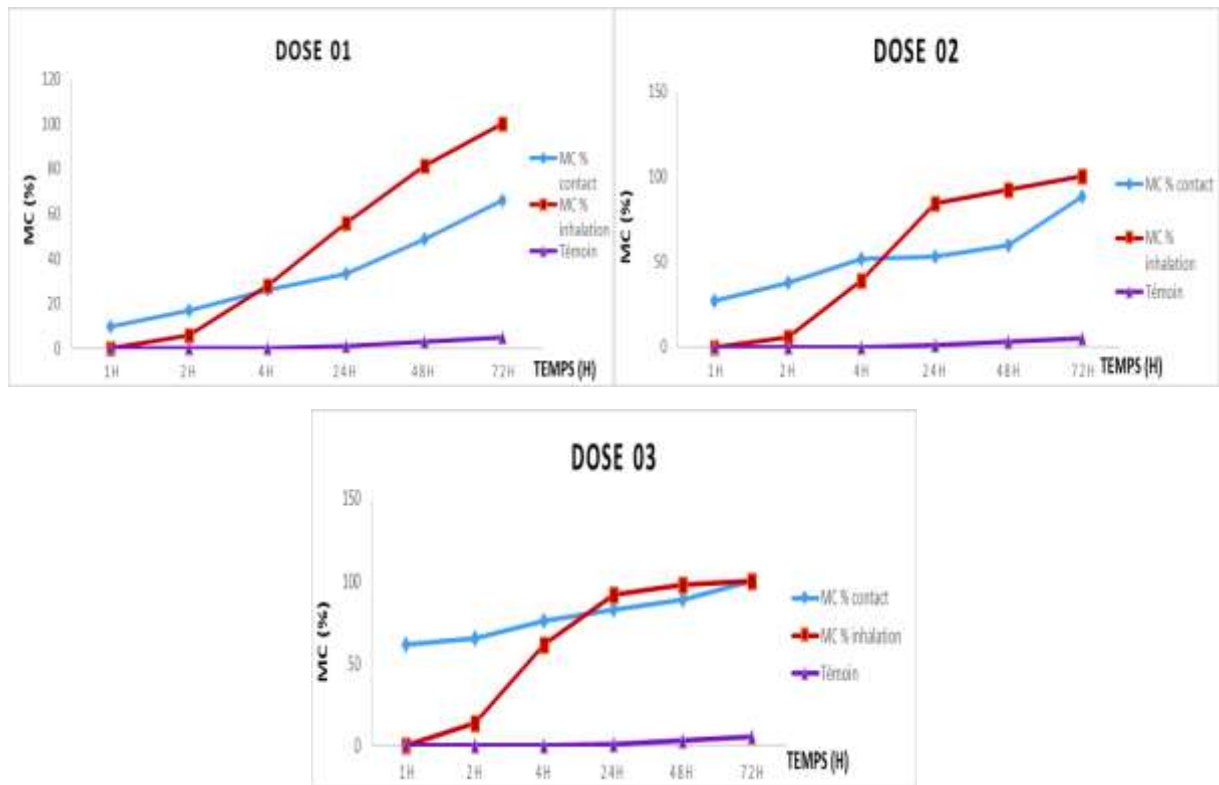


Figure 30. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par inhalation et contact sous l'effet de la bioformulation de *Thymus vulgaris* L.

2. Évaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle formulée de *Pélargonium* sp.

2.1. Fluctuation des taux de mortalité par contact

Les résultats de mortalités observée et corrigée cumulées chez les individus de *Tribolium castaneum* traités par contact à différentes doses de l'huile essentielle de *Pélargonium* sp. sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous (**Tableau 8**) (**Tableau 9**). Les résultats obtenus sont illustrés dans la **figure 31**.

Tableau 8. Taux de mortalité observée du *Tribolium castaneum* traité par *Pélargonium* sp. par contact.

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
Dose 1	14	27	40	54	68	85
Dose 2	26	33	56	68	81	96
Dose 3	42	58	76	78	92	100
Témoin	0	0	0	10	30	50

Tableau 9. Taux de mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par *Pélargonium* sp. par contact.

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
MC% D1	14	27	40	48,88	54,28	70
MC% D2	26	33	56	64,44	72,85	92
MC% D3	42	58	76	75,55	88,57	100

Comparativement au témoin, les résultats obtenus du test par contact (**figure 31**), ont montré que les mortalités des individus de *Tribolium castaneum* augmentent en fonction des doses et du temps d'exposition. Après 24 h le bioproduit formulé à base de *Pélargonium* sp. montre des taux de mortalité élevés avec 48,88 % pour la faible dose D1, 64,44% pour la dose moyenne D2 et 75,55% pour la forte dose D3. Le taux de mortalité de 100% est atteint après 72h et cela pour la troisième dose D3.

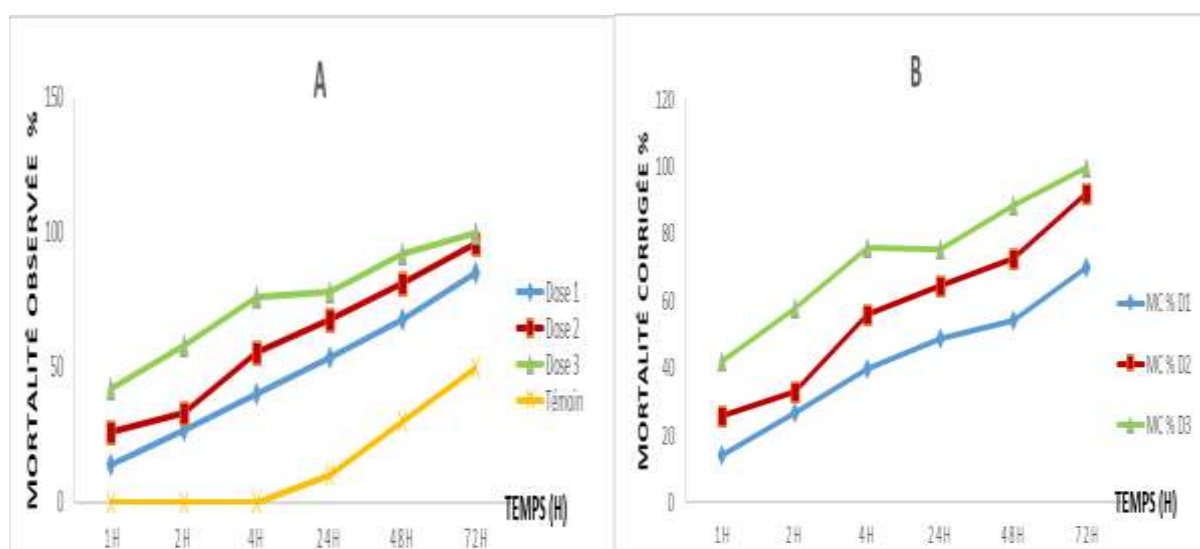


Figure 31. Évolution temporelle du taux de mortalité du *Tribolium castaneum* traité par contact sous l'effet de la bioformulation de *Pélargonium* sp.

(A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée

2.2. Fluctuation des taux de mortalité par inhalation

Les résultats de mortalités observée et corrigée cumulées chez les individus de *Tribolium castaneum* traités, par inhalation, à différentes doses de l'huile essentielle de *Pélargonium* sp. sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous (**Tableau 10**) (**Tableau 11**). Les résultats obtenus sont illustrés dans **la figure 32**.

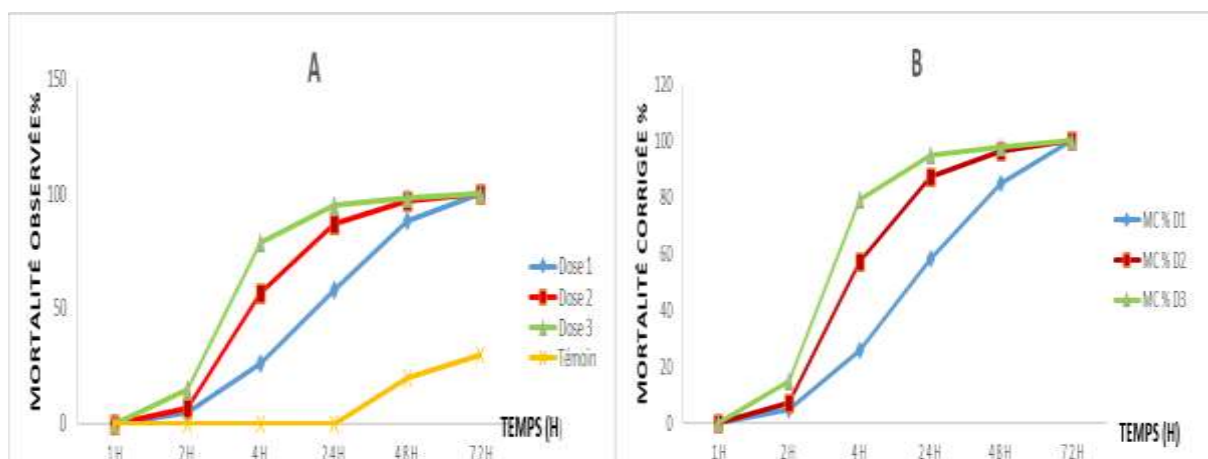
Tableau 10. Taux de mortalité observée du *Tribolium castaneum* traité par *Pélargonium sp.* par inhalation

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
Dose 1	0	5	26	58	88	100
Dose 2	0	7	57	87	97	100
Dose 3	0	15	79	95	98	100
Témoin	0	0	0	0	20	30

Tableau 11. Taux de mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par *Pélargonium sp.* par inhalation

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
MC % D1	0	5	26	58	85	100
MC % D2	0	7	57	87	96,25	100
MC % D3	0	15	79	95	97,5	100

D'après la **figure 32**, l'évolution temporelle des mortalités montre un effet toxique proportionnel à la dose employée et au temps d'exposition. Après 24 h, la plus forte dose (D3) a occasionné 95 % de mortalité sur la population du ravageur expérimenté 87% pour la dose moyenne (D2) et 58% pour la dose la plus faible (D1). Le taux de mortalité de 100% est atteint après 72h et cela pour toutes les doses.

**Figure 32.** Évolution temporelle du taux de mortalité du *Tribolium castaneum* traité par inhalation sous l'effet de la bioformulation de *Pélargonium sp.*

(A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée

2.3. Comparaison des deux modes d'application

Les résultats indiqués dans le graphique (**Figure 33**), montrent que les deux modes inhalation et contact signalent que la mortalité augmente progressivement vers la totalité ce qui explique la haute sensibilité du ravageur ou alors la forte toxicité du produit testé. Cependant, on remarque que les traitements à base d'huile essentielle de *Pélargonium sp.* se sont avérés plus toxiques par inhalation que par contact.

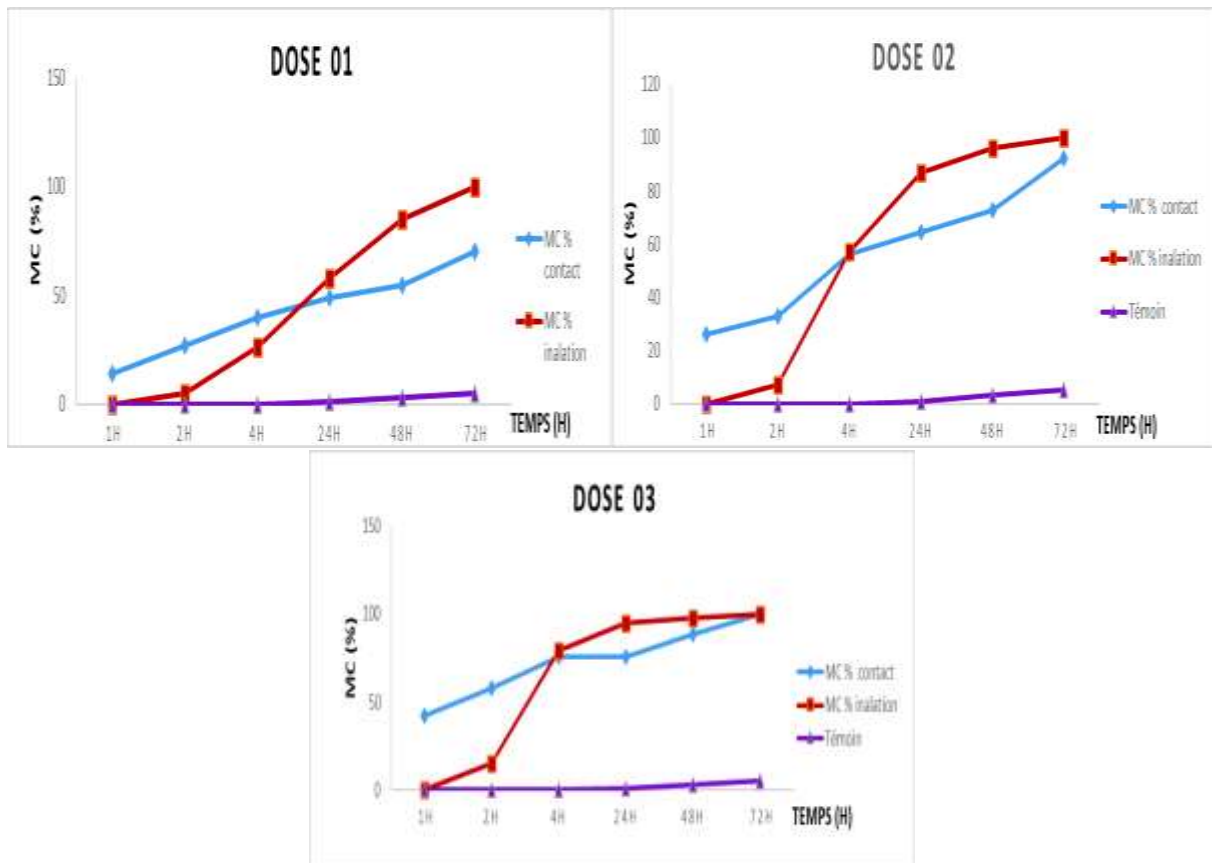


Figure 33. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par inhalation et contact sous l'effet de la bioformulation de *Pélargonium sp.*

3. Évaluation de l'activité insecticide de la synergie de deux huiles essentielles

3.1. Fluctuation des taux de mortalité par contact

Les résultats de mortalités observée et corrigée cumulées chez les individus de *Tribolium castaneum* traités, par contact à différentes doses de la synergie de deux huiles essentielles *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.* sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous (**Tableau 12**) (**Tableau 13**). Les résultats obtenus sont illustrés dans la **figure 34**.

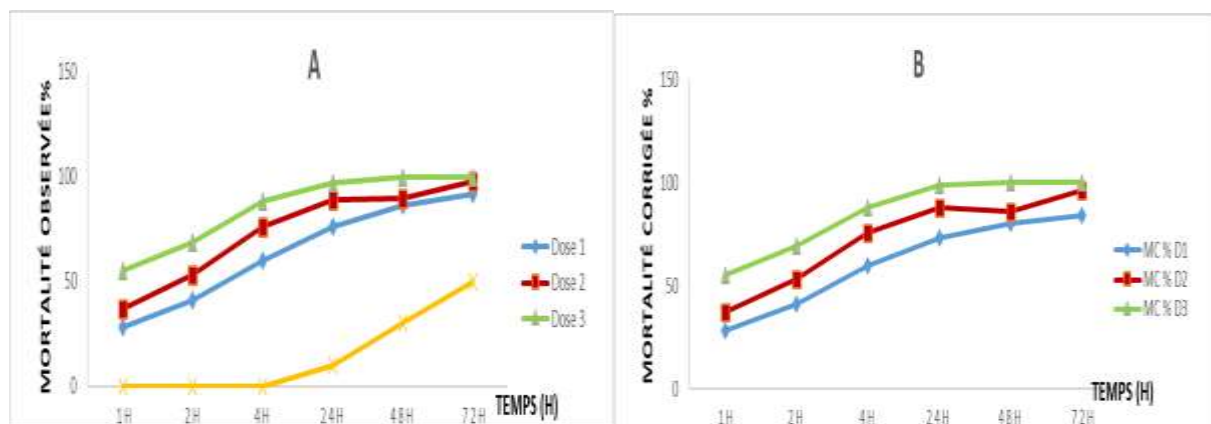
Tableau 12. Taux de mortalité observée du *Tribolium castaneum* traité par la synergie par contact.

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
Dose 1	28	41	60	76	86	92
Dose 2	37	53	76	89	90	98
Dose 3	55	69	88	97	100	100
Témoin	0	0	0	10	30	50

Tableau 13. Taux de mortalité corrigé du *Tribolium castaneum* traité par la synergie par contact

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
MC % D1	28	41	60	73,33	80	84
MC % D2	37	53	76	87,77	85,71	96
MC % D3	55	69	88	98,88	100	100

Les taux de mortalité de la synergie de deux huiles *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.* sont consignés dans la **figure 34**. Les différentes doses D1, D2, D3 ont occasionné respectivement 73,33 %, 87,77 % et 98,88 % de mortalité. Le taux de mortalité de 100% est atteint à 72h et cela pour la forte dose D3. Ceci montre clairement que le pourcentage de mortalité augmente en fonction de la dose et du temps. Les résultats obtenus dans nos essais montrent que la synergie des deux huiles *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.* a une forte activité insecticide.

**Figure 34.** Évolution temporelle du taux de mortalité du *Tribolium castaneum* traité par contact sous l'effet de la bioformulation de la synergie (A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée

3.2. Fluctuation des taux de mortalité par inhalation

Les résultats des mortalités observée et corrigée cumulées chez les individus de *Tribolium castaneum* traités par inhalation à différentes doses de la synergie de deux huiles essentielles *Thymus vulgaris* L. et *Pélargonium* sp. sont représentés dans les deux tableaux ci-dessous (**Tableau 14**) (**Tableau 15**). Les résultats obtenus sont illustrés dans la **figure 35**.

Tableau 14. Taux de mortalité observée du *Tribolium castaneum* traité par la synergie par inhalation

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
Dose 1	0	9	45	84	92	100
Dose 2	0	10	67	91	97	100
Dose 3	0	18	82	97	99	100
Témoin	0	0	0	0	20	30

Tableau 15. Taux de mortalité corrigé du *Tribolium castaneum* traité par la synergie par inhalation

	1h	2h	4h	24h	48h	72h
MC % D1	0	9	45	84	90	100
MC % D2	0	10	67	91	96,25	100
MC % D3	0	18	82	97	98,75	100

D'après la **figure 35**, l'évolution temporelle des pourcentages de mortalité montre un effet progressif des trois doses utilisées s'étalant sur une période après traitement de 1 à 72 heures. Cependant, on note que le bioproduit appliqué a montré une toxicité durant 24H ; soit 97 % pour la D3 ; 91 % pour la D2 et 84 % pour la D1. Le taux de mortalité de 100% est atteint à 72h et cela pour toutes les doses.

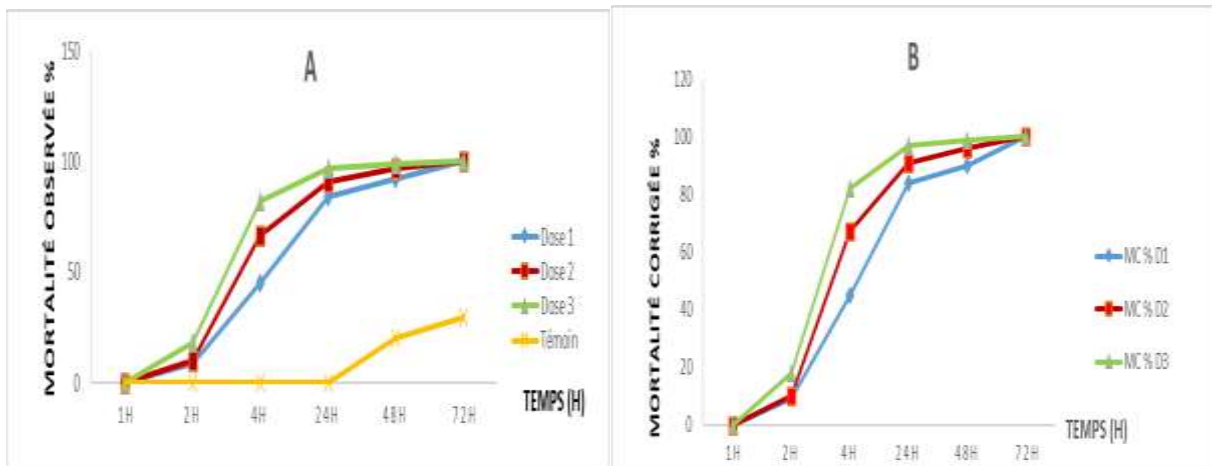


Figure 35. Évolution temporelle du taux de mortalité du *Tribolium castaneum* traité par inhalation sous l'effet de la bioformulation de la synergie

(A) mortalité observée, (B) mortalité corrigée

3.3. Comparaison des deux modes d'application

L'expérimentation de ce traitement a montré des résultats similaires à ceux du traitement précédent notamment par rapport aux deux modes d'application qui ont révélé un effet insecticide avec une toxicité plus importante du mode par inhalation.

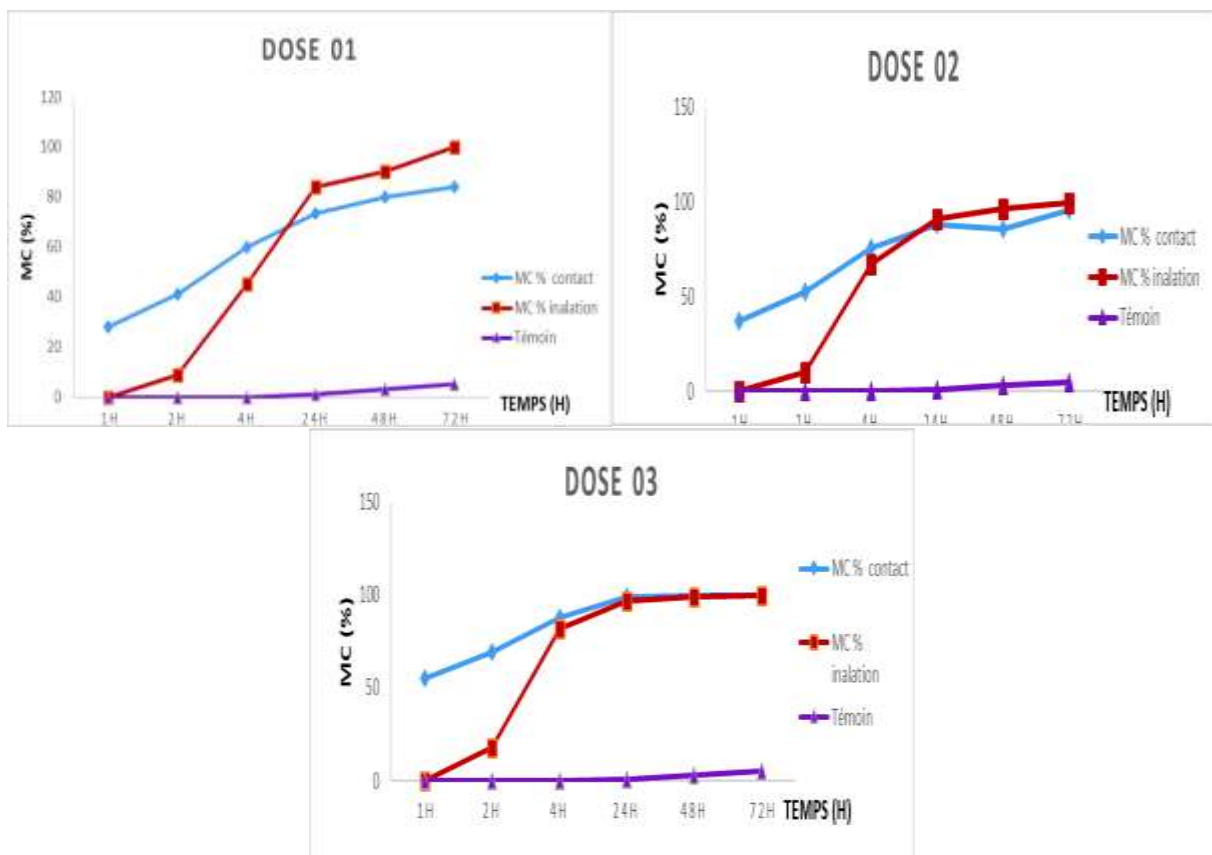


Figure 36. Évolution de la mortalité corrigée des adultes de *Tribolium castaneum* traité par inhalation et contact sous les bioformules de la synergie.

4. Comparaison des trois traitements

Les résultats montrent que les deux huiles essentielles formulées de *Thymus vulgaris* L. ; *Pélargonium* sp. et la synergie de ces huiles ont un effet insecticide contre les adultes du *Tribolium castaneum* qui se traduit par un pourcentage de mortalité élevé dont la fluctuation est en relation avec les doses de traitements et le temps d'exposition : Plus ils augmentent et plus la mortalité est importante.

Selon les deux figures ci-dessous (**Figure 37 et Figure 38**) la comparaison des potentialités insecticides des trois traitements, démontre que la synergie pourrait être retenue comme le traitement le plus toxique à cause des mortalités élevées obtenues pour les différentes doses.

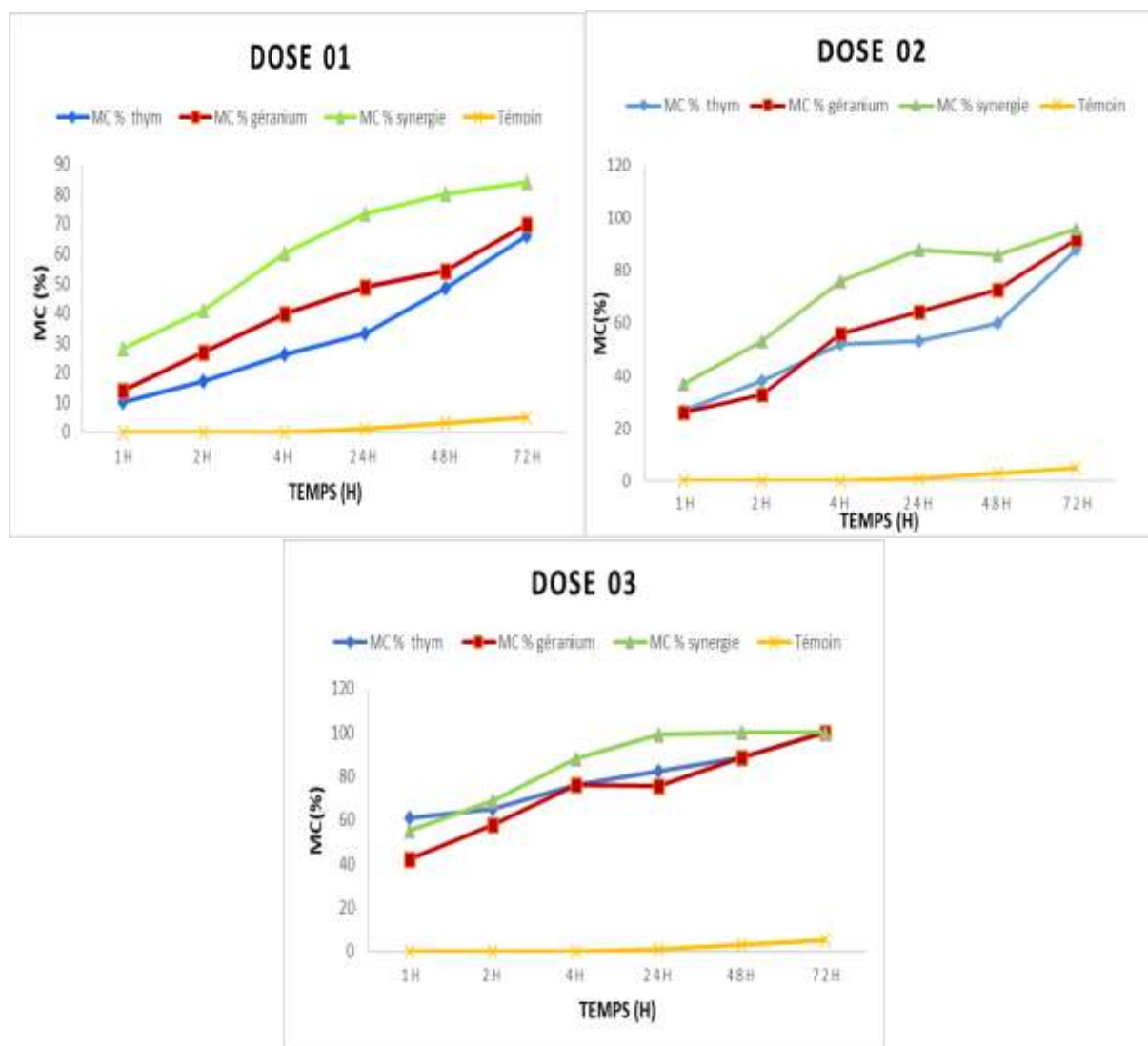


Figure 37. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par différentes doses de *Thymus vulgaris* L. ; *Pélargonium* sp. et la synergie de ces huiles par contact

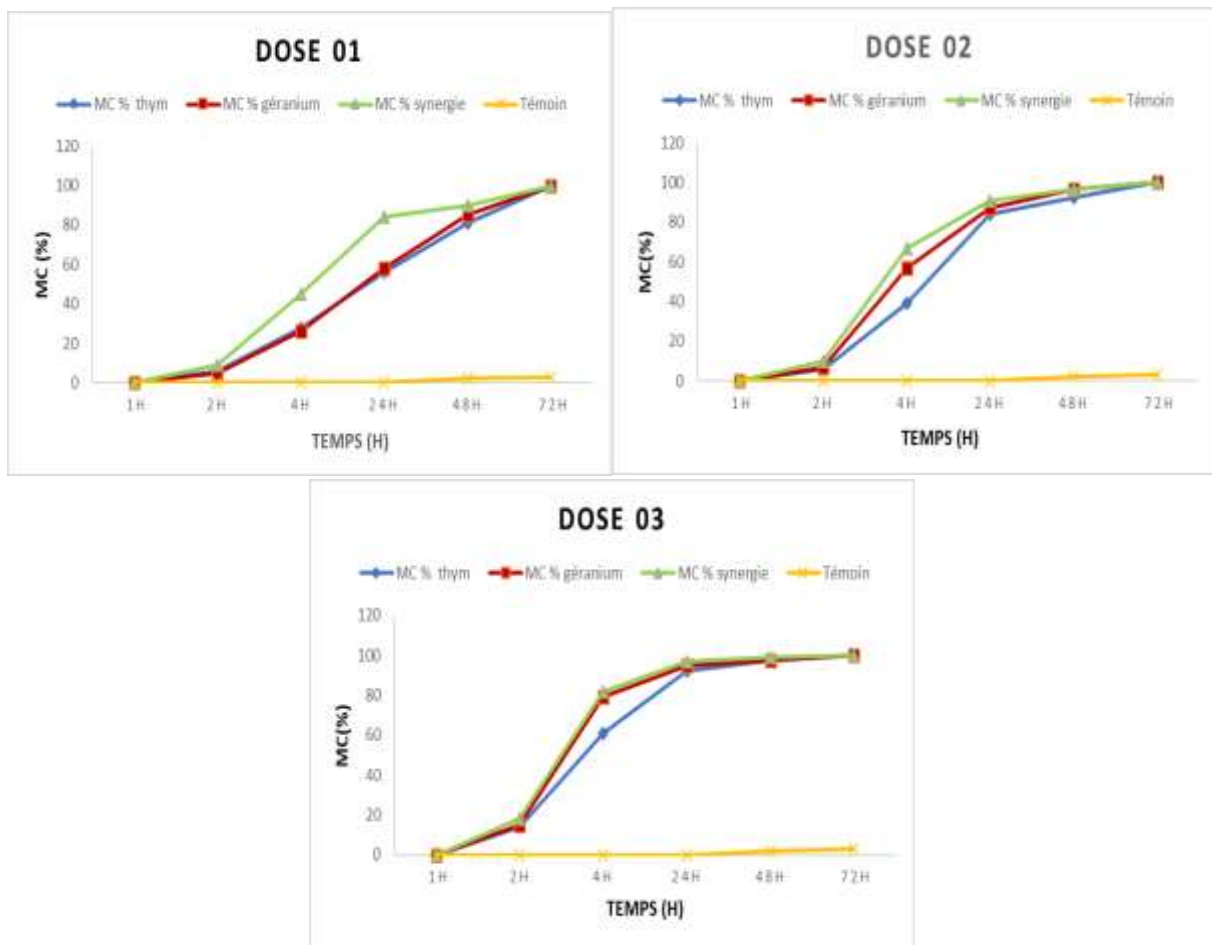


Figure 38. Évolution temporelle de la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* traité par différentes doses de *Thymus vulgaris L.* ; *Pélargonium sp.* et la synergie de ces huiles par contact

5. Analyses de la variance (GLM) pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.*

5.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.* par contact sur *Tribolium Castaneum*

Tableau 16. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* par rapport au temps et aux doses appliquées par contact (*Thymus vulgaris L.*)

Analysis of Variance						
Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Constante	temps	220,500	1	220,500	71,400	,000
	dose	54672,427	1	54672,427	80,052	,000

D'après le **Tableau 16**, l'analyse de variance type GLM du taux de mortalité du *Tribolium castanum* sous l'effet des différentes doses appliquées par mode contact dans le temps présente une différence très hautement significative pour les facteurs temps et doses avec une probabilité $P=0 < 5\%$. Les résultats graphiques de la **Figure 39** montrent une augmentation très importante du pourcentage de mortalité du *Tribolium castanum* relative à une toxicité graduelle dans le temps sous l'effet de la dose D3 (82.22%) par rapport aux deux autres doses à savoir la moyenne dose D2 (53.33%) et la faible dose D1 (33.33%). Cependant, la dose D3 du bioproduit est plus toxique.

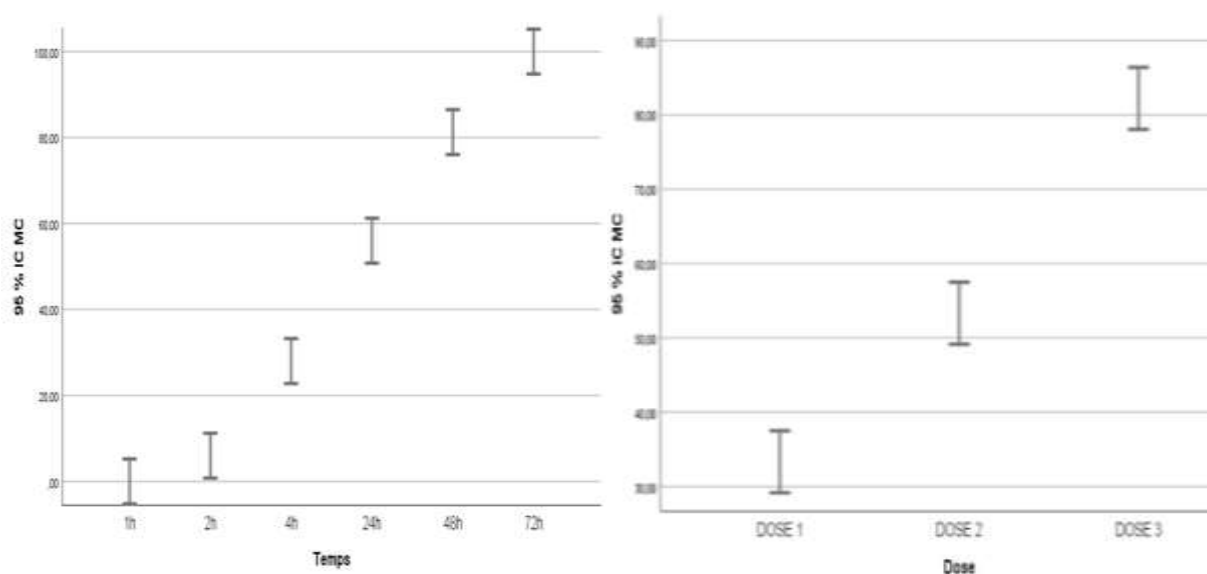


Figure 39. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* traité par *Thymus vulgaris L.* par contact en fonction du temps et des doses.

5.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.* par inhalation sur *Tribolium Castaneum*

Tableau 17. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* par rapport au temps et aux doses appliquées par inhalation (*Thymus vulgaris L.*)

Analysis of Variance						
Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Constante	temps	220,500	1	220,500	71,400	,000
	dose	50907,087	1	50907,087	30,147	,000

Les résultats obtenus dans le **Tableau 17** par analyse de la variance type GLM sous l'effet des doses appliquées par mode inhalation dans le temps montrent une différence très hautement significative pour les deux facteurs dose et temps avec une probabilité $P = 0 < 5\%$. En revanche, les résultats graphiques de la **Figure 40** qui correspondent à l'évolution temporelle des taux de mortalité du ravageur cible sous l'effet des doses, on constate qu'il y a une toxicité croissante dans le temps avec une plus grande toxicité de la plus forte dose D3 (92%) par rapport à la moyenne et la faible dose D2 (84%) et D1 (56%).

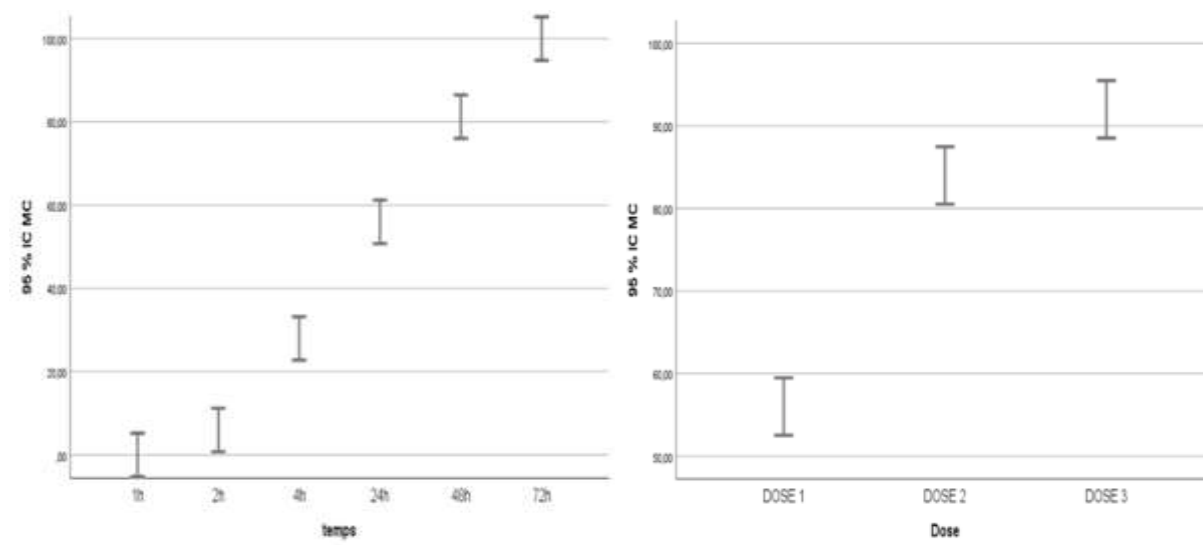


Figure 40. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* traité par *Thymus vulgaris L.* par inhalation en fonction du temps et des doses.

6. Analyses de la variance (GLM) pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de *Pélargonium sp*

6.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de *Pélargonium sp.* par contact sur *Tribolium Castaneum*

Tableau 18. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par contact (*Pélargonium sp.*)

Analysis of Variance						
Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Constante	temps	220,500	1	220,500	71,400	,000
	dose	66490,889	1	66490,889	97,839	,000

L'analyse de variance du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* révèle une différence très hautement significative pour les deux facteurs (Temps, Doses) dont $P=0$ donc $P<0.05$ (**Tableau 18**). La figure ci-dessus indique que le facteur Doses a montré une plus grande toxicité de la plus forte dose D3(57,55%) par rapport à la moyenne et à la faible dose D2(64,44%) et D1(48,88%). Ainsi, le facteur Périodes d'exposition (temps après traitement) révèle l'existence d'un effet toxique.

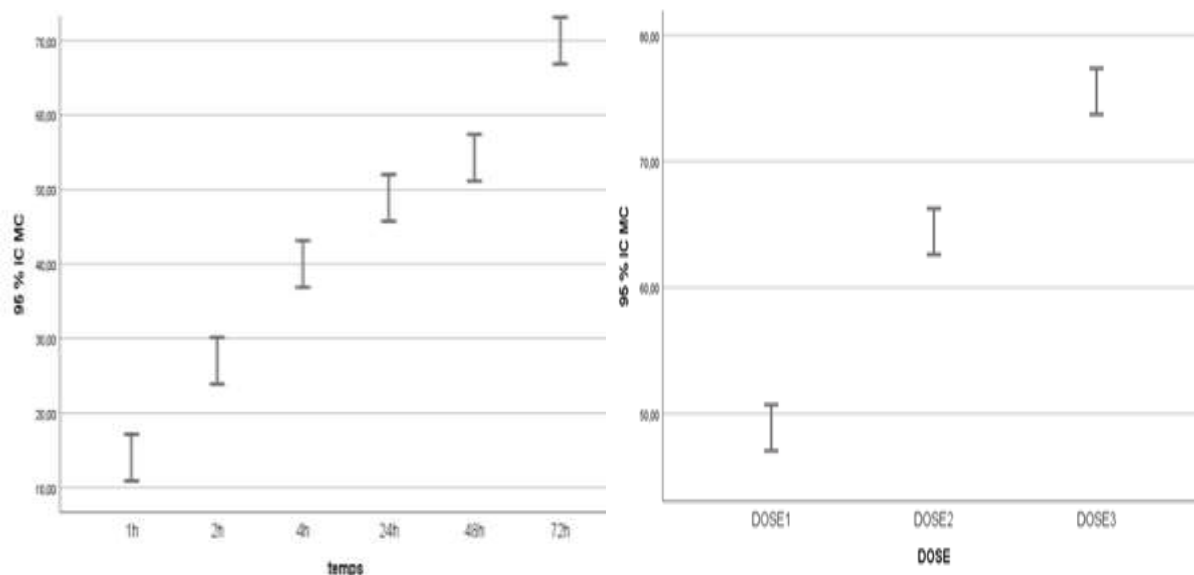


Figure 41. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* traité par *Pélargonium sp.* par contact en fonction du temps et des doses.

6.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de *Pélargonium sp.* par inhalation sur *Tribolium Castaneum*

Tableau 19. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par inhalation (*Pélargonium sp.*)

Analysis of Variance						
Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Constante	temps	220,500	1	220,500	71,400	,000
	dose	56450,240	1	56450,240	31,967	,000

Les résultats du modèle G.L.M représentées dans le **Tableau 19** montre que le traitement par inhalation génère un effet très hautement significatif sur la variabilité des taux de mortalité du *Tribolium castaneum* $P=0 < 0,05$. Cela signifie la présence de

l'effet insecticide de la préparation par inhalation. Les graphiques ci-dessus désignent qu'il y a une toxicité croissante dans le temps avec une plus grande toxicité de la plus forte dose D3 (95%) par rapport à la moyenne et à la faible dose D2 (87%) et D1 (58%).

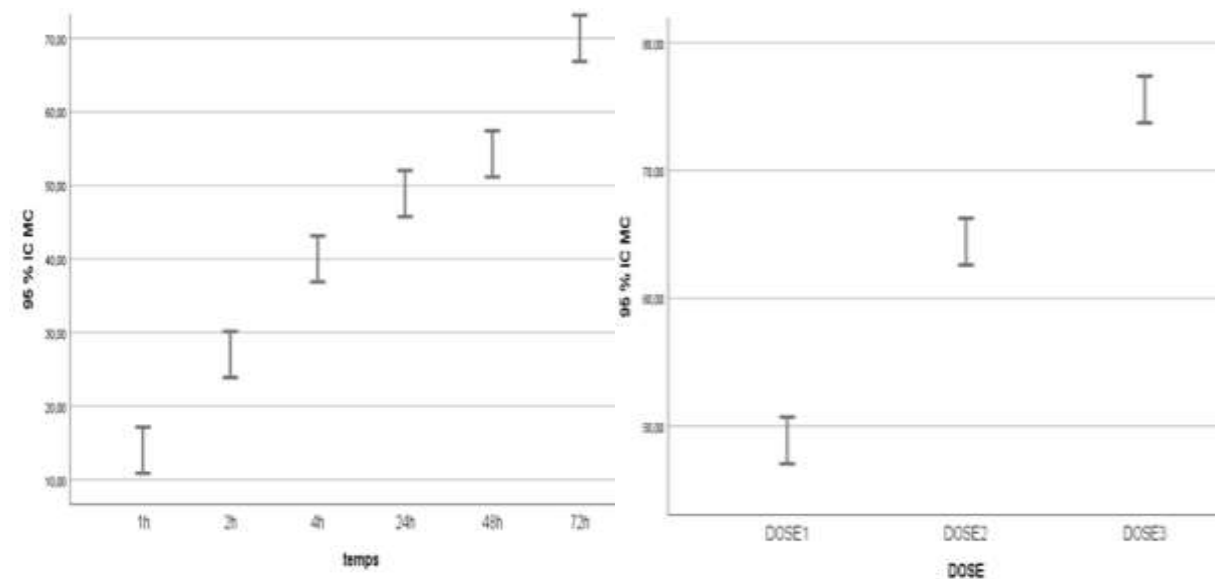


Figure 42. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* traité par *Pélargonium sp.* par inhalation en fonction du temps et des doses.

7. Analyses de la variance (GLM) pour le test d'efficacité temporelle de la synergie

7.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de la synergie par contact sur *Tribolium Castaneum*

Tableau 20. Analyse de variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par contact (synergie)

Analysis of Variance						
Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Constante	temps	220,500	1	220,500	71,400	,000
	dose	95730,835	1	95730,835	187,179	,000

A partir du **Tableau 20**, on constate que l'analyse de la variance du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* sous l'effet des doses appliquée de la synergie des deux huiles essentielles par mode de contact dans le temps révèle une différence très hautement significative pour les deux facteurs (Temps, Dose) avec une probabilité $P=$

$P < 5\%$. Les résultats graphiques de la **Figure 43** affichent que le facteur périodes d'exposition provoque un effet toxique qui se traduit par l'augmentation du taux de mortalités du *Tribolium Castaneum*. De même, le facteur doses a montré un effet très toxique allant respectivement de la forte dose D3 (98,88%) suivie de la moyenne dose D2 (87,77%) et enfin de la faible dose D1 (73,33%).

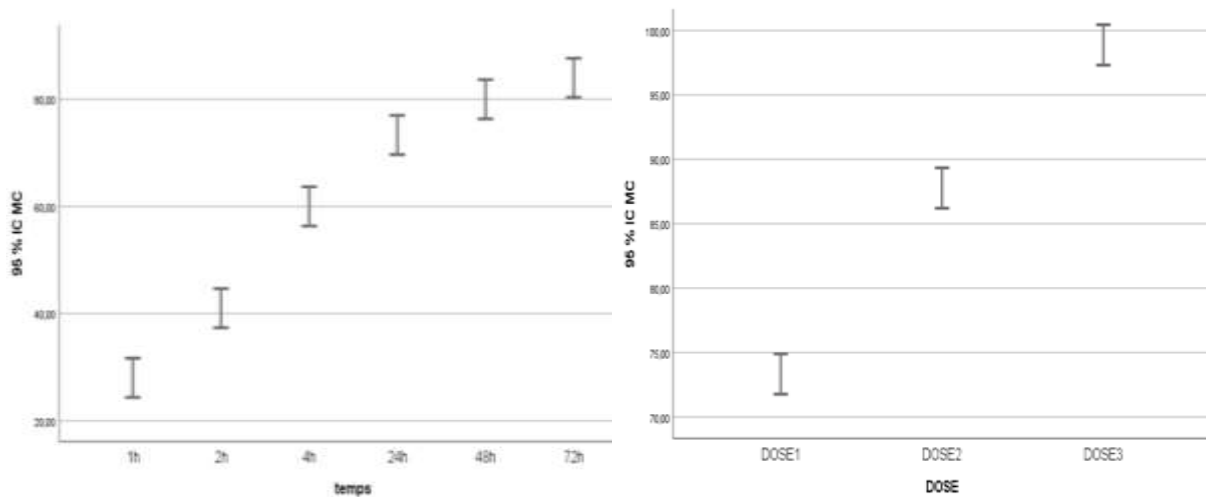


Figure 43. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* traité par synergie par contact en fonction du temps et des doses.

7.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité temporelle de l'huile essentielle de la synergie par inhalation sur *Tribolium Castaneum*

Tableau 21. Analyse de la variance (GLM) des taux de mortalité par rapport au temps et aux doses appliquées par inhalation (synergie)

Analysis of Variance

Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Constante	temps	220,500	1	220,500	71,400	,000
	dose	65763,556	1	65763,556	37,464	,000

Le modèle général linéaire (G.L.M.) utilisé pour estimer la toxicité du bioproduit à base de la synergie des deux huiles essentielles (Thym, Géranium) sur les adultes *Tribolium Castaneum* a montré d'après les résultats de l'analyse que les deux facteurs temps et doses présentent une différence très hautement significative $P = 0 < 5\%$ (**Tableau 21**). La présentation graphique de la fluctuation temporelle de la mortalité

des adultes *Tribolium Castaneum* désigne que les fortes mortalités sont enregistrées par la forte dose (97%). A la moyenne dose D2 et la faible dose D1 la toxicité maximale enregistrée est respectivement de 91% et 84% (**Figure 44**).

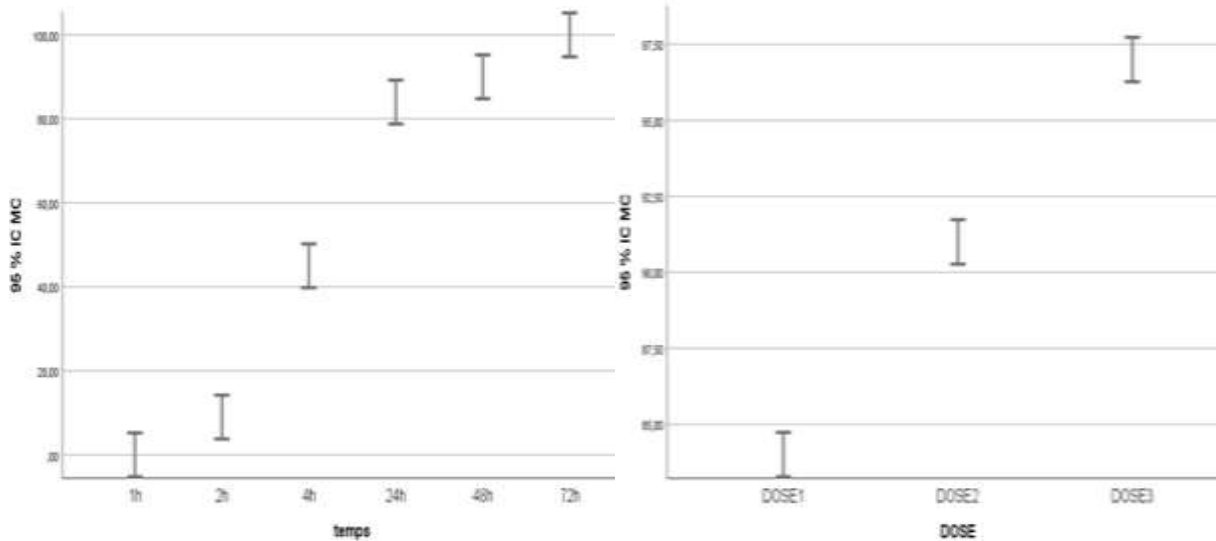


Figure 44. Analyse de variance (GLM) du taux de mortalité du *Tribolium Castaneum* traité par synergie par inhalation, en fonction du temps et des doses.

8. Estimation de la DL50

8.1. La DL50 des différents modes d'exposition de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.*

Les valeurs doses létales DL50 consignées dans le **Tableau 22** ont été déterminées à partir de l'équation de la droite de régression [mortalité en Probit = (log(dose))] présentée dans les figures (**Figure 45 et Figure 46**). L'huile essentielle formulée de *Thymus vulgaris L.* appliquée par inhalation a donné une DL50 = 0.69ml plus basse que la DL50 de mode contact DL50 = 1.49ml. Cependant, l'ordre de toxicité par rapport au mode d'exposition est le suivant : inhalation > contact.

Tableau 22. Toxicité (DL50) de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. sur les adultes du *Tribolium castaneum* selon deux modes d'exposition

24 heures après traitement							
Mode contact				Mode inhalation			
Dose	Log	Probit	DL50	Dose	Log	Probit	DL50
1 ml/9 ml	0	4.56	1.49	1ml/9 ml	0	5.15	0.69
2 ml/8 ml	0.30	5.05		2 ml/8 ml	0.30	5.99	
3 ml/7 ml	0.47	5.92		3 ml/7 ml	0.47	6.41	

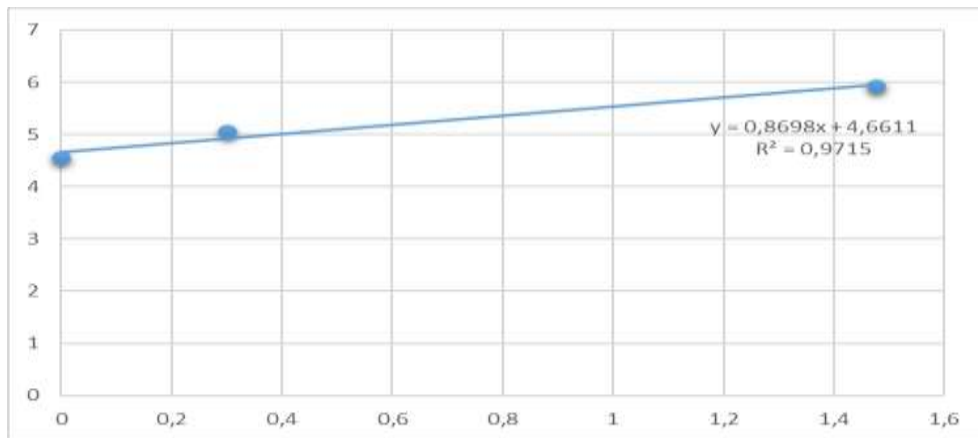


Figure 45. Droite de régression représentant la mortalité par contact transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de *Thymus vulgaris* L.

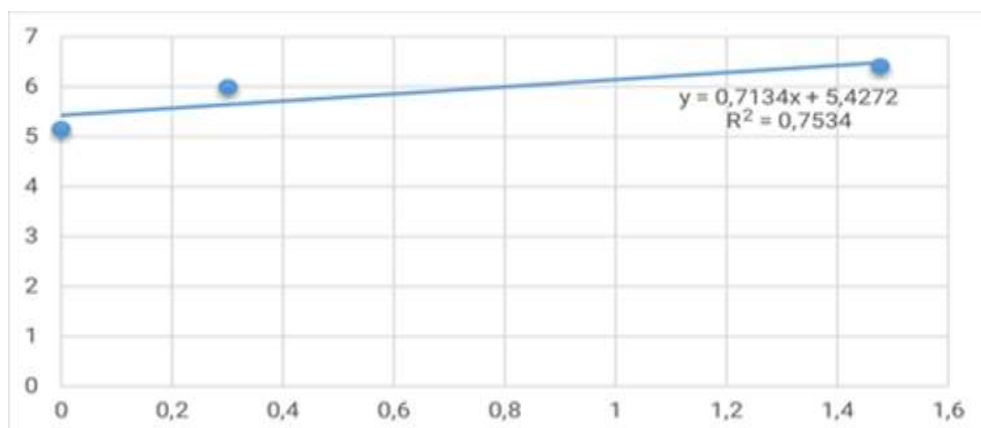


Figure 46. Droite de régression représentant la mortalité par inhalation transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de *Thymus vulgaris* L.

8.2. La DL50 des différents modes d'exposition de l'huile essentielle de *Pélargonium sp.*

Les DL50 ont été déterminées à partir de l'équation issue de la droite de régression élaborée à partir des transformations des pourcentages de mortalités cumulés en probit correspondant aux 24 heures d'observation et les doses en logarithme décimaux pour l'huile essentielle formulée de *Pélargonium sp.* présentée dans les figures (**Figure 47 et Figure 48**).

D'après le **Tableau 23**, les résultats l'huile essentielle de *Pélargonium sp.* a montré une activité insecticide élevée qui correspond à 0.63 ml par inhalation et 0.67 ml par contact. L'ordre de toxicité par rapport au mode d'exposition est le suivant : Inhalation > contact.

Tableau 23. Toxicité (DL50) de l'huile essentielle de *Pélargonium sp.* sur les adultes du *Tribolium castaneum* selon deux modes d'exposition

24 heures après traitement							
Mode contact				Mode inhalation			
Dose	Log	Probit	DL50	Dose	Log	Probit	DL50
1 ml/9 ml	0	4.95	0.67	1 ml/9 ml	0	5.20	0.63
2 ml/8 ml	0.30	5.36		2 ml/8 ml	0.30	6.13	
3 ml/7 ml	0.47	5.67		3 ml/7 ml	0.47	6.64	

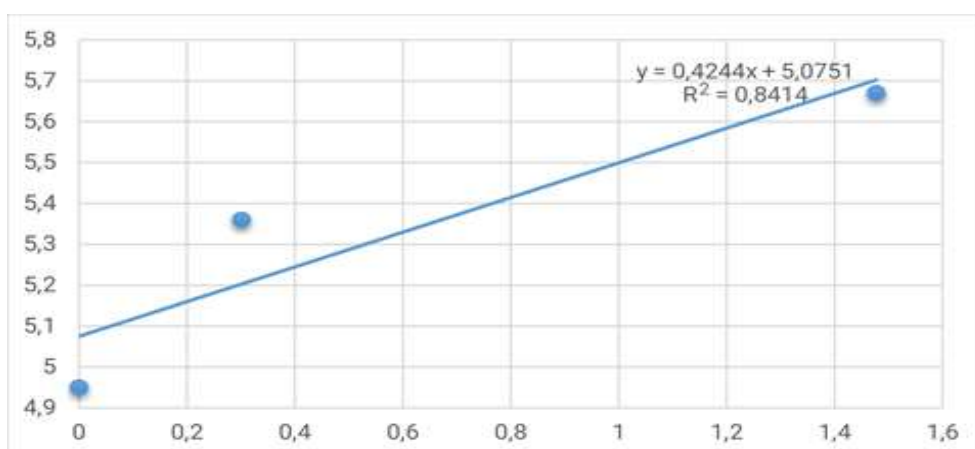


Figure 47. Droite de régression représentant la mortalité par contact transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de *Pélargonium sp.*

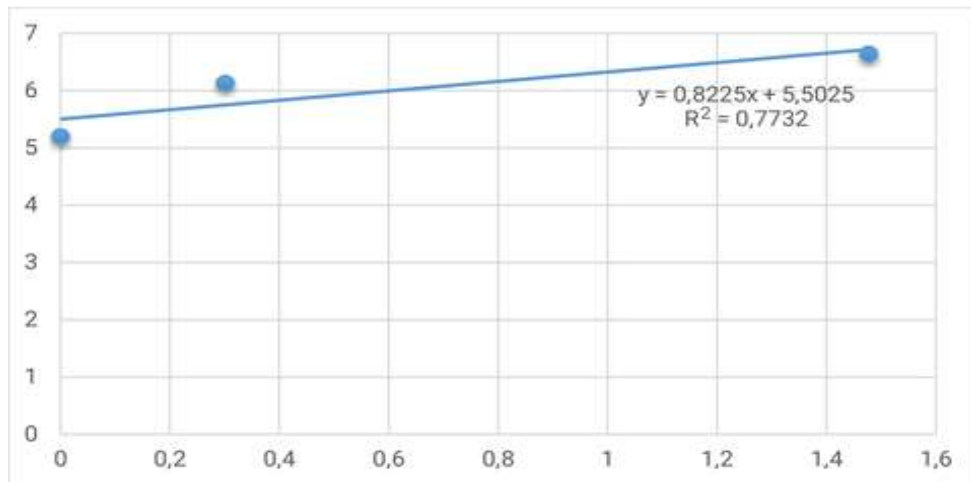


Figure 48. Droite de régression représentant la mortalité par inhalation transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de l'huile essentielle formulée de *Pélagonium sp.*

8.3. La DL50 des différents modes d'exposition de l'huile essentielle de la synergie

Les résultats des calculs des DL50 de de la synergie de deux huiles essentielles *Thymus vulgaris L.* et *Pélagonium sp.* sur les adultes du *Tribolium castaneum* sont regroupés dans le **Tableau 24** et illustrés par les figures (**Figure 49** et **Figure 50**).

Selon ces résultats, la synergie a montré une activité insecticide élevée d'une valeur de 0.12 ml par inhalation et 0.21 ml par contact. L'ordre de toxicité par rapport au mode d'exposition est le suivant : Inhalation > contact

Tableau 24. Toxicité (DL50) de la synergie de deux huiles essentielles *Thymus vulgaris L.* et *Pélagonium sp.* sur les adultes du *Tribolium castaneum* selon deux modes d'exposition

24 heures après traitement							
Mode contact				Mode inhalation			
Dose	Log	Probit	DL50	Dose	Log	Probit	DL50
1 ml/9 ml	0	5.61	0.21	1 ml/9 ml	0	5.99	0.12
2 ml/8 ml	0.30	6.13		2 ml/8 ml	0.30	6.34	
3 ml/7 ml	0.47	7.05		3 ml/7 ml	0.47	6.88	

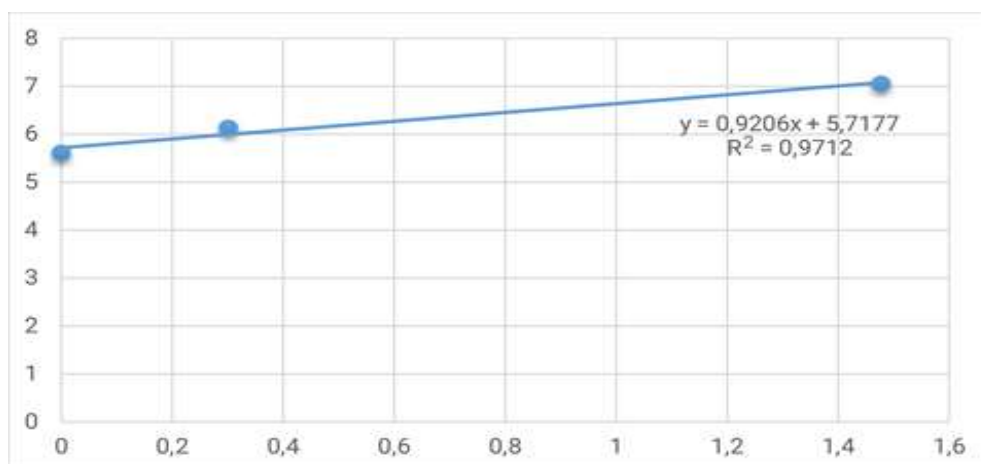


Figure 49. Droite de régression représentant la mortalité par contact transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de la synergie de deux huiles essentielles *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.*

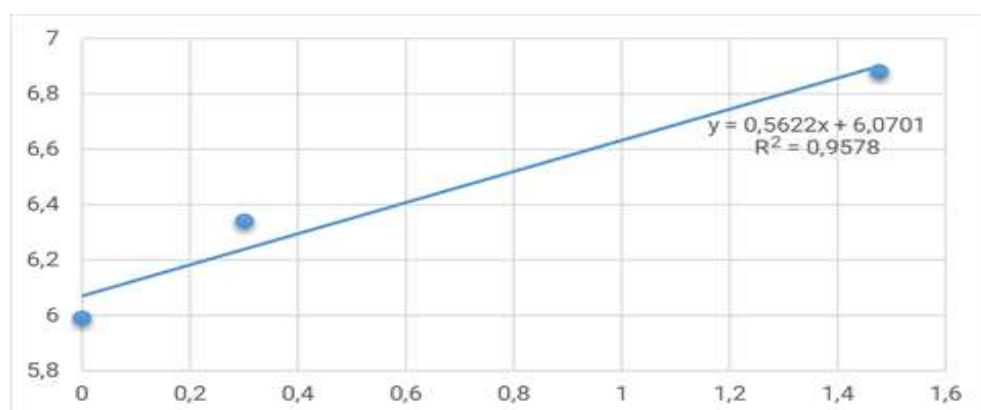


Figure 50. Droite de régression représentant la mortalité par inhalation transformée en probit en fonction du logarithme décimal de la concentration de la synergie de deux huiles essentielles *Thymus vulgaris L.* et *Pélargonium sp.*

Chapitre 5 : Discussion

Les biopesticides d'origine végétale sont fréquemment biodégradables et moins toxiques que les insecticides de synthèse (**Ndomo et al., 2009**). À cet égard, le règne végétal offre beaucoup de possibilités en fournissant des substances d'origine naturelle et plus particulièrement les huiles essentielles et les extraits végétaux qui représentent une solution alternative à la lutte chimique (**Kéita et al., 2000**).

Dans cette optique, nous avons eu recours à des tests par des bioformulations à base d'huiles essentielles de plantes aromatiques de deux familles Lamiaceae et Géraniaceae afin de mettre au point des méthodes de lutte intégrée, efficaces et aisément utilisables par les agriculteurs.

Les résultats de notre étude relatifs aux traitements par le biais de formulations à base d'huiles essentielles de thym, de géranium et de leur synergie semblent être intéressants et confirment leur pouvoir insecticide vis-à-vis des bio-agresseurs cibles en présentant un effet répressif sur l'abondance des populations de *Tribolium castaneum*.

. Cette activité insecticide est confirmée par de nombreuses études qui ont montré que les huiles essentielles ont un large spectre d'action sur les insectes des denrées stockées (**Hamoudi, 2000 ; Keita et al., 2001**). Cependant, **Shaaya et al. in Chiasson et Beloin (2007)** ont testé des huiles essentielles de plusieurs plantes comme le Basilic, le Pélargonium, la Marjolaine, l'Anis, le Thym, la Menthe ainsi que le Romarin et la Sauge et ont rapporté que la majorité de ces plantes ont révélé jusqu'à une mortalité de 100% sur *Rhyzoperta dominica*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* et *Sitophilus oryzae*. D'autres travaux similaires ont été réalisés sur plusieurs plantes de la famille des Lamiaceae sur *T. castaneum* où les adultes sont très sensibles (**Rajendran et al., 2007**). De même, **Al-Jabr (2006)** a mis en évidence l'effet répulsif du *Rosmarinus officinalis* et de *Mentha viridis* sur *Tribolium castaneum* et *Oryzaephilus surinamensis*.

Les applications réalisées ont enregistré une efficacité importante signalée à travers le taux de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* à partir des premières 24 heures. Cette toxicité s'est étendue pendant une durée de 3 jours. En effet, une gradation de toxicité croissante des molécules biologiques est signalée dans le temps.

Elle va respectivement de celle de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*, puis de l'huile essentielle de Pélargonium et enfin de celle de leur synergie (thym+géranium) qui a enregistré la plus forte toxicité. Ce pouvoir toxique serait probablement dû à la différence des molécules actives qui composent ces huiles essentielles extraites de plantes appartenant à deux familles différentes. En effet, **Boeke et al. (2004)** rapportent que plusieurs auteurs ont montré par leurs théories que les plantes sont utilisées contre les ravageurs pour leurs effets répulsifs, de contact ou fumigant et que les molécules actives peuvent varier d'une famille à une autre et à l'intérieur d'une même famille.

Ainsi, les plantes synthétisent plusieurs substances du métabolisme secondaire. Ces dernières peuvent avoir différents effets chez les insectes : répulsif, attractif, perturbateur du développement, inhibiteur de la reproduction, etc... Leur toxicité peut être directe ou indirecte sur les organes cibles (organes sensoriels, système nerveux, système endocrines, appareil digestif, appareil reproductif, etc.) **(Benayad, 2013)**.

Les huiles essentielles des plantes ont généralement une particularité commune : elles sont riches en composés phénoliques monoterpène comme les phénols ; le thymol ; le carvacrol ; le citronellol et le géraniol **(Sivropoulou et al., 1995 ; Trombetta et sciarretta, 2002 ; Satrani et al., 2007)**. Certaines huiles essentielles ont une action neurotoxique **(Enan., 2005)** ou inhibitrice du système enzymatique des insectes **(Ketoh et al., 2006)**. Selon **Lee et al. (2003)**, les monoterpènes peuvent pénétrer rapidement dans l'insecte et interférer avec ses fonctions physiologiques. Cette action rapide des huiles essentielles contre les insectes est due à leurs action neurotoxique **(Coats et al., 1991 ; Abdelgaleil et al., 2009)** par inhibition de l'acétylcholinestérase, l'octopamine ou le cytochrome P450 des mono-oxygénases **(El-Idrissi et al., 2014)**

D'après **Lahlou (2004)**, les huiles essentielles ont prouvé leur pouvoir insecticide, antiparasitaire et antimicrobien. Cependant elles agissent selon le rythme de séparation et libération des molécules. Dans cette même optique, **Vinas et al., (2006)** ont prouvé que plus les teneurs en phénols sont élevées plus les huiles essentielles sont efficaces, et ils ont un large spectre d'activité sur les moisissures, les champignons et les insectes.

Les études de combinaison de substances médicinales en général, et insecticides en particulier, sont de plus en plus souvent décrites dans la littérature (**Rosato et al., 2007 ; Coutinho et al., 2011 ; Gauthami et al., 2012 ; Thiago et al., 2013**). Cette stratégie est en effet d'un grand intérêt en vue de potentielles applications cliniques permettant de réduire les éventuels effets secondaires des traitements de synthèse actuels en diminuant la dose du composé utilisé (**Rosato et al., 2007**).

La synergie entre le thymol et le carvacrol a été constatée dans plusieurs études (**Deferera et al., 2000**). Selon l'étude établie par **El Ajjouri et al., (2008)** sur deux espèces de Thym *T.capitatus* et *T.bleicherianus*, il s'est avéré que leur pouvoir antifongique peut être attribuée seulement au Thymol et au Carvacrol, comme il peut être le résultat de la synergie entre les différents constituants de ces huiles.

D'après **Dorman et Deans (2000)**, le principal facteur modifiant l'activité insecticide des huiles essentielles est le type et la structure moléculaire des composants actifs présents. Cependant, ce constat ne doit pas amener à penser que la toxicité d'une plante est obligatoirement liée à la nature du composé dominant. La présence de composés synergiques peut renforcer l'activité du principe actif (**Nuto,1995**)

Les résultats des tests correspondants à l'estimation de l'effet dose ont montré que la variation des taux de mortalité du *Tribolium castaneum* est relativement dépendante non seulement de la dose à savoir D1, D2 et D3 mais aussi de la durée d'exposition des individus aux traitements. En effet, plus la dose et le temps d'exposition augmentent, plus l'efficacité du bioproduit est grande. Selon **KIM et al. (2003)** les effets toxiques des huiles essentielles dépendent de l'espèce d'insecte, de la composition chimique de la plante et du temps d'exposition. L'étude réalisé par **Baba Aissa et al. (2012)** a montré un effet insecticide de deux huiles essentielles formulées à base de Thym et d'Origan sur différents Aphides. Les résultats ont permis de mettre en évidence un effet choc et une toxicité temporelle de toutes les molécules testées et les doses complètes se révèlent nettement plus efficaces que les demi-doses.

Plusieurs études ont suggéré que l'efficacité insecticide de ces substances naturelles appliquées dans les tests de toxicité par inhalation contre les ravageurs de denrées stockées serait vraisemblablement due à leur richesse en composés monoterpéniques (**Regnault-roger et Hamraoui, 1995 ; Tapondjou et al., 2002**). De même, l'étude réalisée par **Fekroune et Gacem (2019)** a montré un effet insecticide

important par inhalation de l'huile essentielle formulée d'*Origanum vulgare* à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum*. D'autres études réalisées par **Shaaya et al. (1993)** sur la toxicité par fumigation de 26 huiles essentielles a montré que seul le laurier, la sauge, et la lavande manifestaient 100 % de mortalité sur *Rhysopertha dominica*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* et *sitophilus oryzea* pour une concentration de 15 ml/l. La toxicité fumigène des huiles essentielles d'*Artemisia Argyi* contre *oryzaephilus surinamensis* est étudié par **(Lu et al., 2011)**. Les résultats montrent que ces huiles essentielles présentent un grand effet insecticide et que la mortalité enregistrée chez les individus de *oryzaephilus surinamensis* augmente avec l'augmentation des concentrations. Le pourcentage de mortalité dépasse 97% quand la concentration monte à 160 µl/l d'air. D'après **Shaaya et al. (1991)**, l'huile extraite de *Lavandula angustifolia* à la dose de 5µl/L d'air provoque une mortalité de 100 %chez les adultes de *Rhysopertha dominica* après une durée de 24 h d'exposition à la vapeur d'huile. De même, **Raja et al. (2001)**, affirment que les huiles essentielles de *Mentha arvensis*, *Mentha piperita* et *Mentha spicata* possèdent une action biocide inhalatoire significative vis avis de *Callosobruchus maculatus*.

L'action toxique par contact de certaines plantes sous forme d'huile essentielle à l'égard des insectes est exprimée par une littérature abondante. Cependant, les travaux réalisés par **khalfi-Habes (2007)**, qui a montré que 9 huiles essentielles (Genévrier, l'armoise, faux poivrier, laurier, l'eucalyptus, thym, romarin, l'origan, et la menthe) manifestent une activité insecticide par contact relativement variable selon les plantes vis-à-vis de *Rhysopertha dominica* F. à la plus forte dose des huiles essentielles provoquant une mortalité élevée de 70%, 100%, 52%, 100%, 100 %, 93.1% 93.1% 100 %, et 100% respectivement. En **2001**, **Kechout** avait testé l'efficacité de l'huile essentielle du Thym par contact sur *Sitophilus orysae* L., traduite par un taux de mortalité évalué à 85%. **Owabali et al. (2009)** ont réalisé des tests sur l'efficacité par contact de trois huiles essentielles : Citronnelle (*Symbopogon citratus*), Ecrou mégohm (*Monodora myristica*), Gingembre (*Zingiber officinales*) sur *Sitophilus zeamais*, ces auteurs confirment nos résultats, en effet la Citronnelle moins toxique sur *S.zeamais* avec la DL50 de 0,56 ul/cm² tandis que *Monodora myrystica* et *Zingiber officinales* ont des toxicités plus faibles que *Symbopogon citratus* avec les DL50 de 0,60 et 0,70ul/cm² respectivement.

D'autres résultats ont été trouvés par **kellouche et al. (2010)** stipulant qu'un nombre important de travaux ont démontré l'activité insecticide par inhalation et contact des huiles essentielles sur de nombreux prédateurs. **Yahyaoui (2005)** a réalisé des tests sur l'efficacité par inhalation et contact des huiles essentielles de la menthe verte sur *Rhyzopertha dominica* et *Tribolium confusum* ; à la dose de 3,12% l'huile essentielle de la menthe verte agit pratiquement de la même manière sur *Rhyzopertha dominica* et sur *Tribolium castaneum* avec 100% de mortalité. **Elguedoui (2003)** a testé l'efficacité des huiles essentielles de romarin et de thym sur *Rhyzopertha dominica* ; par contact et par inhalation, il a prouvé lui aussi l'effet insecticide de ces deux huiles. En effet ; le romarin s'est montré efficace par contact à la dose de 1,384mg / cm² en provoquant 89,72% de mortalité alors que le thym à la même dose donna un taux de 100%.

Comparativement à ces études, on peut dire que nos résultats obtenus par rapport au meilleur mode d'application des bioformulations testées sont confirmés en montrant un effet très toxique par inhalation que par mode contact. Cependant, l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* donne une mortalité de 56% à la D1, 84% à la D2 pendant les premières 24 heures et des DL50 =0.69ml avec un taux maximum de mortalité égal à 100% pour la D3 à 72 heures. L'huile essentielle de Pélargonium donne une mortalité de 58% à la D1, 87% à la D2 lors des premières 24 heures et des DL50 =0.63ml avec un taux maximum de mortalité de 100% pour la D3 à 72 heures. La synergie de ces huiles donne une mortalité de 84% à la D1, 91% à la D2 durant les premières 24 heures et des DL50 =0.12ml avec un taux maximum de mortalité de 100% aux trois doses à 72 heures après traitement.

Keto et al. (2004) affirment que les produits toxiques sont ceux qui provoquent une forte mortalité dans la population à faible concentration. En effet **khalfi-Habes et al. (2010)**, montrent que les huiles essentielles de trois plantes aromatiques (l'origan, romarin, thym) de la famille des Lamiacées provoquent une toxicité élevée par contact et inhalation sur *Rhyzopertha dominica* F. avec de faibles DL50 (DL50=0.232 mg /cm² pour l'Origan, suivi du romarin avec une DL50= 0.428 mg /cm², et du thym avec une DL50= 0.522 mg /cm²). **Lee et al., (2002)** notent que l'huile essentielle du romarin est sélectionnée pour sa toxicité potentielle et il est noté comme étant le fumigant le plus puissant contre *Tribolium castaneum* avec une DL50 de 7,8 µl/l air et une DL90 de 13,5µl/l air.

Tous ces tests effectués peuvent confirmer que les huiles essentielles issues des plantes aromatiques et médicinales contiennent des molécules actives intéressantes et peuvent être très efficaces dans la lutte contre les ravageurs de denrées alimentaires stockées.

Conclusion et perspectives

Au terme de ce travail consacré à l'estimation du pouvoir insecticide de trois bioformulations à base d'huiles essentielles de *Thymus vulgaris* L. ; de *Pélargonium* sp. et de la synergie de ces deux huiles, sur les adultes d'un ravageur redoutable des denrées stockées *Tribolium castaneum* nous concluons que les plantes étudiées sont prometteuses comme source de bioinsecticides et se prêtent bien à des investigations dans le domaine de la lutte biologique.

Cependant, l'étude a montré que la bioformulation à base de la synergie des deux huiles essentielles de *Thymus vulgaris* L. et *Pélargonium* sp reste la plus toxique et par conséquent la plus efficace, suivi consécutivement par la bioformulation à base d'huile essentielle de *Pélargonium* sp. et enfin de celle à base de *Thymus vulgaris* L. pour lutter contre les individus de *Tribolium castaneum*.

De plus, les traitements appliqués se sont avérés plus toxiques par inhalation que par contact, ce qui nous permet d'avancer que le mode inhalation est le plus approprié pour réprimer l'abondance de ces ravageurs.

L'effet dose a également révélé que la variation des concentrations des bioproduits appliqués influence très significativement les mortalités de *Tribolium castaneum* en enregistrant des taux croissants dans le temps. En effet, plus la dose augmente, plus l'efficacité est grande.

Les DL50 pour les deux modes testés par inhalation et contact sont respectivement de 0.69 ml et 1.49 ml pour *Thymus vulgaris* L. ; de 0.63 ml et 0.67 ml pour *Pélargonium* sp. et de 0.12 ml et 0.21 ml pour la synergie de ces huiles.

Tous ces tests effectués peuvent confirmer que le traitement des denrées stockées par les huiles essentielles issues de plantes aromatiques et médicinales peut être très efficace pour lutter contre les ravageurs de ces denrées.

Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour la formulation, la fabrication et la commercialisation de produits phytosanitaires propres, sans effets indésirables permettant de préserver l'environnement ainsi que la santé humaine et animale. Ces travaux pourraient donc être poursuivis en vue de préciser la nature du (ou des) composé (s) responsable (s) de cette activité par un fractionnement mené en parallèle avec les tests biologiques et étudier les autres activités des huiles essentielles à savoir antifongique, antivirale, antiparasitaire, antioxydante...etc.

Références bibliographies

A

- **Abdelli W.**, 2017. *Caractérisation chimique et étude de quelques activités biologiques des huiles essentielles de Juniperus phoenicea et de Thymus vulgaris*. Université ABDELHAMID IBN BADIS – MOSTAGANEM. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. pp :5-38.
- **Aburjai T. et Natsheh F.M.**, 2003, *Plants used in cosmetics*. *Pytother. Res*, 17, 987-1000p
- **Ahmed M. S.**, 1992. *Composition, nutrition and favor of peanuts*. H. G. batte anal C. T. young eds peanuts science and technologie T. X. pp : 655 – 688.
- **Akdemir Z.S., I.I. Tatli, I. Saracoglu, U.B. Ismailoglu, I. Calis & S.E. Inci**, 2001.- *Polyphenolic compounds from Geranium pratense and their free radical scavenging activities*. *Phytochemistry*, 56, 189-193.
- **Al-Jabr A.M.**, 2006- Toxicity repellency of seven plants essential oils to *Oryzeaphilus surinamensis* (Coleoptera : Silvanidae) And *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Jour. Scien. King. Faisal Univ.*, Vol. 1 (7): 49-60.
- **Amari N.**, 2014. *Etude du choix de ponte du bruche du niébé Callosobruchus maculatus en présence de différentes variétés d'haricot et de pois chiche, et influence de quelques huiles essentielles (Cèdre, Ciste, Eucalyptus) sur activité biologique de l'insecte*. Mémoire de magistère pp 23-25.
- **Angelini, D. R., Kikuchl, M., Jockusch, E.L.**, (2008). *Genetic patterning in the adult capitata antenna of the beetle Tribolium castaneum*. *Developmental Biology* 327 (2009) : 240-251 p.
- **Anton R. et Lobstein A.**, 2005, *Plantes aromatiques. Epices, aromates, condiments et huiles essentielles*. Tec & Doc, Paris0
- **Aouina A. et Khelifi N.**, 2018. *Evaluation de l'effet répulsif de Cuminum cyminum L. et Foeniculum vulgare Mill. Sur l'insecte des céréales stockées Tribolium castaneum (Herbst)*. Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA. Du diplôme de Master Académique En Biodiversité et Physiologie Végétale. pp : 19-22.
- **Aprotosoiaie A.C., Spac A.D., Hancianu M., Mirona, Tanasescu V.F., Dorneanu V. et Stanescu U.**, 2010 - *The chemical profile of essential oils obtained from fennel fruits (Foeniculum vulgare Mill.)*. *FARMACIA*, Vol. 58 (1) : 46-54

- **Arthure F.H.**, 1996 - *Grain protestants : current status and prospects for the future prod.* Stored Res., Vol.32 : 203-293p.
- **Auger J., Cadoux F. et Thibout E.**, 1999 – Allium spp thiosulfinates as substitute fumigants for methylbromide., Pestic.Sci., pp 200-202
- **Aziez M., Hammadouche O., Mallem S. et Tacherifet S.**, 2003 - *Le guide pratique pour l'agréeur céréales et légumineuses alimentaires.* C. N. M. Z., Algérie, 55 p.

B

- **Baba Aissa K., Belhani M., Belkhoumali S., Merah O., Zebib B et Djazouli Z.**,2012. Etude comparée de l'efficacité des huiles essentielles formulées à base de thym et d'origan sur différents Aphides.Revue Agrobiologia N°3, 81-83p.
- **Balachowsky A.**, 1962- *Les insectes nuisibles aux plantes cultivées leur mœurs, leur destruction.* Ed. Paris. PP. 1245-1268.
- **Barry N.**, 2001, *Art d'extraire les huiles essentielles : De parfum à faire soi-même.* Tec & Doc. Lavoisier, Paris, 125-128p
- **Baser. K.H.C. et Buchbauer G.**, 2010 - Handbook of essential oils : Silence, Technology, and Applications, Ed. Taylor and francis Group, LLC. United States of America, PP. 994-995.
- **Becon K. ET Fleurat Lessard F.**,1989. *Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à un ravageur secondaire Tribolium castaneum (Herbet) Coleoptera : tenebrionidae), lors de la conservation des céréales, en région chaudes.* AUPELF réf, Ed. John Libby Eurotaxe, Paris :97-104 p.
- **Benayad N.**, 2008 - *Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées.* Université Mohammed V – Agdal. Rabat, 63 p.
- **Benayad N.**, 2013 - *Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines.* Extraction de métabolites secondaires des champignons endophytiques isolés de plantes Marocaines et activité anticancéreuse. Thèse de Doctorat en Chimie. Spécialité : Chimie organique. Université Mohamed V. Agdal. Faculté des Sciences. Rabat. 186 p.
- **Benazzeddine S.**, (2010). Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de Sitophilus oryzae (Coleoptera : Curculionidae) et Tribolium confusum (Coleoptera : Tenebrionidae), Mémoire Online, Ecole nationale supérieure agronomique El Harrach, Algérie. pp : 15-17

- **Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., Cianfaglione, K., Ciaschetti, G., Conti, F., Nicoletti, M., Senthil-Nathan, S., Mehlhorn, H., Maggi, F., 2017.** *Acute larvicidal toxicity of five essential oils (Pinus nigra, Hyssopus officinalis, Satureja montana, Aloysia citrodora and Pelargonium graveolens) against the filariasis vector Culex quinquefasciatus: Synergistic and antagonistic effects.* Parasitol.42p
- **Bensouilah J., Buck P, 2006,** *Aromadermatology: Aromatherapy in the treatment and care of common skin conditions.* Radcliffe Publishing, Abingdon, UK, 249p
- **Berhaut et al., 2003** *stockage et conservation des grains à la ferme (qualitéstockage), stockage à la ferme, (arvalis – institut du végétal) et jean-pierre criaud (grceta de l'éverecucin), ARVALIS - institut du végétal.*32p
- **Bernadet M., 2000,** *Phyto-aromathérapie pratique, plantes médicinales et huiles essentielles.* Dictionnaire thérapeutique de 530 affections courantes. Dangles, Toulouse, France, 384p
- **Berthier A., 1980 -** *Epices-aromates leurs huiles essentielles et oléorésines.* Parfums, cosmétiques, arômes n°34- août/septembre pp. 39-44
- **Boeke S. J., Boersma M. G., Alink G. M., Van Loon J.A.A., Van Huis A., Dicke M. and Rietjens I.M.C.M. (2004).** Safety evaluation of neem (Azadirachta indica) derived pesticides. J. Ethnopharm., 94(1) : 25–41
- **Bonnetone, F., 2010.** *Quand Tribolium complète la génétique de la drosophile.* Médecine/Sciences, 26 : 7p.
- **Bouallegue M., 2017.** *Plasticité des génomes des pucerons des céréales et de leur plante hôte : recherche in silico et in vitro des éléments transposables des superfamilles tc1- mariner-is630 et Piggy bac, l'université de Tunis el Manar. Thèse de doctorat : sciences biologiques .06-13 p.*
- **Bouhdid S., Idaomar M., Zhiri A., Baudoux D., Skali N.S., Abrini J., 2006,** *Thymus essential oils: chemical composition and in vitro antioxidant and antibacterial activities.* In : Congrès International de Biochimie. Agadir, Morocco, May 9-12, 2006, pp. 1-4
- **Boukhris, M., Simmonds, M.S.J., Sayadi, S., Bouaziz, M., 2013.** *Chemical Composition and Biological Activities of Polar Extracts and Essential Oil of Rose-scented.*8p.
- **Bouzar F.et Oucherif N., 2016.** *Effet insecticide d'huile essentielle d'une plante spontanée, « Lantana camara », sur l'insecte ravageur de blé en post-récolte « Tribolium castaneum » (Herbst).* Université de Khemis. Département de Sciences

Agronomiques. Sciences Agronomique. Master en gestion qualitative des productions agricoles.6-14p

- **Bruneton J.**, 1993 - *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*. Paris,Lavoisier, 623p.
- **Bruneton J.**, 1999 - *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*. 3ème édition, Ed. Tec et Doc, Paris.522p.
- **Buchbauer G., Jirovetz L**, 1994, *Aromatherapy- Use of fragrances and essential oils as medicaments*. Flavour and Fragrance Journal, 9, 217-222p
- **Budavari S., O'Neil M.J., Smith A., Heckelman P.E. et Kinneary J.F.**, 1996 - Index Twelfth edition, Whitehouse Station : Merk and Co, INC, PP. 23-50.

C

- **Camara A.**, 2009. *Lutte contre Sitophilus orizea L. (Coléoptères curculionidae) et Tribolium castaneum Herbst (Coléoptère Ténébrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'élevage traditionnelle pratiquée en Basse Guinée et utilisation des huiles essentielles végétales*. Thèse d'obtention du titre de Docteur en Science de l'environnement, Université du Québec à Montréal. 173 p.
- **Camara B., Dick E., Sako A., Kone D., Kanko C., Boye M., Ake S. et Anno A.**,2010 – Lutte biologique contre *Deightoniella torulosa* (Syd.) Ellis, par l'application des huiles essentielles d'*Eucalyptus platyphylla* F. Muell. Et de *Melaleuca quinquenervia* L., vol 8, issue 4, pp 240-244
- **Campbell A., & Sinha R.N.**, 1976. *Damage of wheat by feeding of some stored product beetles*. Journal of Economic Entomology.,69(1) :11-13 p.
- **Capo M. Courilleau, V. Valette, C.**, 1990 - *Chimie des couleurs et des odeurs, cultures et techniques*, 204 p.
- **Carette A.S**, 2000, *La lavande et son huile essentielle*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 100p
- **Champ B. R. et Dyte C. E.**, 1976 - *Rapport de l'enquête mondiale de la FAO sur les insectes des céréales entreposées et leur sensibilité aux insecticides*, FAO, Rome, 374 p.
- **Chang S.T., P.F. Chen & S.C. Chang**, 2001.- *Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from Cinnamomum osmophloem*. J. Ethnopharmacol., 77 (1), 123-127

- **Charabot F.**, 1913. *La Culture du Géranium Rosat*. Journal d'Agriculture Tropicale, Paris, 13 :289p.
- **Charpentier B., Hamon-Lorleac'h F., Harlay A., Huard A., Ridoux L., Chanselle S.**, 2008, *Guide du préparateur en pharmacie*. 3 -ème édition, Elsevier Masson, Paris, 1358p
- **Chauhan, A., Verma, R.S.**, 2010. *Cultivation potential of three rose-scented Geranium (Pelargonium graveolens) cultivars in the Kumaon Region of Western Himalayas*. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology 4, 77–79p
- **Chaumont J.P. & D. Léger**, 1989.- *Propriétés antifongiques de quelques phénols et composés chimiquement très voisins*. Relations structure-activité. Plant Med. Phytother., 23 (2), 124-126.
- **Chazel M., Chazel L**, 2012, *Découverte naturaliste des garrigues*. Quae édition, 208p
- **Chiasson H. et Beloin N.**, 2007- Les huiles essentielles, des biopesticides " nouveau genre ". *Bul.Scie. Entom.* Quebec, Vol. 14 (1) : 3-6.
- **Christine F.**, 2001. *Reducing health risks of urban organic solid waste use*. urban agriculture magazine. Vol 1 (3). March, pp. 33-5.
- **Chun H., Shin D.H., Hong B.S., Cho H.Y., Yang H.C**, 2001, *Purification and biological activity of acidic polysaccharide from leaves of Thymus vulgaris L*. Biol. Pharm. Bull, 24(8), 941-94p
- **Couic-Marinier F. & Lobstein A.**, 2013. *Composition chimique des huiles essentielles*. Actual pharm; 52 (525): 22-25p
- **Cruz J.F., Troude F., Griffon D. et Hébert J.P.**, 1988 - *Conservation des grains en régions chaudes, Techniques rurales en Afrique*. 2ème Ed France, 545p.

D

- **Dapkevicius A., Venskutonis R., Van Beek T.A., Linssen J.P.H**, 1998, *Antioxidant activity of extracts obtained by different isolation procedures from some aromatic herbs grown in Lithuania*. Journal of Science Food and Agriculture, 77(1), 140-146p
- **Dave A., Colin J., Demianyk P.G., Fields D.S., Jayas J.T.M., William E.M., Blaine T., Noel D.G.W.**, 2001. *Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures*. (Éd. Revu.) (Manitoba) Canada. 59 p.
- **Dayan F.E., Cantrell C.L., Duke S.O**, 2009, *Natural products in crop protection*. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 17, 4022-4034p

- **De Kouassi M.**, 2001 - La lutte biologique : une alternative viable à l'utilisation des pesticides, *Journal Vertigo*. Vol 2 n°2, PP. 7-12.
- **Deferera D.J., Ziogas B.N. and Polissiou M.G.**, 2000. GCMS Analyse of essential oil from some Greek aromatic plants and their fungi toxicity on *Penecillium digitatum*. *J. Agric. Food Chem.*, 48(6) : 2576-2581
- **Degryse A.C., Delpla I and Voinier M.A.**, 2008, *Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles*. Atelier santé environnement-IGS-EHESP, 87p
- **Delobel A., Tran M.**, 1993 - *Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes*. ORSTOM/CTA. Faune tropicale 32. Paris. Désertiques méridionales, Tome II, Ed. CNRS, Paris, 424p.
- **Desmares C., Laurent A., Delerme C**, 2008, *Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles*. AFSSAPS. Anatole, France, 18p
- **Dethier M.**, 1996, *Contribution à l'étude des plantes aromatiques du Burundi*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 182p
- **Díaz-Maroto M.C., Díaz-Maroto Hidalqo I.J., Sánchez-Palomo E., Pérez-Coello M.S**, 2005, *Volatile components and keys odorantes of fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) and thyme (*Thymus vulgaris L.*) oil extracts obtained by simultaneous distillation-extraction and supercritical fluid extraction*. *J. Agric. Food. Chem*, 53(13), 5385-5389p.
- **Dimitrijevic SI, Mihajlovski KR, Antonovic DG, Milanovic-Stevanovic MR, Mijin DZ.**, 2007. *A study of the synergistic antilisterial effects of a sub-lethal dose of lactic acid and essential oils from *Thymus vulgaris L.*, *Rosmarinus officinalis L.* and *Origanum vulgare L.** *Food Chem* 104 :774-782p.
- **Diome T.**, 2014. *Biodémographie et diversité génétique des populations de *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae) ravageur des grains de mil (*Pennisetum glaucum Brown*) en stock au Sénégal*. Thèse de Doctorat unique en Génétique des populations, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar. 103p.
- **Diop y. M., marchoini e. Ba. D. Et hasselman c.**, 1997. *Radiation desinfestation of cowpea seeds contaminated by *Callosobruchus maculatus**. *Journal of food processing and preservation*. 21 (1) : 69 – 81p.
- **Djaouti M.**, 2010. *Renforcement des capacités des acteurs de la filière céréales en Algérie dans le cadre d'un partenariat Nord-Sud*. Cas de la wilaya de Sétif. Thèse de Master of Science : CIHEAM-IAM. Montpellier in France
- **Djermoun A.E.K.**, 2009 - *Revue Nature et Technologie* n° 1 : 45- 53.

- **Dongret K., Rananavar H. D. et Dessas R. P.**, 1997. *Influence of gamma radiation on oviposition and egg viability of Callosobruchus maculatus (F.) and grain loss in mung bean storage*. J. Nuclear. Agro. Biol. 26 (3) : 161 – 165p.
- **Dorman H.J.D. & S.G. Deans**, 2000.- *Antimicrobial agent from plants : antibacterial activity of plant volatile oils*. J. Appl. Microbiol., 88 (2), 308-316p.
- **Doumandji A., Doumandji S. et Doumandji B.**, 2003. *Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock (Cours de technologie des céréales)*. Ed : Office publications universitaires, Alger, 68 p.
- **Ducom P.**, 1985. *La lutte contre les insectes en meunerie*. Industrie des céréales, pp : 41- 45

E

- **Edris A.E.**, 2007, *Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: A review*. Phytother. Res, 21, 308-323p
- **Essid, R., Rahali, F.Z., Msaada, K., Sghair, I., Hammami, M., Bouratbine, A., Aoun, K., Limam, F.**, 2015. *Antileishmanial and cytotoxic potential of essential oils from medicinal plants in Northern Tunisia*. Ind. Crops Prod. 77, 795–802p.

F

- **Fantino N.S.**, 1990, *Etude du polymorphisme d'une population de lavande (Lavandula angustifolia Mill.) - Détermination de critères précoces de sélection*. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, France, 41-45p
- **FAO eurostat** 2013, agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gaf13p121-126.pdf
- **Fargo W. S., Cuperus G. W., Bonjour E. L., Bucholder W. E., Clary B. L., Paytrin M. E.**, 1994 - *Influence of probe trap type and attractant on the capture of four stored grain Coleoptera*. J. Stored Prod. RES. 58p.
- **Farrell K.T.**, 1998, *Spices, condiments and seasonings*. 2 ème édition, Springer Science & Business Media, 414p
- **Fasty L.**, 2007- *Generation and analysis of expressed sequence tags from the medicinal plant salvia miltiorrhiza*. Germany Life pp 53-273
- **Fayad N.K., Al-Obaidi O.H.S., Al-Noor T.H.**, 2013, *Water and alcohol extraction of thyme plant (Thymus vulgaris) and activity study against bacteria, tumors and used as antioxidant in margarine manufacture*. Innovative Systems Design and Engineering, 4(1), 41- 51p.

- **Fekroune I. et Gacem R.**, 2019. Activité insecticide d'une huile essentielle formulée extraite d'*Origanum vulgare L. sur le Tribolium castaneum (Herbst, 1979)*.42-43p
- **Fillatre Y.**, 2011, Produits phytosanitaires : Développement d'une méthode d'analyse multirésidus dans les huiles essentielles par couplage de la chromatographie liquide avec la spectrométrie de masse en mode tandem. Thèse de doctorat. Université d'Angers. France, 288p
- **Fischer, G., K. Froberg, M.L. Parry, and C. Rosenzweig**, 1994. *Climate change and world food supply, demand and trade: Who benefits, who loses? Glob. Environ. Change*, 4, 7-23p.
- **Fravel D.**, 2005 - *Commercialization and implementation of biocontrol*. Annu. Rev. Phytopathol., Vol 43, PP. 337-359.

G

- **Gachkar, L., Yadegari, D., Rezaei, M.B., Taghizadeh, M., Astaneh S.A., Rasooli, I.**, 2007. Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Food Chem.*, 102 : 898-904.
- **Garnero J.**, 1991- Les huiles essentielles, leur obtention, leur composition, leur analyse et leur normalisation. Ed. Encyclopédie des médecines naturelles, Paris, France : PP. 2-20.
- **Gauvrit C. et Cabanne.**, 1993 - Oils for weed control : Uses and mode of action. Volume37. *Pesticide Science*. PP. 147-153
- **Godon B. et Willm C.**, 1991. *Les industries de première transformation des céréales*. Technique et documentation – Lavoisier.127p
- **Godon B. et Willm C.**, 1998. *Industrie des premières transformations des céréales*, Tec et doc, Lavoisier. Paris.211p.
- **Goetz P., Ghédira K**, 2012, *Phytothérapie anti-infectieuse*. Springer Science & Business Media, 394p
- **Gonzalez, J. J. A. ; Hernandez, J. R. O. ; Ibarra O. O. ; Gomez, J. J. U. ; Fuentes, V.O.**, 2007. Poultry by-product meal as a feed supplement in mid-lactation dairy cows. *J. Anim. Vet. Adv.*, 6 : 139-141p
- **Guenther, E.**, 1950. Essential oils of the plant family *Umbelliferae*, *The Essential Oils*, Vol. IV. D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, NJ, pp. 549-668.
- **Guignard J, Dupont F.**, 2004 - *Botanique- systématique moléculaire*- Ed. Masson.13è édition

- **Gwinner J. H., arnish R. et Much O.,** 1996 - *Manuel sur la manutention et la consommation des grains après récolte*. Ed. GTZ. Eschborn. R.F, PP : 159- 183.

H

- **Hakim B., Zaghouane o., El Mourid M.et Rezguis.,** 2007 - *Guide pratique de la conduite de céréales (Blé et orge) dans le maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)*, pp .171-176.
- **Hammer K.A., C.F. Carson & T.V. Riley,** 2003.- *Antifungal activity of the components of Melaleuca alternifolia (tea tree) oil*. J. Appl. Microbiol. Immunol., 95 (4), 853- 860p.
- **Hamoudi S.,** 2000 - *Extraction des huiles essentielles du romarin et du thym. Evaluation de leur toxicité vis à vis d'un insecte des denrées stockées. Mémoire d'ingénieur en génie chimique. Ecole Nationale Polytechnique. Elharach, 76p.*
- **Hashim S., Gamil M,** 1988, *Plants and herbs between the iraqi folk medicine and scientific research*. Baghdad, Dar revolution of Press and Publication. 84p.
- **Hernandez-Ochoa L.R.,** 2005, *Substitution de solvants et matières actives de synthèse par combiné « Solvant/Actif »*. D'origine végétale. Thèse de doctorat. Institut National Polytechniques de Toulouse. France
- **Hillman CH, Motl RW, Pontifex MB, Posthuma D, Stubbe JH, Boomsma DI, de Geus EJC.,** 2006. *Physical activity and cognitive function in a cross-section of younger and older community-dwelling individuals*. Health Psych. 25 :678–687
- **Hoffman D,** 2003, *Medical herbalism: The science and practice of herbal medicine*. Healing Arts Press, Rochester, Vermont, 666p.
- **Huang H.S., Chang L.H., Jong T.T., Nien Y.F., Chang C.M.J.,** 1995, *Supercritical carbon dioxide extraction of turmeric oil from Curcuma longa Linn. And purification of turmerones*. Separation and Purification Technology, 47, 119-125p

I

- **Inge de Groot.,** 2004. *Protection des céréales et des légumineuses stockées*. Ed. Fondation Agromisa. Wageningen, Pays Bas, 74 p.
- **Isman M.B.,** 2000, *Plant essential oils for pest and disease management*. Crop Protection, 19, 603-608p
- **Isman M.B., Miresmailli S., Machial C.,** 2010, *Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products*. Phytochemistry Reviews, DOI : 10.1007/s11101-010-9170-4

J

- **Johnson T**, 1998, CRC ethnobotany desk reference. CRC Press, 1224p
- **Juliani R.H., A. Koroch, J.E. Simon, N. Hitimana, A. Daka, L. Ranarivelo & P. Langenhoven**, 2006.- *Quality of geranium (Pelargonium sp.): case studies in Southern and Eastern Africa*. J. Ess. Oil Res., 18, 116-121

K

- **Kabouche Z., Boutaghane N., Laggoune S., Kabouche A., Ait-Kaki Z., Benlabeled K**, 2005, *Comparative antibacterial activity of five Lamiaceae essential oils from Algeria*. The International Journal of Aromatherapy, 15(3), 129-133p
- **Kalemba D., Kunicka A.**, 2003, *Antibacterial and antifungal properties of essential oils*. Curr. Med. Chem, 10, 813-829p
- **Kaloustian J., Hadji-Minaglou F**, 2013, *La connaissance des huiles essentielles : Qualitologie et aromathérapie : Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée*. Springer Science & Business Media, 226p
- **Kassemi N.**, 2014. *Activité biologique des poudres des huiles essentielles de deux plantes aromatique (Pseudocytisus integrifolius salib et Nepeta nepetella (L.) sur les ravageurs du blé et des légumes secs*. 16-32p
- **Keddar F.**, 2017. *Etude de l'activité insecticide d'extrait hydroalcoolique de Pelargonium zonale sur les larves de Tuta absoluta*. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de Biologie. Diplôme de Master en Sciences. Option : biotechnologie et valorisation des plantes 20-24p.
- **Kéita M.S., Vincent C., Schmit J.P., Ramaswany S. and Bélanger A.** (2000). Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of stored products Research, 36: 355- 364
- **Keita S.M., Vincent C., Schmit J. PArnason J.T., Bélanger A.**, 2001- Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (fab.) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research. Vol.37, n°4, pp. 339-349
- **Kelen M. & B. Tepe**, 2008.- *Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of the essential oils of three Salvia species from Turkish flora*. Bioresource Techn., 99 (10), 4096-4104.

- **Kellouche A.**, 2005 - *Etude du bruche du pois-chiche, Callosobruchus maculatus (F) (COLEOPTERA : BRUCHIDAE) : Biologie, physiologie, reproduction et lutte*, Thèse. Doc d'état. Univ. Tizi-Ouzou, p154.
- **Khalfi-Habes O.**, 2007- Evaluation du potentiel biocide et étude de l'influence de la composition des huiles essentielles de quelques plantes algériennes sur *Rhyzopertha dominica (F) (Coleoptera : Bostrychidae)* et *Callosobruchus maculatus (F) (Coleoptera :Bostrychidae)*. Thèse de doctorat, Institut nationale agronomique-el Harrach. Alger. Pp119.
- **Khalfi-Habes O., Boutekedjiret Ch.et Sellami S.**, 2010- Activité biologique de trois huiles essentielles extraites de plantes algériennes sur *Rhyzopertha dominica (F.) (Colcoptera : Bostrychidae)*. Institut National Agronomique El harach.9p
- **Kim N.S., Lee D.S.**, 2002, *Comparison of different extraction methods for the analysis of fragrances from Lavandula species by gas chromatographymass spectrometry*. Journal of Chromatography, 98, 31-47p
- **Kitajima J., Ishikawa T., Urabe A.**, 2004, *A new hydroxyjasmone glucoside and its related compounds from the leaf of thyme*. Chem. Pharm. Bull, 52(8), 1013-1014p
- **Kuhn M.A., Winston D.**, 2008, *Winston & Kuhn's herbal therapy & supplements: A scientific & traditional approach*. 2 nd edition, Lippincott Williams & Wilkins, 560p

L

- **Lahlou M.**, 2004, *Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils*. Phytotherapy Research, 18, 435-448p
- **Lawrence, B.M.**, 2009. *A Preliminary Report on the World Production of Some Selected Essential Oils and Countries*. Skin Inc 34.
- **Lee S.E., Peterson C.J., Coats J.R.**, 2003- Fumigation toxicity of monoterpenoids to several stored product insects. Jour Sored. Prod. Res, Vol. 39: 77-85.
- **Lin, P.-C., Lee, J.J., Chang, I.-J.**, 2016. Essential oils from Taiwan : Chemical composition and antibacterial activity against *Escherichia coli*. J. Food Drug Anal. 24, 464–470. doi: 10.1016/j.jfda.2015.12.006
- **Lis-Balchin M. & S.G Deans**, 1996.- *Anti-microbial effects of hydrophilic extract of Pelargonium species (Geraniaceae)*. Lett. Applied Microbiol., 24 (4), 205- 207p
- **Lis-Balchin M.**, 2002. *Geranium and pelargonium: the genera Geranium and Pelargonium*. CRC Press, Taylor & Francis, London. p. 116-131, 147-165, 184-217.

- **López-Martínez G., Rodríguez-porrata B., Margalef-català M., Cordero-otero R.,**2012. *The STF2p hydrophilin from Saccharomyces cerevisiae is required for dehydration stress tolerance.* PLoS One 7(3) : 33-24 p.
- **Lucchesi M. E., Chemat F. et Smadja, J.,** 2004 - *Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation.* Journal of Chromatography A, Vol. 1043(2) : 323–327p

M

- **Martini M.-C., Seiller M.,** 1999, *Actifs et additifs en cosmétologie.* Tec & Doc édition, Paris, 656p
- **Mbacké C.,** 2019. *Caractérisation morphogénétique des populations Ouest-africaines de Tribolium castaneum Herbst, ravageur des céréales stockées : différenciation en races hôtes et écotypes.* Université cheikh Anta Diop de Dakar. Ecole doctorale de la santé de l'environnement et de la vie. Faculté des sciences techniques département biologie animale génétique des populations thèse doctorat N 201864. P 25-29.
- **Mebarkia A., Benkohila H.S., Hamza M et Makhlouf M.,** 2012. *Efficacité d'une protéine entomotoxique du type a1b des graines de légumineuses.* Agriculture n°3, 1-8 p.
- **Mebarkia A., Khalfi O. et Guechi A.,** 2001 - *Problèmes phytosanitaires des céréales stockées en régions semi-aride.* Journées Scientifiques et Techniques Phytosanitaires, 12 et 13 Nov, MAP, INPV El-Harrach, 119-126.
- **Möller K.,** 2008 - *La distillation à l'alambic, un art à la portée de tous.* Editorial UNICO. 152 p
- **Mondal, M. and M. Khalequzzaman,** 2006. *Toxicity of essential oils against red flour beetle, Tribolium castaneum (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae).* J. Bio-Sci., 14 : 43-48p.
- **Morales R,** 1997, *Synopsis of the genus Thymus L. in the Mediterranean area.* Lagasalia, 19(1- 2), 249-262p
- **Morales R,** 2002, *The history, botany and taxonomy of the genus Thymus.* In : *Thyme: The genus Thymus* (coordonné par E Stahl-Biskup., F Saez), pp 1-43. Taylor & Francis, London
- **Moule C.,** 1971. *CÉRÉALES*, Tome II, La Maison rustique. Paris, 95 p.
- **Moussaoui K., Ahmed Hedjala O., Zitouni G. et Djazouli Z.,** 2014 - *Estimation de la toxicité de l'huile essentielle formulée de thym et d'eucalyptus et d'un produit de*

synthese sur le parasite de l'abeille tellienne *Varroa destructor*. Université de Blida 1, faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de biotechnologie. Institut technique des élevages, Route de Chebli Baba Ali. 7p

N

- **Nabhi O.**, 2013. *Composition chimique et effet antimicrobien de l'huile essentielle de Pelargonium graveolens*. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Fès, Maroc. Mémoire de fin d'étude. Diplôme de Master Sciences et techniques.12-24p
- **Naeini, A.R., Nazeri, M., Shokri, H.**, 2011. *Antifungal activity of Zataria multiflora, Pelargonium graveolens and Cuminum cyminum essential oils towards three species of Malassezia isolated from patients with pityriasis versicolor*. J. Mycol. Médicale J. Med. Mycol. 21, 87–91.
- **Namsa N.D., Tag H., Mandal M., Kalita P., Das A.K.**, 2009, An ethnobotanical study of traditional anti-inflammatory plants used by the Lohit Community of Arunachal Pradesh, India. Journal of Ethnopharmacology, 125, 234-24
- **Narayana, M.R., Rao, E.V.S.P., Rao, B.R.R., Sastry, K.**, 1986. Geranium Cultivation in India; Potentials &, Prospects. ResearchGate 8, 25–30p.
- **Ndomo A.F., Tapondjou A.L, Tendonkeng F., Tchouanguép F.M.**, 2009. *Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de Callistemon viminalis (Myrtaceae) contre les adultes d'Acanthoscelides obtectus (Say) (Coleoptera; Bruchidae)*. Tropicultura. 27(3), 137-143 p.
- **Ngamo L.S.T. et Hance Th.**, 2007. *Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical*. Tropicultura. 25(4), 215-220 p.
- **Noel DGW., Paul GF., Colin J., Demianyk BT., Digvir SJ.**, 2011. *Arthropods of Stored Cereals, Oilseeds, and Their Products in Canada : Artificial Ecosystems on Grasslands*. 23 p.
- **Nuto, Y.**1995. synergistic action of co-occurring toxin in they Root Bark of Zanthoxylum zanthoxyloides (Rutaceae) against the cowpea beetle Callosobruchus maculatus (Coleoptera : Bruchidae). Thesis of PHD. D.S.U.N.Y Syracuse, NEW York, 107 p.

O

- **Ohno T., Kita M., Yamaoka Y., Imamura S., Yamamoto T., Mitsufuji S., Kodama T., Kashima K., Imanishi J.**, 2003. Antimicrobial activity of essential oils against Helicobacter pylori. Helicobacter. 8 (3): 207-215.

- **Olle M. and Bender I.**, 2010- The content of oils in Umbelliferous crops and its formation. *Agronomy Research* 8 (3), pp.687-696.
- **Ouanzar S.**, 2012. *Étude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (triticum durum desf.)*. Thèse de magistère en production végétale. Université Ferhat Abbas Sétif Algérie. 04 p.
- **Oucherif N. et Bouzar F.**, 2016. *Effet insecticide d'huile essentielle d'une plante spontanée, « Lantana camara », sur l'insecte ravageur de blé en post-récolte « Tribolium castaneum » (Herbst)*. Université de Khemis-Miliana. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie et des Sciences de la Terre. 9-13p.

P

- **Pageau G.**, 2006. Les Triboliums, vous connaissez ? (2e partie). Ministère de l'environnement. 4p
- **Peter K.V.**, 2004, Handbook of herbs and spices. Elsevier, 376p
- **Peterson A., M. Goto, S.B. Machmuah, B.C. Roy, M. Sasaki & T. Hirose**, 2005. *Extraction of essential oil from geranium (Pelargonium graveolens) with supercritical carbon dioxide*. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 81, 167-172.
- **Pibiri M.-C.**, 2005, *Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huile essentielle*. Thèse de doctorat. Polytechniques Fédérale de Lausanne. France
- **Pitman V.**, 2004, Aromatherapy: A practical approach. Édition Nelson Thornes, 364p
- **Polese J.-M.**, 2006, La culture des plantes aromatiques. Edition Artemis, 93p
- **Prabuseenivasan S., M. Jayakumar & S. Ignacimuthu**, 2006.- *In vitro antibacterial activity of some plant essential oils*. *BMC Complem. Altern. Medicine*, 6 (1), 39.
- **Prates H.T., Santos J.P., Waquil J. M., Fabris J.D., Oliveira A.B. and Foster J.**, 1998- Insecticidal activity of monoterpenes against *Rhyzoperta dominica* (F) and *Tribolium cataneum* (H). *Jour. Stored Prod. Res.*, Vol. 34 : 243-249.
- **Purchon N.**, 2001. La bible de l'aromathérapie. Edition Marabout.

Q

- **Quezel P., Santa S.**, 1962, Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS, Paris, 636p
- **Quezel R. et S. Santa.**, 1963. Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques Méridionales, Tome II. Edition Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 977p

R

- **Rai M.K., Acharya D. et Wadegaonkar P.**, 2003 - *plant derived-antimycotics: potential of Asteraceous plants*, In : *plant-derived antimycotics : Current Trends and Future prospects*, Haworth press, N-York, London, Oxford, PP.165- 185.
- **Raja N., Albert S., Ignacimuthu S., Dorn S.**, 2001- Effect of plant volatile oils in protecting stored cowpea *Vigna Unguiculata* (L) Walpers against *Callosobruchus Maculatus* F. (Coleoptera:Bruchidae) infestation. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 37, n°2, Pp 127- 132
- **Rajendrane S. and Sriranjini V.**, 2007- Plant Product as fumigants for stored-Product insect control. *Journ. of stor. Prod. Research*, Vol. 44: 126-135.
- **Ralambondrainy M.**,2017. *Caractérisation chimique et biologique de trois huiles essentielles répulsives issues de la biodiversité régionale contre l'alphavirus du Ross River*. École doctorale Sciences, Technologies et Santé (Saint-Denis, La Réunion), en partenariat avec Processus infectieux en milieu insulaire tropical (Saint-Denis, Réunion) (laboratoire).pp : 16-37.
- **Raut, J.S., Karuppayil, S.M.**, 2014. *A status review on the medicinal properties of essential oils*. *Ind. Crops Prod.* 62, 250–264.
- **Razafindrakoto B.S.**, 1988, *Huiles essentielles d'Eucalyptus de Madagascar ; Variabilité de la composition et du rendement en fonction de la période de récolte ; essais de classement chemotaxonomique et propriétés pharmacodynamiques*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 225p
- **Razzaghi-Abyaneh M., Rai M**, 2013, *Antifungal metabolites from plants*. Springer Science & Business Media, 469p
- **Rey C**, 1990, La culture du thym en Suisse. *Revue horticole suisse*, 63, 20-22p
- **Riba G. et Silvy C.**, 1989. — *Combattre les ravageurs des cultures : enjeux et perspectives*. INRA. INRA-Publications, route de Saint-Cyr, F-78026 Versailles cedex 94 p.
- **Rosato, A., Vitali, C., Gallo, D., Balenzano, L., Mallamaci, R.**, 2008. The inhibition of *Candida* species by selected essential oils and their synergism with amphotericin B. *Phytomedicine* 15, 635–638p

S

- **Satrani B., Ghanmi M., Farah A., Aafi A., Fougrach H., Boukhiss B., Bousta D et Talbi.** 2007. Composition chimique et activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Cladanthus mixtus*. Bulletin de la société de pharmacie de Bordeaux, 146 : 85-96
- **Schiffers et al.,** 1988. *Aperçu des problèmes entomologiques dans les denrées emmagasinées en Wallonie et des moyens de lutte proposés, Unité de Phytopharmacie ?* Unité de Zoologie générale et appliquée, Parasita.
- **Seck D., Sidibé B, Fall A.,** 1992. *Observation on the development of Tribolium castaneum Herbst on the millet (typhoid Pennisetum L), according to the rate of crack in the substrate.* Belgian ploughsharer. Ent 35 : 471-475 p.
- **Shaaya E., Ravis U.,Paster N., Koutjukovsky M., & Plotkin S.,** 1993 - Essential oils and their components as active fumigants against several species of stored product insects and fungi. Acta Horticulturae. Vol ,344.Pp 131-137.
- **Shukla, J. N. and Palli, S. R.,**2012. Sex determination in beetles: production of all male progeny by parental RNAi knockdown of transformer. Sci. Rep. 2, 602
- **Sidhu O.P., Chandra H. et Behl H.M,** 2009 – Occurrence of aflatoxins in mahua (*Madhuca indica*) seeds : synergistics effectof plant extracts ou inhibition of Aspergillus flavus growth and aflatoxin production. Food. Chem. Toxicol, 47, pp 774-777.
- **Singh A,** 2011, Herbalism, phytochemistry and ethnopharmacology. CRC Press, 440p
- **Singh D., Agarwal S.K.,** 1988 - Himachalal and B. himachalene insecticidal principals of Himalaya cedar wood oil. Journal of Chimalical Ecologie.14 : 1145 – 1151p.
- **Singh, K., Rao, B.R.R., Kaul, P.N., Bhattacharya, A.K., Singh, C.P.,** 1999. Yield and quality of three varieties of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by height of harvesting. ResearchGate 21, 664–667.
- **Sivropoulou A., Koukkinis S., Lanaras T. and Aresenakis M.,** 1995. Antimicrobial activity of mint essential oils. Journal of agricultural and food chemistry , 43(9) : 2384-2388.
- **Skaria B.P,** 2007, Aromatic plants, Vol 1, New India Publishing, 290p
- **Small E et Deutsch G,** 2001, Herbes culinaires pour nos jardins de pays froid. NRC Research Press, 193p
- **Stahl-Biskup E., Sáez F,** 2002, Thyme: The genus Thymus. CRC Press, 346p
- **Stefanini M.B., Ming L.C., Marques M.O.M., Meireles M.A.A., Moura L.S., Marchese J.A.,** 2006, Seed productivity, yield and composition of the essential oil of

fennel *Foeniculum vulgare* Var. *dulcis* in the season of the year. Rev. Bras. Pl. Med, Botucatu, 8, 86-90p

- **Steffan j.R.**, 1978 - *Description et Biologie des insectes* in SCOTTI G., 1978. *Les insectes et les acariens des céréales stockées*. Ed. AFNOR et I.T.F.C., Paris :1-62, 238 p

T

- **Teuscher E., Anton R., Lobstein A.**, 2005, *Plantes aromatiques Epices, aromates, condiments et huiles essentielles*. Tec & Doc. Lavoisier, Paris, 521p
- **Thakore Y.**, 2006 - The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial Biotechnology*. Vol. 2 (3) : pp 294-208.
- **Tisserand M.**, 2014, *Aromatherapy vs MRSA : Antimicrobial essential oils to combat bacterial infection, including the superbug*. Singing Dragon, 192
- **Tiwari B.K., Valdramidis V.P., O'Donnell C.P., Muthukumarappan K., Bourke P., Cullen P.J.**, 2009, Application of natural antimicrobials for food preservation. *J. Agric. Food. Chem*, 57, 5987-6000p
- **Tiwari M., Tandon V.**, 2004, *Medicinal plants*. Vol 2, Gyan Publishing House, 653p
- **Trematerra P. and Sciarreta A.**, 2002. Activity of chilli, *Capsicum annum* L. var. *acuminatum*, on stored product insects *Oryzaephilus surinamensis* L., *Sitophilus oryzae* L. and *Tribolium castanum* (Herbst). *IOBC/wprs Bull*. 25(3) : 177-182p.

V

- **Verzele L., Moudachirou S., Ramanoelina G.**, 1988, Perfumer and flavorist. *Flavour and Fragrance Journal*, 13, 61-67p

W

- **Wang M., Kikuzaki H., Lin C.C., Kahyaoglu A., Huang M.T., Nakatani N., Ho C.T.**, 1999, Acetophenone glycosides from thyme (*Thymus vulgaris* L.). *J. Agric. Food. Chem*, 47(5), 1911-1914p
- **Watt J.M. & M.G. Breyer-Brandwijk**, 1962.- *The medicinal and poisonous plants of Southern and Eastern Africa*, 2nd ed. Edinburgh, E&S Livingstone Ltd., 449- 455p
- **Werner M.**, 2002, *Les huiles essentielles : réveil du corps et de l'esprit*. Edition Vigot, Collection Santé Bien-être, 95p
- **Wichtl M.**, 2004, *Herbal drugs and pharmaceuticals: A handbook for practice on a scientific basis*. 3 rd edition, CRC Press, 704p

- **Wilson R**, 2002, Aromatherapy: Essential oils for vibrant health and beauty. Penguin edition, 340p

Y

- **Yakhlef G.**, (2010). Étude de l'activité biologique de feuilles de *Thymus vulgaris* L. et *Laurus nobilis* L. Thèse Magis., Univ., Batna, Algérie, 185p.
- **Yi Z., Y. Yu, Y. Liang & B. Zeng**, 2008.- In vitro antioxidant and antimicrobial activities of the extract of *Pericarpium citri reticulatae* of a new Citrus cultivar and its main flavonoids. LWT, 41, 597-603p

Z

- **Zarzuelo A., Crespo E**, 2002, The medicinal and non medicinal uses of thyme. In : Thyme : The genus *Thymus* (coordonné par E Stahl-Biskup., F Sáez), pp 263-292. Medicinal and Aromatic Plants Industrial Profiles, New York, Taylor and Francis
- **Zhiri A. & D. Boudeaux**, 2005.- Huiles essentielles chémotypées et leurs synergies. Aromathérapie scientifique, 80 p

Annexe des Tableaux

Annexe 1. Tableau de transformation du pourcentage en probit (Cavelier, 1976).

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,5	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,8	4,82	4,85	4,87	4,9	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,05	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
	0,0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,75	7,75	7,88	8,09

Annexe 2. Tableau des données climatiques d'El Milia (2009-2019)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	7	7	10	12	17	22	26	26	21	17	11	8
Précipitations (mm)	63	52	50	50	45	20	15	11	33	38	54	70
Température minimale moyenne (°C)	3	3	5	7	10	15	18	18	15	11	6	4
Température maximale (°C)	12	13	16	19	24	30	34	34	29	23	17	13

Annexe 3. Tableau des données climatiques de Zéralda (2009-2019)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	11,7	12,2	13,7	15,7	18,2	21,4	24,3	25,1	23,2	19,5	15,2	12,6
Précipitations (mm)	93	69	63	44	45	14	2	4	34	70	113	117
Température minimale moyenne (°C)	8,4	8,5	10	11,7	14,1	17,4	20,2	21	19,6	15,8	11,6	9,3
Température maximale (°C)	15	16	17,5	19,7	22,4	25,5	28,4	29,3	26,9	23,2	18,8	15,9

Annexe des figures

Annexe 1. Matériel utilisé pour l'expérimentation (originale, 2020)



1- Flacon en verre, 2- Bocal d'élevage, 3- Boîtes de pétri en plastique, 4- Parafilm, 5- Coton dentaire, 6- Papier wattman, 7- Une bouteille en plastique, 8- Seringue, 9- Une paire de ciseaux, 10- Une balance de précision, 11- Un filet à fine maille ,12- Les étiquettes.