



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique
Université de Ghardaïa
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences
de la terre
Département des sciences agronomiques



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master académique en
sciences agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Thème

Étude de l'efficacité insecticide in vitro de *Zilla macroptera*
contre l'insecte *Tribolium castaneum*

Réalisé par :

- **HAMMOUDA Abderrahmane**

Soutenu devant le jury composé de / Evalué par :

Nom et prénom	Grade	Qualité	Etablissement
ZERGOUN Youcef	MCA	Président	Université de Ghardaïa
MEHANI Mouna	PR	Examineur	Université de Ghardaïa
ROUARI Linda	MCB	Encadreur	Université de Ghardaïa
SIBOUKER Abdallah	MCA	Co-encadreur	Université de Ghardaïa

Année universitaire : 2024/2025



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail, tout d'abord, à ceux qui ont semé en moi la force et l'espoir, mes chers parents **Bayoub** et **Safia**, pour tout l'amour, les sacrifices et le soutien qu'ils m'ont offerts. Je vous adresse toute ma gratitude et mes prières, qu'Allah vous protège et vous récompense généreusement.*

*À mes frères **Saïd**, **Omar** et **Mohamed**, ainsi qu'à mes sœurs **Aïcha** et **Maria**, pour leur présence, leur affection et leur soutien tout au long de mon parcours.*

*À tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé au sein de ma famille, en particulier les familles **Hammouda** et **Houdjedje**.*

*À mes chers amis qui m'ont accompagné durant mon parcours universitaire et qui ont laissé une empreinte précieuse à chaque étape : **Tebbakhi Ilyes**, **Chikhi Salah Rachid** et **Chikhi Bassa Amine**, ainsi qu'à tous mes amis de toutes les étapes de ma scolarité.*

À tous ceux que j'aime et qui m'ont soutenu d'un mot bienveillant ou d'une prière sincère.

Et enfin, à tous les enseignants, encadrants et formateurs qui ont contribué à ma formation, m'ont guidé et soutenu. Je vous adresse toute ma reconnaissance et mon profond respect.

HAMMOUDA Abderrahmane

Remerciements

Louange à Dieu, par Sa grâce les bonnes actions s'accomplissent. C'est avec Son aide et Son soutien que ce modeste travail a pu être mené à bien.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma directrice de mémoire, **Dr Rouari Linda**, pour son encadrement rigoureux, ses remarques pertinentes et son accompagnement constant tout au long de ce travail. Sa disponibilité et ses conseils ont grandement contribué à l'aboutissement de cette recherche. Qu'elle en soit sincèrement remerciée.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon co-encadrant, **Dr. Siboukeur Abdallah**, pour ses orientations méthodologiques, sa rigueur scientifique et sa disponibilité tout au long de ce travail.

Ma reconnaissance va aussi aux membres du jury : **Pr. Mehani Mouna** et **Dr. Zergoun Youcef**, pour avoir accepté de juger ce travail et pour leurs précieuses remarques.

Je remercie tout particulièrement **Dr. Meddour Salim** pour son aide, sa disponibilité et son soutien.

Mes remerciements s'adressent également à mes enseignants : **Mlle Chehema Saïda**, **Pr. Alioua Youcef**, **Pr. Sadine Salah Eddine**, **Dr. Sebihi Abdelhafid**, **Dr. Moussaouli bakir**, **Pr Ben Reima Atika** et **Mlle Chetah Boutheina**, pour les efforts fournis tout au long de notre parcours universitaire.

Je n'oublie pas d'exprimer ma reconnaissance aux responsables du laboratoire pour les moyens mis à disposition, ayant permis la réalisation des essais expérimentaux dans de bonnes conditions.

Un remerciement particulier à **Ilyes Tebbakh**, qui m'a accompagné fidèlement jusqu'à la fin de ce parcours universitaire. Son soutien constant et sa présence ont été une véritable source de motivation et de persévérance.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance à ma famille et à toutes les personnes qui m'ont soutenu, de près ou de loin, par un mot aimable ou une prière sincère.

Merci à vous tous. Que Dieu vous récompense.

HAMMOUDA Abderrahmane

Étude de l'efficacité insecticide in vitro des extraits organiques de *Zilla macroptera* contre l'insecte *Tribolium castaneum*

Résumé:

Dans le cadre de la valorisation des plantes sahariennes et de la recherche d'alternatives naturelles aux insecticides chimiques, ce travail a pour objectif d'évaluer l'effet insecticide des extraits aqueux et méthanolique de *Zilla macroptera* sur les adultes de *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae), un ravageur majeur des denrées stockées. Les extraits ont été obtenus par macération et appliqués selon deux modes : par contact et par ingestion. L'activité insecticide a été évaluée in vitro.

Les bioessais ont été réalisés en utilisant différentes concentrations (20, 40, 60 mg/ml) avec des temps d'exposition allant jusqu'à 10 jours. Les paramètres étudiés comprennent les doses létales (DL₂₅, DL₅₀, DL₉₀) et les temps létaux (TL₂₅, TL₅₀, TL₉₀). Les résultats montrent que la toxicité des extraits est influencée à la fois par la concentration appliquée, le type de solvant et la voie d'application. L'extrait méthanolique a montré une toxicité plus marquée avec des DL₅₀ plus faibles, tandis que l'extrait aqueux s'est distingué par une action légèrement plus rapide à forte dose.

Par voie d'ingestion, l'activité insecticide est restée très faible, avec des TL₅₀ dépassant plusieurs centaines de jours, traduisant une efficacité limitée de cette méthode. En revanche, l'application par contact a permis d'obtenir des taux de mortalité significatifs, notamment à partir du cinquième jour d'exposition.

Ces résultats confirment le potentiel bio-insecticide de *Zilla macroptera* et soulignent l'intérêt de développer des formulations naturelles à base de plantes dans une démarche de lutte biologique respectueuse de l'environnement. Des études complémentaires sont nécessaires pour identifier les composés actifs responsables de l'effet toxique observé.

Mots-clés : *Tribolium castaneum*, *Zilla macroptera*, activité insecticide, Extrait, Ghardaïa.

In vitro study of the insecticidal efficacy of organic extracts of *Zilla macroptera* against the insect *Tribolium castaneum*

Abstract:

As part of the valorization of Saharan plants and the search for natural alternatives to chemical insecticides, this study aimed to evaluate the insecticidal activity of aqueous and methanolic extracts of *Zilla macroptera* against adults of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), a major pest of stored food products. The extracts were obtained by maceration and applied using two methods: direct contact and ingestion. The insecticidal effect was assessed under in vitro conditions.

Bioassays were carried out using different concentrations (20, 40, 60 mg/ml) over exposure periods of up to 10 days. The main evaluated parameters were lethal doses (DL₂₅, DL₅₀, DL₉₀) and lethal times (TL₂₅, TL₅₀, TL₉₀). The results showed that insecticidal efficacy was influenced by the applied concentration, solvent type, and mode of application. The methanolic extract demonstrated greater toxicity at lower doses, while the aqueous extract acted more rapidly at high concentrations.

In contrast, ingestion resulted in very low efficacy, with TL₅₀ values exceeding several hundred hours, indicating limited digestive bioavailability. However, contact application produced significant mortality rates starting from the fifth day of exposure.

These findings highlight the insecticidal potential of *Zilla macroptera* and support its use in developing natural plant-based insecticides within an environmentally friendly biological control strategy. Further studies are recommended to identify the active compounds responsible for the observed toxicity.

Keywords: *Tribolium castaneum*, *Zilla macroptera*, insecticidal activity, Extract, Ghardaïa.

دراسة الفعالية الحشرية في المختبر للمستخلصات العضوية لنبات *Zilla macroptera* ضد حشرة
Tribolium castaneum

الملخص:

في إطار تثمين النباتات الصحراوية والبحث عن بدائل طبيعية للمبيدات الكيميائية، يهدف هذا العمل إلى تقييم الفعالية الحشرية للمستخلصين المائي والميثانولي لنبات *Zilla macroptera* ضد حشرة *Tribolium castaneum* (غمدية الأجنحة: Tenebrionidae)، والتي تُعد من الآفات الرئيسية التي تصيب المواد الغذائية المخزنة.

تم تحضير المستخلصات عن طريق النقع، وتطبيقها باستخدام طريقتين: التلامس المباشر والابتلاع. وقد أُجريت التجارب البيولوجية في شروط في ظروف مخبرية خاضعة للضبط الكامل.

استُخدمت تراكيز مختلفة (20، 40، 60 ملغ/مل) مع مدد تعرض بلغت 10 أيام. وشملت الدراسة تحديد الجرعات القاتلة (DL₂₅، DL₅₀، DL₉₀) والأزمنة القاتلة (TL₂₅، TL₅₀، TL₉₀)

أظهرت النتائج أن فعالية المستخلصات تأثرت بنوع المستخلص، وطريقة التطبيق، والتركيز المستخدم. حيث بيّن المستخلص الميثانولي سمية أكبر من خلال قيم DL₅₀ منخفضة، في حين أظهر المستخلص المائي سرعة تأثير أعلى في التراكيز المرتفعة.

أما عند تطبيق المستخلصات عن طريق الابتلاع، فقد كانت الفعالية محدودة جداً، مع تسجيل قيم TL₅₀ تجاوزت عدة مئات من الساعات، مما يدل على ضعف الامتصاص المعوي أو تحلل المركبات الفعالة. في المقابل، أظهرت طريقة التلامس فعالية واضحة منذ اليوم الخامس.

تدل هذه النتائج على الإمكانات الكبيرة لنبات *Zilla macroptera* كمصدر للمبيدات النباتية، مما يدعم استخدامه ضمن استراتيجيات مكافحة البيولوجية. وتوصى دراسات مستقبلية بعزل وتحديد المركبات النشطة المسؤولة عن السمية المسجلة.

الكلمات المفتاحية: *Tribolium castaneum*، *Zilla macroptera*، مبيد حشري فعال، مستخلص،

غرداية.

Liste des tableaux

Tableau :	Titre	Page
Tableau 1 :	Températures moyennes mensuelles maximales, minimales et globales de la région de Ghardaïa durant la période 2015–2024, et spécifiquement pour l'année 2024.	9
Tableau 2:	Précipitations mensuelles (mm) enregistrées dans la région de Ghardaïa pour l'année 2024 et les dix années précédentes (2015–2024).	9
Tableau 3:	Humidité relative moyenne mensuelle dans la région de Ghardaïa durant la période 2015–2024, et pour l'année 2024	10
Tableau 4:	Caractéristiques organoleptiques des extraits obtenues	30
Tableau 5:	Valeurs de doses létales d'extrait aqueux appliqué par contact	36
Tableau 6 :	Valeurs de doses létales d'extrait méthanolique appliqué par contact	36
Tableau 7:	Valeurs de doses létales d'extrait aqueux appliqué par ingestion	40
Tableau 8:	Valeurs de doses létales d'extrait méthanolique appliqué par ingestion	40
Tableau 9:	Valeurs de temps létaux d'extrait aqueux appliqué par contact	44
Tableau 10:	Valeurs de temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par contact	45
Tableau 11:	Valeurs de temps létaux d'extrait aqueux appliqué par ingestion	47
Tableau 12 :	Valeurs de temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par ingestion	48

Liste des Figure

Figure :	Titre.....	Page
Figure 1 :	Carte situant la position géographique de Ghardaïa en Algérie.....	7
Figure 2 :	Bassin versant des oueds de la région du Mزاب.....	8
Figure 3 :	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) pour une période de 10 ans dans la région de Ghardaïa (2015–2024).....	10
Figure 4 :	Position de la région de Ghardaïa dans le climagramme d’Emberger (2015–2024).....	11
Figure 5:	<i>Zilla macroptera</i> . A : Plante entière, B : Fruits, C : Rameaux. D : Fleurs.....	15
Figure 6 :	Morphologie externe de l’adulte de <i>Tribolium castaneum</i>	17
Figure 7 :	Cycle de vie de <i>Tribolium castaneum</i>	17
Figure 8 :	Schéma de démarche méthodologique	19
Figure 9:	Vue satellite de la région de Oued Drine -Metlili, Ghardaïa-	21
Figure 10:	Protocole d'extraction par macération à froid	24
Figure 11:	Boîte de Pétri – Application par contact	26
Figure 12:	Boîte de Pétri – Application par ingestion	26
Figure 13:	Rendement d’extraction de différents extraits organiques	29
Figure 14:	Toxicité de l’extrait aqueux de la plante <i>Zilla macroptera</i> (par contact).....	31
Figure 15:	Toxicité de l’extrait méthanolique de la plante <i>Zilla macroptera</i> (Par contact).....	32
Figure 16:	Toxicité de l’extrait aqueux de la plante <i>Zilla macroptera</i> (par ingestion).....	33
Figure 17:	Toxicité de l’extrait méthanolique de la plante <i>Zilla macroptera</i> (Par ingestion).....	34
Figure 18 :	Corrélation établi pour l’extrait aqueux appliqué par contact. (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j).....	38
Figure 19 :	Corrélation établi pour l’extrait méthanolique appliqué par contact (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j)..	39
Figure 20 :	Corrélation établi pour l’extrait aqueux appliqué par ingestion. (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j).	42

Figure 21 : Corrélation établi pour l'extrait méthanolique appliqué par ingestion. (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j).....	43
Figure 22 : Corrélation établi pour les temps létaux d'extrait aqueux appliqué par contact. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).	44
Figure 23 : Corrélation établi pour les temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par contact. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).....	45
Figure 24 : Corrélation établi pour les temps létaux d'extrait aqueux appliqué par ingestion. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).	47
Figure 25 : Corrélation établi pour les temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par ingestion. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).	48
Figure 26 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait aqueux par contact	50
Figure 27 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait aqueux par contact	50
Figure 28 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait méthanolique par contact.....	51
Figure 29 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait méthanolique par contact.....	51
Figure 30 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait aqueux par ingestion.....	52
Figure 31 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait aqueux par ingestion.....	52
Figure 32 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait méthanolique par ingestion.....	53
Figure 33 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait méthanolique par ingestion.....	53

Table des matières

Titre.....	Page
Introduction.....	2
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique.....	6
1. Présentation de la région d'étude.....	6
1.1.Situation géographique.....	6
1.1.1.Limites administratives.....	7
1.2.Facteurs abiotiques.....	7
1.2.1.Sol.....	7
1.2.2.Relief.....	8
1.2.3.Ressources hydriques.....	8
1.3.Facteurs climatiques.....	9
1.3.1.Température.....	9
1.3.2.Précipitations.....	9
1.3.3.Humidité.....	10
1.3.4.Synthèse climatique.....	10
.1.4Facteurs biotiques.....	12
1.4.1.Flore.....	12
1.4.2.Faune.....	12
.2 Présentation de la plante testée : <i>Zilla macroptera</i>	13
2.1. Présentation de <i>Zilla macroptera</i> (Cos.).....	13
2.2. Taxonomie.....	13
2.3. Caractéristiques morphologiques.....	14
2.4. L'utilisation de la plante.....	14
3. Présentation de l'insecte cible : <i>Tribolium castaneum</i>	16
3.1. Position systématique.....	16
3.2. Généralités sur <i>Tribolium</i> rouges de la farine.....	16

CHAPITRE II : Matériel et méthodes	19
1. Démarche méthodologique	19
2. Zone de récolte – Oued Ed-Derine (Metlili, Ghardaïa)	20
3. Matériel utilisé	21
3.1. Équipements de laboratoire.....	21
3.1.1. Produits chimiques :.....	22
3.2. Préparation du matériel végétal.....	22
3.2.1. Récolte de la plante.....	22
3.2.2. Séchage des plantes.....	22
3.2.3. Broyage des plantes.....	22
3.3. Préparation des extraits végétaux.....	22
3.4. Calcul du rendement d'extraction.....	25
3.5. Méthodes d'application.....	25
3.6. Paramètres de toxicité analysés.....	26
3.6.1. Taux de mortalité.....	26
3.6.2. Doses létales (DL ₂₅ , DL ₅₀ et DL ₉₀).....	27
3.6.3. Temps létaux (TL ₂₅ , TL ₅₀ et TL ₉₀).....	27
3.6.4. Traitement des données.....	27
CHAPITRE III : Résultats et discussion	29
1. Rendement d'extraction	29
2. Toxicité	30
3. Efficacité de l'activité insecticide	36
Conclusion	55
Références bibliographiques.....	57

Liste des abréviations

ANOVA : Analysis of Variance

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

DL₂₅ : Dose létale 25

DL₅₀ : Dose létale 50

DL₉₀ : Dose létale 90

DMSO : Dimethyl sulfoxide

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

mg/ml : milligrammes par millilitre

MICL : Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales.

R² : Coefficient de Régression linéaire

TL₂₅ : Temps létale 25

TL₅₀ : Temps létale 50

TL₉₀ : Temps létale 90

INTRODUCTION

Introduction

Les pertes post-récolte représentent un obstacle majeur à la sécurité alimentaire, notamment dans les pays en développement. Selon la **FAO (2021)**, 17 % de la production alimentaire mondiale est perdue durant le stockage, dont 10 % à cause des insectes. Ces pertes sont aggravées par les climats chauds, pouvant atteindre jusqu'à 80 % dans des cas extrêmes (**Tadesse, 2020 ; Comfort et al., 2022**).

Les céréales, aliment de base pour l'homme et les animaux, sont fortement exposées aux infestations. Parmi les principaux ravageurs figurent *Sitophilus oryzae*, *Tribolium castaneum* et *Sitotroga cerealella* (**Semple et al., 1992**).

Les insectes des denrées stockées ont un cycle de vie court (4 à 6 semaines) et un mode de vie cryptique, ce qui complique leur détection. Certaines espèces pondent à l'intérieur des grains, d'autres à la surface. Certaines, comme *Tribolium castaneum* ou *Sitophilus oryzae*, peuvent vivre jusqu'à 12 mois (**Semple et al., 1992**).

Tribolium castaneum, coléoptère bien adapté aux environnements chauds et secs, est l'un des ravageurs les plus redoutés des céréales stockées. Il s'attaque aux farines, grains cassés et parfois entiers, causant des pertes quantitatives et qualitatives (valeur nutritionnelle, pouvoir germinatif, caractéristiques boulangères) (**Malek et Parveen, 1989 ; Steffan, 1963 ; Santos et al., 1990**). Il sécrète aussi des quinones altérant la qualité organoleptique des produits, les rendant impropres à la consommation, même à faible dose (**Trematerra et Sciarretta, 2004**).

Pour lutter contre des ravageurs comme *Tribolium castaneum*, diverses méthodes sont utilisées : insecticides chimiques (poudres, fumigants comme le phosphore d'aluminium), traitements thermiques ou gazeux. Les principes actifs appartiennent aux familles des organophosphorés, organochlorés, carbamates et pyréthrinoïdes, comme le malathion, la deltaméthrine ou la perméthrine (**Guilet et al., 1997 ; Tine-Djebar et Soltani, 2008 ; Hamaidia et Berchi, 2018**).

Malgré leur efficacité à court terme, les insecticides chimiques présentent des limites importantes. Sur le plan sanitaire, leur usage prolongé peut entraîner des troubles endocriniens, immunitaires, neurologiques ou cancéreux (**Sharma, 2017 ; Aktar et al., 2009**). Sur le plan agronomique, leur utilisation excessive favorise l'émergence de résistances chez les ravageurs

post-récolte comme *Tribolium castaneum*, mais aussi chez d'autres espèces comme *Helicoverpa armigera* et *Spodoptera spp.* (**Sparks et Nauen, 2015**).

La lutte biologique constitue une alternative prometteuse aux insecticides de synthèse. Elle repose sur l'usage d'organismes vivants (prédateurs, parasitoïdes, pathogènes) ou de produits naturels (extraits végétaux, huiles essentielles). Sa spécificité permet de cibler les ravageurs tout en préservant les organismes non ciblés comme les pollinisateurs (**Copping et Menn, 2000**).

Respectueuse de l'environnement, la lutte biologique ne laisse aucun résidu toxique et limite le développement de résistances grâce à ses mécanismes d'action variés. Elle s'intègre efficacement dans la lutte intégrée contre les ravageurs, notamment contre *Tribolium castaneum*, offrant une protection durable, économique et sûre (**Roy et Cottrell, 2008 ; Binns et Nyrop, 1992**).

La lutte biologique appliquée à *Tribolium castaneum* présente des avantages notables. Grâce à sa spécificité, elle limite les effets sur les organismes non ciblés comme les pollinisateurs et les auxiliaires. Elle ne laisse aucun résidu toxique et contribue à ralentir l'émergence de résistances en raison de ses modes d'action moins agressifs (**Isman, 2006 ; Regnault-Roger et al., 2012**).

Les plantes jouent un rôle clé dans la lutte biologique grâce à leur richesse en substances bioactives. Elles produisent des composés secondaires comme les alcaloïdes, flavonoïdes, terpènes et huiles essentielles, dotés de propriétés insecticides, répulsives ou inhibitrices. Cette aptitude est particulièrement marquée chez les espèces sahariennes, adaptées aux conditions extrêmes et capables de synthétiser des métabolites originaux à fort potentiel biologique (**Regnault-Roger et al., 2012 ; Bekkara et al., 1998**).

Certaines classes de composés bioactifs végétaux possèdent une forte activité insecticide. Les alcaloïdes agissent sur le système nerveux, provoquant paralysie et mort. Les terpènes perturbent la transmission synaptique ou la perméabilité des membranes. Les flavonoïdes et composés phénoliques inhibent les enzymes digestives. Quant aux stéroïdes végétaux, ils interfèrent avec le développement larvaire en imitant les hormones de mue (**Isman, 2006**).

L'efficacité insecticide de plusieurs plantes sahariennes contre *Tribolium castaneum* a été démontrée. *Artemisia herba-alba*, *Cleome arabica* et *Pergularia tomentosa* ont montré des effets toxiques attribués à leurs composés bioactifs (**Belboukhari *et al.*, 2019 ; Kemassi, 2014 ; Rahmouni *et al.*, 2020**).

Zilla macroptera, appartenant aux Brassicaceae, attire l'attention pour sa richesse potentielle en glucosinolates, connus pour leurs propriétés toxiques et répulsives. Bien que ses composés soient peu étudiés, son profil chimique laisse entrevoir un potentiel insecticide intéressant, surtout en milieu saharien (**El-Toumy *et al.*, 2011**).

Cette étude s'inscrit dans la valorisation des plantes sahariennes comme alternatives naturelles aux insecticides chimiques. Elle vise à évaluer l'effet insecticide de deux extraits (aqueux et méthanolique) de *Zilla macroptera* contre *Tribolium castaneum*, un ravageur des produits céréaliers stockés.

Le travail s'articule autour de trois axes principaux : le premier constitue une revue bibliographique englobant les caractéristiques géographiques et climatiques de la zone d'étude, ainsi que des données sur la plante utilisée et l'insecte ciblé. Le deuxième axe est consacré aux matériaux et méthodes, notamment la préparation des extraits aqueux et méthanolique et la réalisation des tests biologiques. Le troisième présente les résultats obtenus, accompagnés d'une discussion comparative avec les références scientifiques disponibles. Une conclusion générale vient clore l'étude en résumant les apports essentiels et en proposant des perspectives de recherche future.

CHAPITRE I :
Synthèse
bibliographique

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

Ce chapitre constitue une étape essentielle de notre travail, car il permet de situer scientifiquement le sujet de l'étude. À travers une synthèse des sources bibliographiques disponibles, il pose les bases nécessaires à la compréhension du contexte dans lequel s'inscrit notre recherche.

Il se divise en trois parties principales : la première est consacrée à la présentation générale de la wilaya de Ghardaïa, cadre géographique de l'étude ; la deuxième introduit la plante *Zilla macroptera*, espèce saharienne sélectionnée pour ses propriétés potentielles ; et la troisième décrit l'insecte cible *Tribolium castaneum*, ravageur majeur des produits alimentaires stockés.

1. Présentation de la région d'étude

Cette section présente brièvement la région de Ghardaïa, en décrivant sa position géographique et ses principales caractéristiques environnementales, notamment les facteurs biotiques et abiotiques.

1.1. Situation géographique

La wilaya de Ghardaïa est située dans la partie nord du Sahara algérien, à environ 600 kilomètres au sud d'Alger. Selon les données géographiques récentes, elle se localise à une altitude moyenne de 572 mètres, avec les coordonnées suivantes :

- Latitude : 32°29' Nord
- Longitude : 3°40' Est (MICL, 2021)

Créée à la suite du découpage administratif de 1984, la wilaya dépendait auparavant de celle de Laghouat. Elle est actuellement composée de 10 communes réparties en 8 daïras, la commune d'El Menia est devenue une wilaya autonome, modifiant la frontière sud de Ghardaïa (MICL, 2021).

1.1.1. Limites administratives

La position de Ghardaïa par rapport aux wilayas voisines est la suivante (Fig.1) (MICL, 2021) :

- Au Nord : Wilaya de Laghouat (~200 km)
- Au Nord-Est : Wilaya de Djelfa (~300 km)
- À l'Est : Wilaya de Ouargla (~190 km)
- Au Sud : Wilaya d'El Menia (~240 km)
- À l'Ouest : Wilaya d'El Bayadh (~350 km)

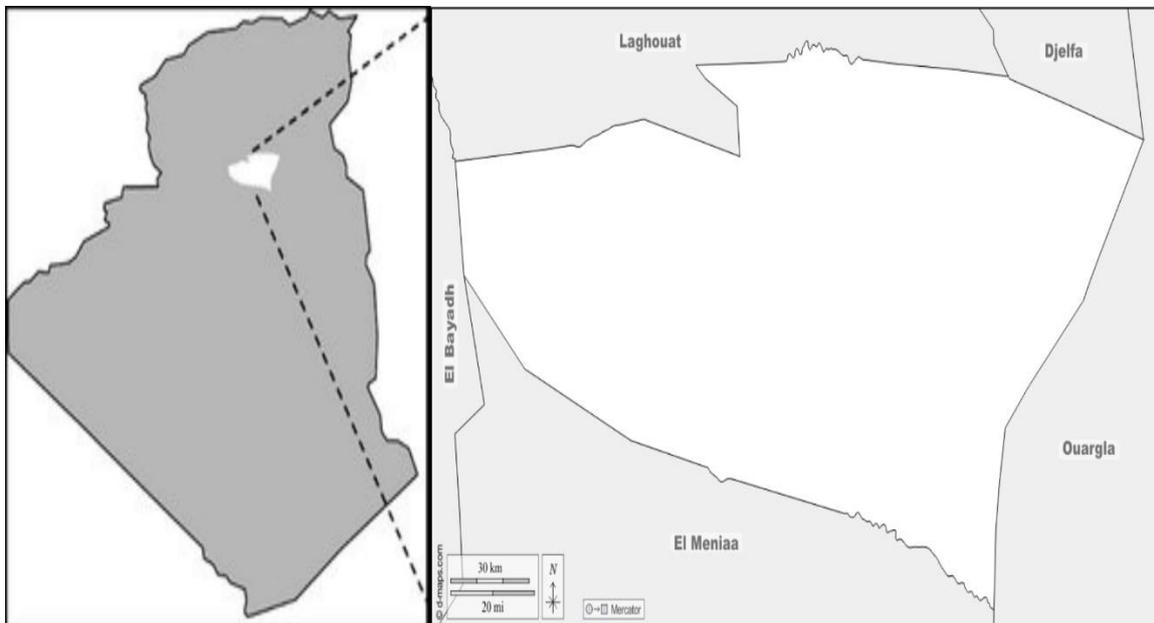


Figure 1 : Carte situant la position géographique de Ghardaïa en Algérie (site Internet 1, Modifié 2025)

1.2. Facteurs abiotiques

1.2.1. Sol

Les sols sont un facteur écologique déterminant, influençant la répartition des êtres vivants selon leur pH (Ramade, 1984). À Ghardaïa, les sols dominants sont squelettiques, de type hamada, tandis que les zones dépressionnaires accumulent des alluvions fertiles (Dubost, 1991). Ils sont à texture sablo-limoneuse, peu calcaires, fortement alcalins et pauvres en matière organique, en raison du climat aride (Daddi Bouhoun, 1997).

1.2.2. Relief

Selon (MICAL, 2021), la wilaya de Ghardaïa couvre environ 21 352,58 km² et présente une géomorphologie variée. Le relief comprend des plaines du Continental Terminal, des zones sablonneuses, des plateaux rocheux (hamadas) situés entre 300 et 800 m d'altitude, ainsi qu'un réseau de vallées interconnectées appelé la Chebka.

1.2.3. Ressources hydriques

La vallée du M'Zab est traversée par un ancien réseau hydrographique appelé Chebka (Fig.2), actif autrefois sous un climat plus humide, mais devenu aujourd'hui sporadique à cause de l'aridité (Nedjari et al., 2001). Pour faire face à cette contrainte, les habitants ont mis en place un système traditionnel de collecte des eaux pluviales pour recharger la nappe phréatique (Benyoucef, 1991). Actuellement, l'eau provient surtout de forages profonds dans la nappe fossile du Continental Intercalaire, une ressource menacée par la pollution organique (Bouchenga et Lahreche, 2006).

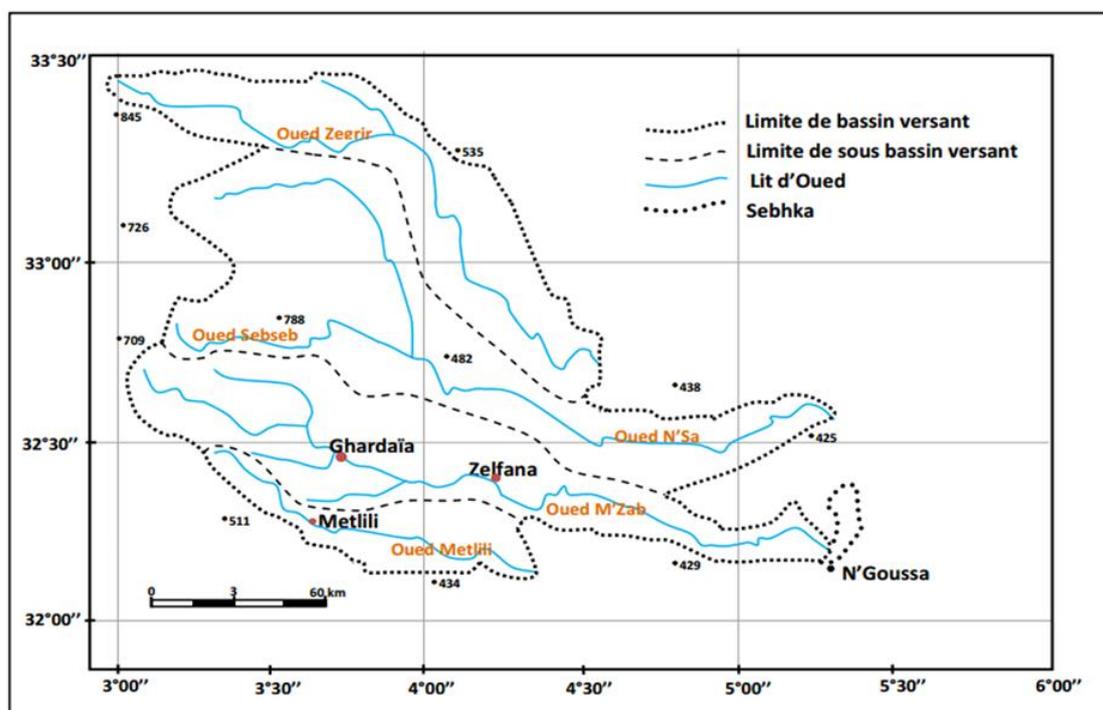


Figure 2 : Bassin versant des oueds de la région du Mzab (ANRH Ouargla, 2003)

La région de Ghardaïa est traversée par un réseau dense d'oueds, notamment l'oued Sebseb, l'oued Metlili, l'oued M'Zab, l'oued N'sa et l'oued Zegrir. Ces cours d'eau constituent le bassin versant principal de la dorsale du M'Zab, drainant les eaux de l'ouest vers l'est (ANRH, 2010 ; ANRH, 2011).

1.3. Facteurs climatiques

1.3.1. Température

La température influence fortement les fonctions physiologiques des plantes, comme la photosynthèse, la croissance et la reproduction. Des écarts thermiques peuvent altérer ces processus et modifier la répartition des espèces végétales (Taiz et Zeiger, 2010).

Tableau 1 : Températures moyennes mensuelles maximales, minimales et globales de la région de Ghardaïa durant la période 2015–2024, et spécifiquement pour l'année 2024. (Tutiempo, 2025)

T (°C)		Ghardaïa											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015-2024	M	16,81	19,04	23,05	27,73	33,04	38,58	41,7	40,05	35,7	29,04	22,41	18,31
	m	6,14	8,06	11,21	15,15	20,11	25,4	28,71	27,62	23,77	17,64	11,55	7,81
	(TM+Tm) /2	11,48	13,55	17,13	21,44	26,58	31,99	35,21	33,84	29,74	23,34	16,98	13,06
2024	M	20,5	20,7	25,3	26	34,4	40,3	43,1	40,5	34,3	30,3	24,2	17,8
	m	8,6	9,9	12,9	15,3	21,4	27	30,3	28,2	23,4	19,9	13,6	7,1
	(M+m) /2	14,55	15,3	19,1	20,65	27,9	33,65	36,7	34,35	28,85	25,1	18,9	12,45

M = Température maximale moyenne mensuelle ; m = Température minimale moyenne mensuelle ;

(M+m) /2 = Température moyenne mensuelle.

1.3.2. Précipitations

Les précipitations influencent directement la recharge des nappes phréatiques et le régime des cours d'eau. Elles sont exprimées en millimètres, ce qui permet d'estimer les apports en eau dans un bassin versant (Hiscock et Bense, 2021).

Tableau 2: Précipitations mensuelles (mm) enregistrées dans la région de Ghardaïa pour l'année 2024 et les dix années précédentes (2015–2024). (Tutiempo, 2025)

P (mm)	Ghardaïa												Cumul
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2015-2024	1,55	3,02	3,50	3,89	2,65	0,89	0,13	4,17	5,59	3,89	3,00	1,11	33,37
2024	0,51	0	0	2,28	1,02	3,3	0	0,76	10,66	0	0,51	0	19,04

P : Précipitations mensuelles en millimètres

1.3.3. Humidité

Tableau 3: Humidité relative moyenne mensuelle dans la région de Ghardaïa durant la période 2015–2024, et pour l'année 2024 (**Tutiempo, 2025**).

	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Humidité moyenne 2015–2024 (%)	40,9	37,1	31,65	28,51	23,4	18,67	16,05	20,97	30,17	35,55	36,88	47,45
Humidité moyenne 2024 (%)	35	38,4	26,9	36,8	20,3	19,5	14,8	21	41,9	41,8	46,6	43,5

1.3.4. Synthèse climatique

Pour caractériser le climat de Ghardaïa, deux outils ont été utilisés : l'indice pluviothermique d'Emberger et le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен. Ces méthodes offrent une classification précise des zones arides et semi-arides (**Berhail et Katipoğlu, 2025**).

A. Diagramme Ombrothermique de Gausсен

Le diagramme ombrothermique met en évidence une longue période sèche de sept mois (avril à octobre), durant laquelle les précipitations mensuelles restent inférieures à deux fois la température ($P < 2T$), selon **Bagnouls et Gausсен (1953)**. Ce profil est typique des climats désertiques du nord du Sahara algérien.

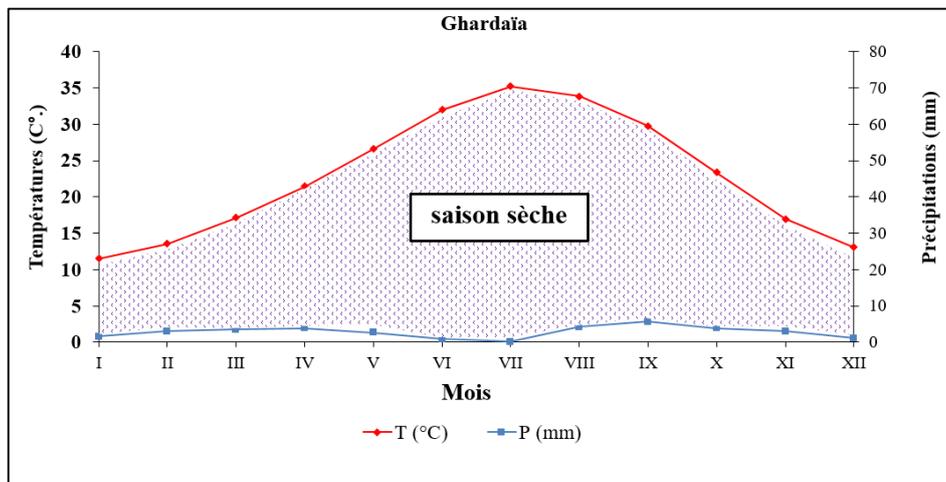


Figure 3 : Diagramme ombrothermique de **BAGNOULS et GAUSSEN (1953)** pour une période de 10 ans dans la région de Ghardaïa (2015–2024).

B. Diagramme climatique d’Emberger

Afin de compléter l’analyse bioclimatique de la région de Ghardaïa, nous avons calculé le quotient pluviométrique simplifié Q_3 , proposé par **Stewart (1969)**. Cet indice permet d’évaluer rapidement le degré d’aridité d’un climat, notamment dans les régions sahariennes, en tenant compte des précipitations annuelles (P) ainsi que de l’amplitude thermique extrême (M - m).

La formule est la suivante :

$$Q_3 = \frac{P \times 3,43}{M - m}$$

Avec les données climatiques moyennes sur la période 2015–2024 :

- P = 33,37 mm (précipitations annuelles totales)
- M = 41,7°C (température maximale moyenne du mois le plus chaud)
- m = 6,14 °C (température minimale moyenne du mois le plus froid)

En remplaçant :

$$Q_3 = \frac{3,43 \times 33,37}{41,7 - 6,14} \approx 3,22$$

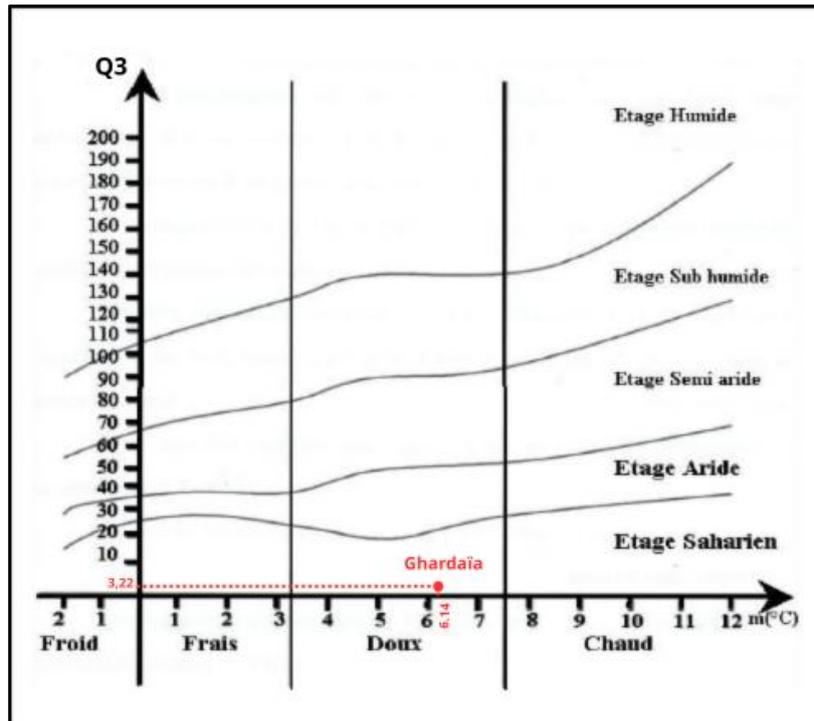


Figure 4 : Position de la région de Ghardaïa dans le climagramme d’Emberger (2015–2024)

Cette valeur très faible confirme le climat hyperaride de Ghardaïa, en accord avec les résultats de l'indice d'Emberger et la classification climatique de Köppen (BWh – climat désertique chaud).

1.4. Facteurs biotiques

1.4.1. Flore

La flore de la région de Ghardaïa est typiquement saharienne, dominée par des espèces xérophytes adaptées à l'aridité intense. Des relevés récents dans les oueds sableux du nord du Sahara (Ghardaïa) ont identifié 15 espèces principales appartenant à 10 familles, dont Brassicaceae, aux côtés de Fabaceae, Anacardiaceae et Poaceae. Parmi les plantes les plus fréquentes figurent *Retama retam*, *Artemisia herba-alba*, *Zilla macroptera* et *Cleome arabica*, illustrant la diversité des stratégies adaptatives (racines profondes, feuilles réduites, tissus succulents) face aux conditions extrêmes (Merchela *et al.*, 2023).

Ces plantes développent divers mécanismes d'adaptation à l'aridité, tels qu'un enracinement profond, une cuticule épaisse, ou une réduction de la surface foliaire. Certaines présentent aussi des propriétés médicinales ou insecticides intéressantes pour la lutte biologique (Bellakhdar, 2006).

1.4.2. Faune

La région de Ghardaïa présente une faune diversifiée malgré les conditions désertiques extrêmes. Plusieurs espèces animales ont développé des mécanismes d'adaptation physiologique et comportementale face à l'aridité et aux fortes variations thermiques (Kadi et Korichi, 1993).

On y trouve divers insectes tels que les coléoptères, orthoptères et lépidoptères, ainsi que des reptiles et amphibiens bien adaptés à l'environnement sec (Djilali, 2009). L'avifaune est représentée par des espèces comme *Hirundo rustica* et *Asio flammeus* (Djilali, 2009).

Parmi les mammifères, treize espèces ont été recensées, notamment des rongeurs tels que *Jaculus jaculus* et *Gerbillus gerbillus*, illustrant la richesse écologique du milieu saharien (Kadi et Korichi, 1993).

2. Présentation de la plante testée : *Zilla macroptera*

Le choix de la plante *Zilla macroptera* repose sur des critères scientifiques rigoureux. Espèce spontanée des zones arides du sud algérien, elle appartient à la famille des Brassicaceae, largement reconnue pour sa richesse en métabolites secondaires tels que les glucosinolates, les composés soufrés et les flavonoïdes, dont plusieurs sont connus pour leurs effets insecticides et répulsifs (Fahey *et al.*, 2001 ; Bekkara *et al.*, 1998). Bien que certaines études aient exploré le potentiel bioactif de plantes de cette famille, *Zilla macroptera* reste peu étudiée, en particulier dans le contexte de la lutte biologique contre les insectes ravageurs des denrées stockées, ce qui confère à ce travail un caractère original et innovant (Benmehdi, 2017). L'exploitation de cette ressource végétale endémique s'inscrit également dans une démarche de valorisation de la biodiversité locale à des fins écotoxicologiques.

2.1. Présentation de *Zilla macroptera* (Cos.)

Zilla macroptera (Coss.) est une espèce appartenant à la famille des Brassicaceae, caractéristique des zones sahariennes hyper-arides. Cette plante xérophyte est bien adaptée aux conditions climatiques extrêmes du désert grâce à la présence de poils foliaires qui réduisent l'évapotranspiration, contribuant ainsi à la conservation de l'eau dans les tissus végétaux (Slimani et Chehma, 2009).

Elle se développe principalement sur des substrats sablo-gravillonneux, notamment dans les lits d'oueds et les dépressions, où l'humidité du sol est légèrement plus favorable à la germination. Sa répartition géographique couvre plusieurs régions du Sahara septentrional algérien, notamment Ghardaïa, El Goléa et Béni Abbès (Chehma, 2006).

2.2. Taxonomie

La taxonomie végétale est la discipline scientifique qui consiste à identifier, nommer et classer les plantes selon un système hiérarchique basé sur leurs caractéristiques morphologiques, anatomiques et évolutives (Simpson, 2019).

Selon **Quézel et Santa (1963)** :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Magnoliophytae
- Classe : Magnoliopsida
- Sous-classe : Dilleniidae
- Ordre : Capparales
- Famille : Brassicaceae
- Genre : *Zilla*
- Espèce : *Zilla macroptera* (Coss.) Maire
- Synonyme : *Zilla spinosa* subsp. *macroptera* (Coss.) Maire & Weiller

2.3. Caractéristiques morphologiques

Zilla macroptera est une plante vivace saharienne, très épineuse et extrêmement rameuse, formant de vastes amas qui peuvent dépasser un mètre de hauteur. Ses jeunes rameaux, souples au départ, portent de grandes feuilles légèrement charnues de couleur verte (Fig. 5). La plante présente une forte capacité d'adaptation aux conditions désertiques : elle se lignifie rapidement et perd ses feuilles durant les périodes de sécheresse intense, puis repousse lorsque les conditions deviennent plus favorables. La floraison est souvent abondante, avec des fleurs de teinte rose-mauve. Une caractéristique morphologique notable est la présence de poils sur les organes végétatifs, un mécanisme adaptatif permettant de réduire l'évapotranspiration et de mieux conserver l'eau (**Slimani et Chehma, 2009**).

2.4. L'utilisation de la plante

Zilla macroptera est une plante médicinale saharienne largement utilisée par les populations locales du Sud algérien. Elle est réputée pour son efficacité dans le traitement des troubles gastro-intestinaux, des douleurs abdominales, des diarrhées, ainsi que des affections du foie et du pancréas (**Bellakhdar, 1997 ; Ozenda, 1991**).

Ces savoirs traditionnels, transmis de génération en génération, témoignent de l'importance de cette espèce dans la médecine populaire. En Afrique, plus de 80 % de la population fait encore appel à la phytothérapie pour les soins de santé primaires (**Rukangira, 1997**).



Figure 5: *Zilla macroptera*. A : Plante entière, B : Fruits, C : Rameaux. D : Fleurs.

3. Présentation de l'insecte cible : *Tribolium castaneum*

L'activité insecticide a été évaluée sur des adultes de *Tribolium castaneum* (sous son nom scientifique correct).

3.1. Position systématique

La classification systématique de *Tribolium castaneum* (Herbst), connu sous le nom de Tribolium rouge de la farine, est basée sur des recherches modernes (**Triplehorn et Johnson, 2005**). Cette classification se résume ainsi :

- Règne : Animalia
- Embranchement : Arthropoda
- Sous-embranchement : Antennata
- Classe : Insecta
- Sous-classe : Ptérygota
- Ordre : Coleoptera
- Sous-ordre : Polyphaga
- Famille : Tenebrionidae
- Genre : *Tribolium*
- Espèce : *Tribolium castaneum* (Herbst)

3.2. Généralités sur Tribolium rouges de la farine

Le *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae), communément appelé tribolium rouge de la farine (Fig.6), est un insecte ravageur d'importance mondiale des denrées alimentaires d'origine végétale stockées. Il mesure entre 3 et 4 mm de long et possède une coloration uniforme allant du brun rouille au noir. Cette espèce est morphologiquement très similaire à *Tribolium confusum* (**Baldwin et Fasulo, 2003**). Ensemble, *Tribolium castaneum* et *Tribolium confusum* comptent parmi les principaux insectes nuisibles affectant les produits végétaux stockés à l'échelle mondiale (**Sallam, 1999**).

Selon (**Delobel et Tran, 1993**), *Tribolium castaneum* attaque les denrées déjà altérées comme le riz, le blé, la farine, le maïs et les légumineuses. Les larves et adultes peuvent devenir cannibales en consommant leurs propres œufs et nymphes, et ils souillent les produits par leurs sécrétions.



Figure 6 : Morphologie externe de l'adulte de *Tribolium castaneum*

La durée de vie d'un adulte est d'environ trois ans, et chaque femelle peut pondre jusqu'à 1000 œufs. Le développement suit un cycle complet : œuf, larve, nymphe, adulte (Fig.7). L'éclosion a lieu entre 9 et 12 jours après la ponte. Le nombre de stades larvaires atteint en général sept, mais peut être réduit en cas de conditions alimentaires défavorables (Chafino *et al.*, 2019).

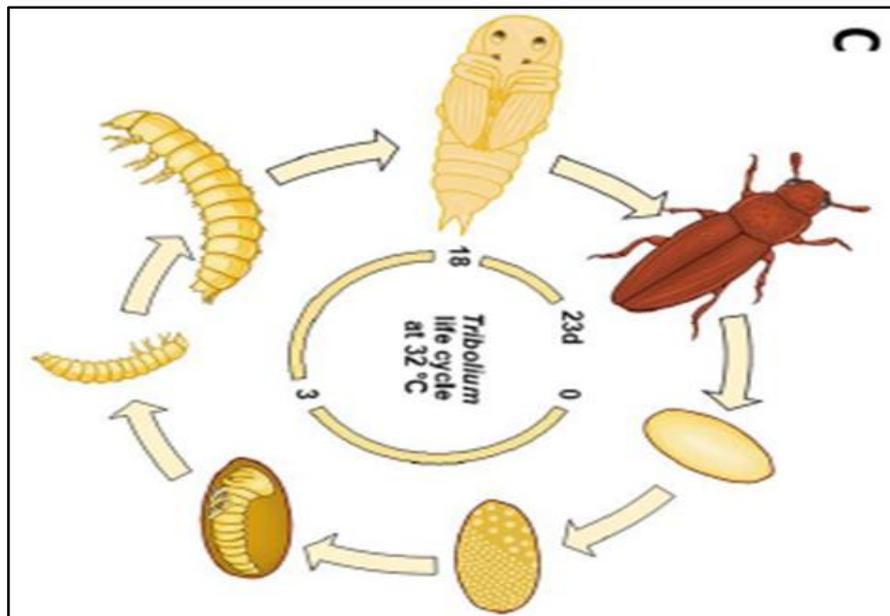


Figure 7 : Cycle de vie de *Tribolium castaneum* (Klingler et Bucher, 2022).

CHAPITRE II :

Matériel et méthodes

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

L'objectif de ce chapitre est de présenter de manière précise l'ensemble des moyens matériels et des méthodes expérimentales utilisés pour atteindre le but principal de cette étude, à savoir évaluer l'efficacité insecticide des extraits aqueux et méthanolique de *Zilla macroptera* contre *Tribolium castaneum*. Il décrit les étapes suivies de façon structurée afin d'assurer la reproductibilité des essais et la fiabilité des résultats obtenus. Le chapitre comprend la présentation de la zone d'étude, les procédés d'extraction utilisés pour obtenir les deux types d'extraits (aqueux et méthanolique), ainsi que les protocoles biologiques appliqués selon deux modes d'exposition (par contact et par ingestion). Chaque sous-section suit l'ordre chronologique du déroulement expérimental.

1. Démarche méthodologique

La méthodologie suivie dans ce travail s'est articulée autour de plusieurs étapes successives (Fig.8). La plante *Zilla macroptera* a d'abord été récoltée, puis soumise à une extraction par macération pour obtenir deux types d'extraits : un extrait aqueux et un extrait méthanolique. Ensuite, l'insecte cible *Tribolium castaneum* a été exposé à ces extraits selon deux modalités : par contact et par ingestion. Les taux de mortalité enregistrés ont été analysés afin d'évaluer l'efficacité insecticide de chaque extrait selon le mode d'application.

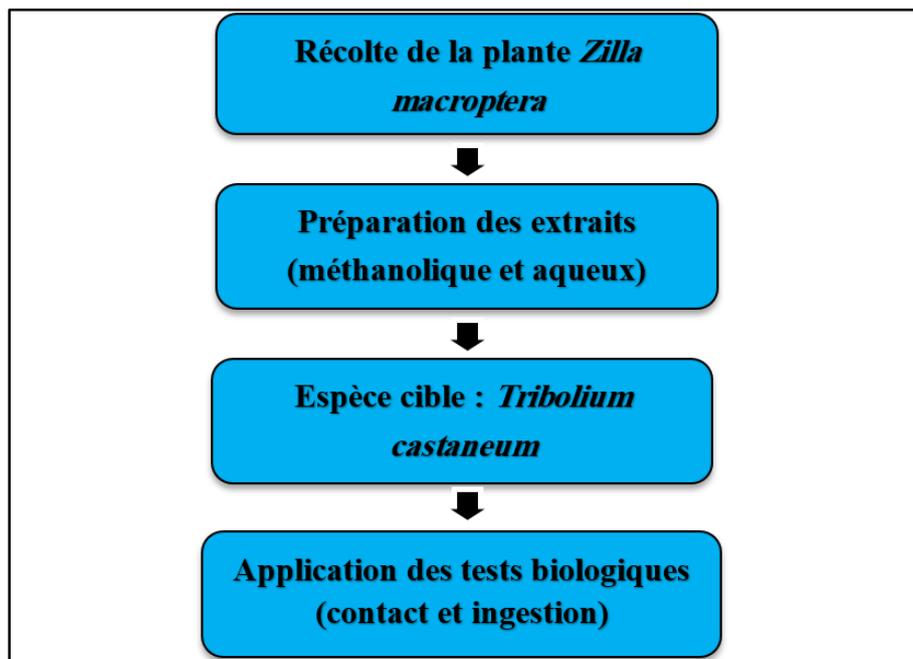


Figure 8 : Schéma de démarche méthodologique

2. Zone de récolte – Oued Ed-Derine (Metlili, Ghardaïa)

La commune de Metlili, située à environ 45 km au sud de la wilaya de Ghardaïa, couvre une superficie approximative de 7300 km² et abrite une population estimée à 43 030 habitants (ONS, 2008).

Le climat de Metlili est de type saharien hyperaride, marqué par des températures estivales très élevées, souvent supérieures à 40 °C en juillet, et par des hivers doux (WeatherSpark, 2024).

Hydrogéologiquement, la région repose sur deux nappes principales : une nappe phréatique développée dans les formations calcaires du Turonien, située entre 25 et 40 mètres de profondeur, et une nappe profonde du Continental Intercalaire (Albien) captée entre 275 et 500 mètres (Bouselsal et Gouaidia, 2021).

Sur le plan hydrochimique, les eaux souterraines de Metlili révèlent une minéralisation modérée et appartiennent principalement aux faciès sulfaté-calcique et chloruré-sodique. Une part importante des échantillons analysés présente une qualité moyenne à médiocre pour l'irrigation, nécessitant des précautions d'usage (Bouselsal et Gouaidia, 2021).

La collecte de *Zilla macroptera* a été effectuée dans la région d'Oued Ed-Derine, située au sud-est de la commune de Metlili, à environ 15 km du centre urbain, dans la wilaya de Ghardaïa (Sud algérien) (Fig. 9). Cette zone, localisée approximativement autour de 32°20'32"N de latitude et 3°46'31"E de longitude, s'inscrit dans un environnement saharien typique, dominé par un climat aride avec des températures estivales élevées et des précipitations annuelles faibles. Le site présente un relief légèrement ondulé, composé de regs et de zones sablo-limoneuses, offrant un habitat favorable aux espèces xérophiles. La végétation est clairsemée, composée majoritairement de plantes adaptées à la sécheresse, comme *Zilla macroptera*, qui s'y développe naturellement.



Figure 9: Vue satellite de la région de Oued Drine -Metlili, Ghardaïa- (Google earth)

3. Matériel utilisé

3.1. Équipements de laboratoire

- Évaporateur rotatif (température d'évaporation réglée à 45 °C)
- Incubateur orbital (agitateur)
- Pompe à vide avec entonnoir Büchner
- Hotte de filtration
- Etuve
- Balance de précision
- Broyeur électrique

3.1.1. Produits chimiques :

- Méthanol pur ($\geq 99,8$ %)
- Eau distillée
- DMSO.

3.2. Préparation du matériel végétal

3.2.1. Récolte de la plante

La plante *Zilla macroptera* a été récoltée par Hammouda Abderrahmane au stade de floraison, le 20 décembre 2024, dans la région d'Oued Drine (wilaya de Ghardaïa, Algérie). Le matériel végétal utilisé est constitué des parties aériennes de la plante, sélectionnées pour leur richesse potentielle en métabolites secondaires.

3.2.2. Séchage des plantes

Après la récolte, les échantillons ont été séchés naturellement à l'ombre, dans un endroit sec, bien ventilé et à l'abri de la lumière directe. Cette méthode permet de préserver l'intégrité des composés bioactifs, notamment ceux sensibles à la chaleur et à l'oxydation.

3.2.3. Broyage des plantes

Une fois totalement secs, les échantillons ont été broyés finement au laboratoire (Laboratoire N°1), à l'aide d'un moulin électrique, jusqu'à obtention d'une poudre homogène. Cette poudre a été ensuite conservée dans des flacons hermétiques à température ambiante, en vue des étapes d'extraction. Le broyage a été effectué le 16 février 2025.

3.3. Préparation des extraits végétaux

Pour l'extraction, 50 g de poudre de *Zilla macroptera* ont été mélangés séparément à 250 ml d'eau distillée (extraction aqueuse) et à 250 ml de méthanol à 80 %, préparé à partir de 200 ml de méthanol pur et 50 ml d'eau distillée (extraction méthanolique). Cette étape visait à solubiliser les composés bioactifs de la plante dans des solvants polaires adaptés (**Rouari, 2022**).

Les mélanges obtenus ont ensuite été placés dans une incubatrice agitatrice pendant 24 heures à température ambiante. Cette agitation prolongée permet d'optimiser le transfert des métabolites secondaires de la matière végétale vers le solvant adapté (**Rouari, 2022**).

Après incubation, une première filtration grossière a été réalisée à l'aide d'un tamis afin d'éliminer les particules solides de grande taille et de séparer le liquide contenant les extraits adaptés (**Rouari, 2022**).

Les solutions filtrées ont ensuite été soumises à une filtration sous vide à l'aide d'une pompe de filtration connectée à un entonnoir Büchner. Ce procédé a permis d'accélérer la séparation solide/liquide et d'obtenir un extrait limpide, débarrassé des particules fines adaptés (**Rouari, 2022**).

Les extraits ainsi obtenus ont été concentrés à l'aide d'un évaporateur rotatif à 45 °C sous pression réduite. Cette opération visait à éliminer le solvant tout en préservant l'intégrité des composés thermosensibles présents dans les extraits (Fig.10) adaptés (**Rouari, 2022**).

Les extraits bruts concentrés ont été transférés dans des boîtes de Pétri en verre, séchés à l'abri de la lumière, puis raclés et conditionnés dans des flacons hermétiques en vue de leur conservation. Cette étape finale a pour but de garantir la stabilité chimique des extraits jusqu'à leur utilisation dans les essais biologiques adaptés (**Rouari, 2022**).

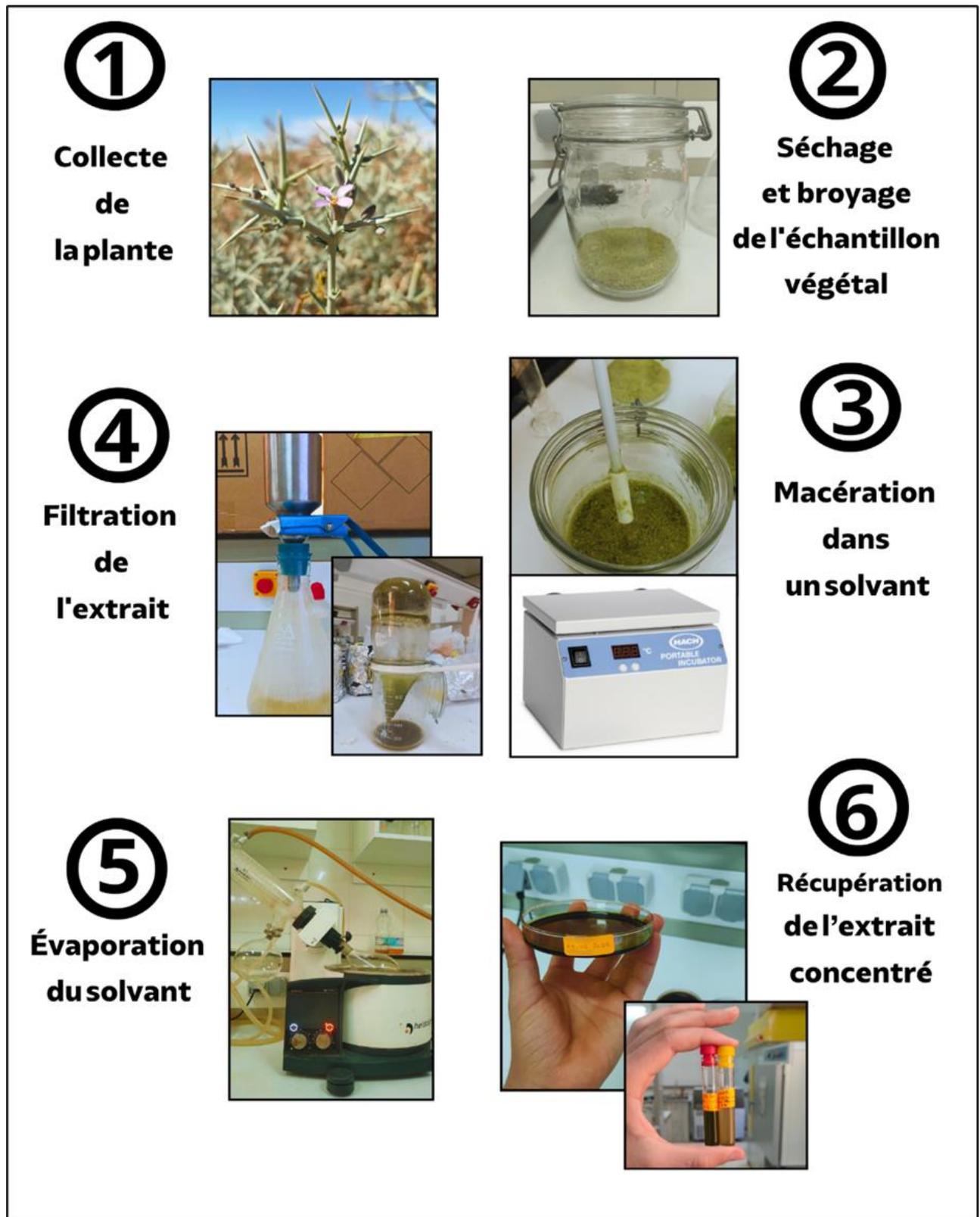


Figure 10: Protocole d'extraction par macération à froid

3.4. Calcul du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction a été calculé afin d'évaluer la quantité d'extrait brut obtenue par rapport à la masse initiale de matière végétale utilisée. Le pourcentage de rendement a été déterminé à l'aide de la formule suivante (Penchev, 2010) :

$$R(\%) = \frac{M}{M_0} \times 100$$

- **R (%)** : Rendement exprimé en pourcentage.
- **M** : Masse de l'extrait sec brut (en grammes).
- **M₀** : Masse de la poudre végétale utilisée pour l'extraction (en grammes).

3.5. Méthodes d'application

Selon Kemassi *et al.* (2019) et avec des modifications, deux méthodes ont été employées pour évaluer l'activité insecticide des extraits de *Zilla macroptera* sur *Tribolium castaneum* : l'application par contact et par ingestion

Dans la méthode par contact, 1 mL de chaque extrait, préparé à trois concentrations (20, 40 et 60 mg/mL), a été réparti uniformément sur un papier filtre placé dans une boîte de Pétri. Vingt adultes de *Tribolium castaneum* ont été introduits dans chaque boîte, avec trois répétitions par traitement (Fig.11).

Pour la méthode par ingestion, 10 g de poudre d'avoine ont été imprégnés avec 1 mL de chaque extrait aux mêmes concentrations, puis séchés à température ambiante. Cette préparation alimentaire a ensuite été placée dans des boîtes de Pétri contenant vingt adultes, avec trois répétitions pour chaque dose (Fig. 12).

Un groupe témoin a été mis en place pour chaque méthode d'application. Pour cela, les insectes ont été exposés à une solution contenant uniquement du DMSO à 5 %, sans extrait végétal. Ce témoin permet de comparer les effets observés avec ceux des traitements contenant les extraits, tout en prenant en compte l'impact éventuel du solvant sur la mortalité des insectes.

La mortalité a été suivie selon un protocole précis : le premier jour, des enregistrements ont été réalisés à plusieurs intervalles (1 h, 2 h, 4 h, etc.), puis, du deuxième au dixième jour, une

observation quotidienne a été effectuée. Ce suivi a permis d'évaluer l'évolution temporelle de l'effet insecticide des extraits.



Figure 11: Boîte de Pétri – Application par contact



Figure 12: Boîte de Pétri – Application par ingestion

3.6. Paramètres de toxicité analysés

Dans cette étude, trois indicateurs ont été retenus pour évaluer la toxicité des extraits testés : le taux de mortalité, les doses létales, ainsi que les temps létaux.

3.6.1. Taux de mortalité

Le pourcentage de mortalité observée a été calculé en fonction du nombre total de individus traités, selon la formule suivante :

Mortalité observée (%) = [(Nombre de larves mortes après traitement) / (Nombre total de individus)] × 100

Cependant, pour tenir compte de la mortalité enregistrée dans les lots témoins (**Abbott, 1925**), les résultats ont été ajustés à l'aide de la formule de correction suivante :

Mortalité corrigée (%) = [(Mortalité observée dans le lot traité – Mortalité dans le témoin) / (100 – Mortalité dans le témoin)] × 100

Cette correction permet d'obtenir une estimation plus fiable de la toxicité induite par le traitement.

3.6.2. Doses létales (DL₂₅, DL₅₀ et DL₉₀)

Les doses létales 20, 50 et 90 correspondent aux concentrations entraînant respectivement 25%, 50 % et 90 % de mortalité des individus. Pour les déterminer, les taux de mortalité corrigés ont été convertis en valeurs probit. Les concentrations des extraits ont été transformées en logarithmes décimaux. Ces données ont ensuite permis d'établir des équations de régression linéaire entre les valeurs probit et les log-concentrations (**Finney, 1952**).

3.6.3. Temps létaux (TL₂₅, TL₅₀ et TL₉₀)

Les temps létaux représentent les durées d'exposition nécessaires pour atteindre respectivement 25%, 50 % et 90 % de mortalité. La détermination de ces temps s'appuie sur une régression linéaire entre les probits de mortalité corrigée et les logarithmes des durées d'exposition. Cette approche permet de comparer la rapidité d'action entre différents extraits selon des normes établies (**Finney, 1952**).

3.6.4. Traitement des données

Le traitement statistique des résultats relatifs à la mortalité et aux autres paramètres de toxicité a été effectué à l'aide du logiciel Microsoft Excel (version 2010). Les différences significatives entre les effets des extraits végétaux ont été évaluées avec le logiciel STATISTICA (version 10), par une analyse de variance (ANOVA) (**Fisher, 1918**), suivie du test HSD de Tukey. La normalité des données a été vérifiée au préalable, avec un seuil de signification fixé à $p < 0,05$ (**Tukey, 1949**).

CHAPITRE III :

Résultats et discussion

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Cette section présente et analyse les résultats obtenus lors de l'évaluation de l'activité insecticide des extraits aqueux et méthanolique de *Zilla macroptera* sur les adultes de *Tribolium castaneum*. Les données recueillies ont permis de mesurer l'effet toxique des deux extraits selon deux modalités d'exposition : par contact et par ingestion, à différentes concentrations (20, 40 et 60 mg/ml).

L'analyse des résultats repose à la fois sur l'évolution du taux de mortalité en fonction du temps et sur la comparaison entre les différentes doses appliquées. Le témoin traité avec du DMSO seul a permis d'isoler l'effet du solvant. La discussion qui suit vise à interpréter ces résultats à la lumière des données bibliographiques disponibles, en mettant en évidence les tendances observées, la reproductibilité des effets, ainsi que le potentiel biologique de cette espèce végétale dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées.

1. Rendement d'extraction

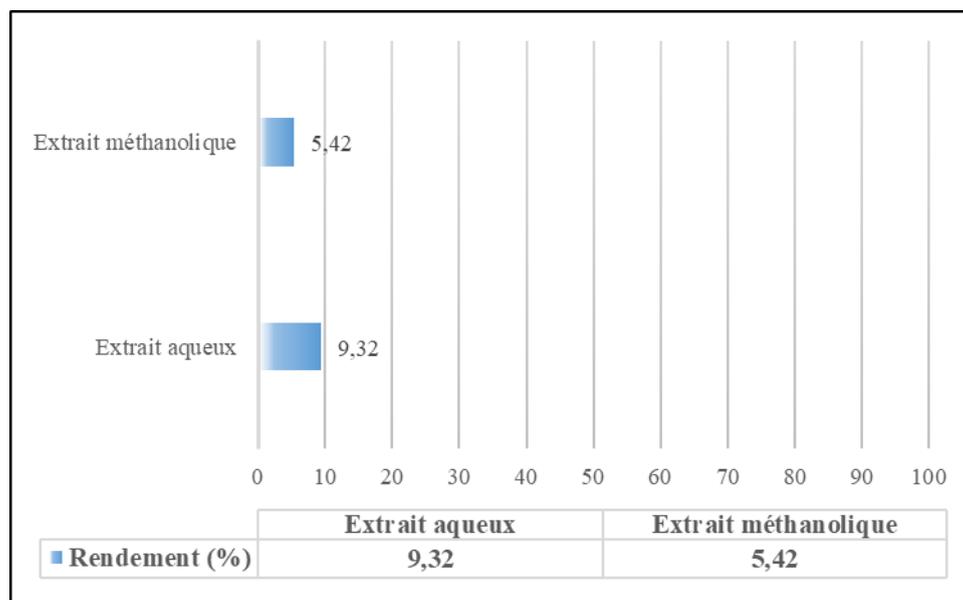


Figure 13: Rendement d'extraction de différents extraits organiques

Le rendement d'extraction aqueux de *Zilla macroptera* obtenu dans cette étude est de 9,32 %, tandis que celui de l'extrait méthanolique est de 5,42 % (Fig.15). Ces résultats sont inférieurs à ceux rapportés par **Rouari (2022)**, qui a obtenu un rendement méthanolique de 12,67 % pour la même espèce. Cette différence peut être attribuée à plusieurs paramètres

expérimentaux tels que la technique utilisée, la température, la durée d'extraction, ou encore le rapport solvant/matière végétale (Hmiri *et al.*, 2011 ; Moghaddam et Mehdizadeh, 2017).

La polarité du solvant joue un rôle important dans l'efficacité de l'extraction. Plusieurs études ont montré que les solvants hydro-alcooliques (éthanol ou méthanol en solution aqueuse) permettent d'obtenir des rendements plus élevés que les solvants organiques purs, en raison de leur polarité intermédiaire (Vazquez *et al.*, 2008 ; Mussatto *et al.*, 2011 ; Franco *et al.*, 2008 ; Kherraf, 2018). Chaouche (2014) explique que l'eau contribue à déstabiliser les parois cellulaires, facilitant ainsi la libération des métabolites secondaires. L'eau favorise l'extraction des composés hydrophiles (polyphénols, flavonoïdes), tandis que le méthanol cible mieux les composés semi-polaires (Bouyahya *et al.*, 2017).

D'autres facteurs, comme l'origine géographique de la plante, les conditions de séchage et de stockage, influencent également le rendement (Talibi *et al.*, 2015). Un faible rendement n'implique pas nécessairement une faible efficacité biologique, certains métabolites étant actifs à de très faibles concentrations (Djilani et Dicko, 2012).

Tableau 4: Caractéristiques organoleptiques des extraits obtenues

Extrait	Aspect	Couleur	L'odeur
Aqueux	Pâteux	Maron foncé	Désagréable
Méthanolique	Pâteux	Maron clair	Désagréable

Le tableau précédent présente les caractéristiques organoleptiques des extraits de *Zilla macroptera* obtenus par macération avec différents solvants organiques. Tous les extraits ont une consistance pâteuse, mais la couleur varie en fonction du solvant utilisé (Azwanida, 2015).

2. Toxicité

Une étude de la toxicité par contact et ingestion des extraits de la plante *Zilla macroptera* a été réalisée contre l'insecte *Tribolium castaneum*. Les résultats ont montré une variation de la réponse en fonction du mode d'application, qu'il s'agisse d'un contact direct ou d'une administration par ingestion.

La figure 16 montre une nette augmentation de la mortalité de *Tribolium castaneum* en fonction du temps d'exposition à l'extrait aqueux de *Zilla macroptera*, appliqué par contact. À partir de 48h, la mortalité augmente progressivement avec les trois concentrations testées. La concentration de 60 mg/ml atteint 100 % de mortalité dès le 6^e jour, tandis que celle de 40 mg/ml y parvient au 8^e jour. La concentration de 20 mg/ml affiche une montée plus lente, atteignant 100 % vers le 9^e jour. Ces résultats montrent une efficacité clairement dose dépendante et un potentiel insecticide significatif de l'extrait aqueux lorsqu'il est appliqué par voie de contact.

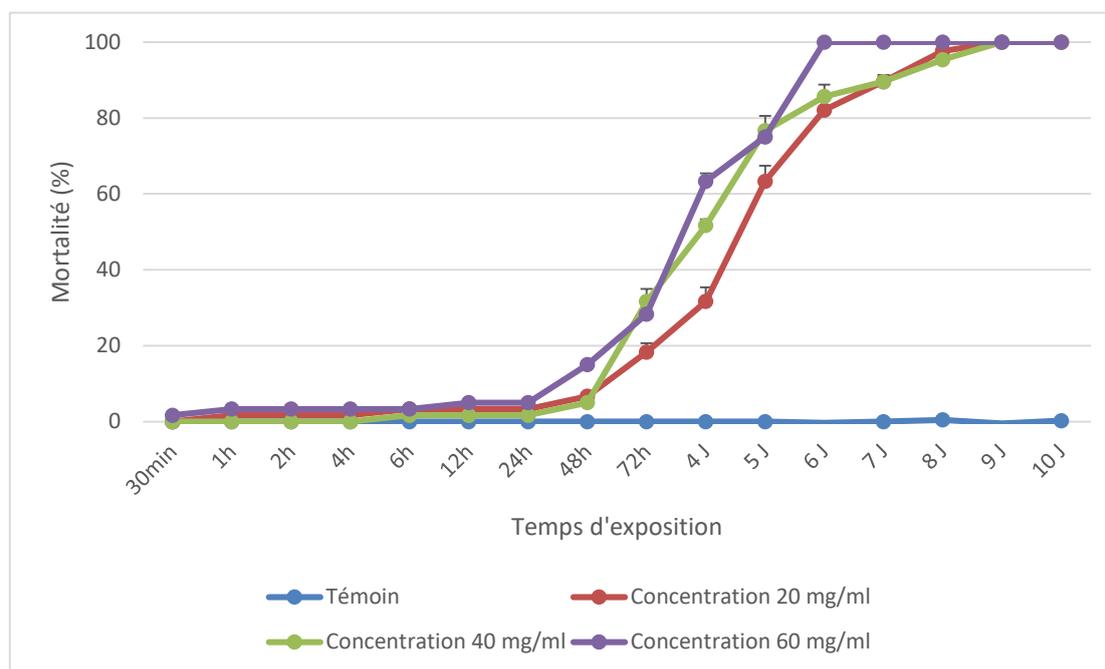


Figure 14: Toxicité de l'extrait aqueux de la plante *Zilla macroptera* (par contact)

La figure 17 illustre la mortalité croissante de *Tribolium castaneum* exposé par contact à l'extrait méthanolique de *Zilla macroptera*. La concentration de 40 mg/ml se distingue par une montée rapide, atteignant 100 % dès le 6^e jour. La concentration de 60 mg/ml suit une dynamique légèrement plus lente, atteignant le même niveau de mortalité au 7^e jour. La concentration de 20 mg/ml montre une progression plus modérée, atteignant 100 % à partir du 10^e jour. Bien que les trois concentrations finissent par atteindre la mortalité totale, les écarts temporels entre elles restent visibles. Ces données traduisent une activité insecticide marquée de l'extrait méthanolique, avec une efficacité qui se manifeste rapidement à des concentrations intermédiaires.

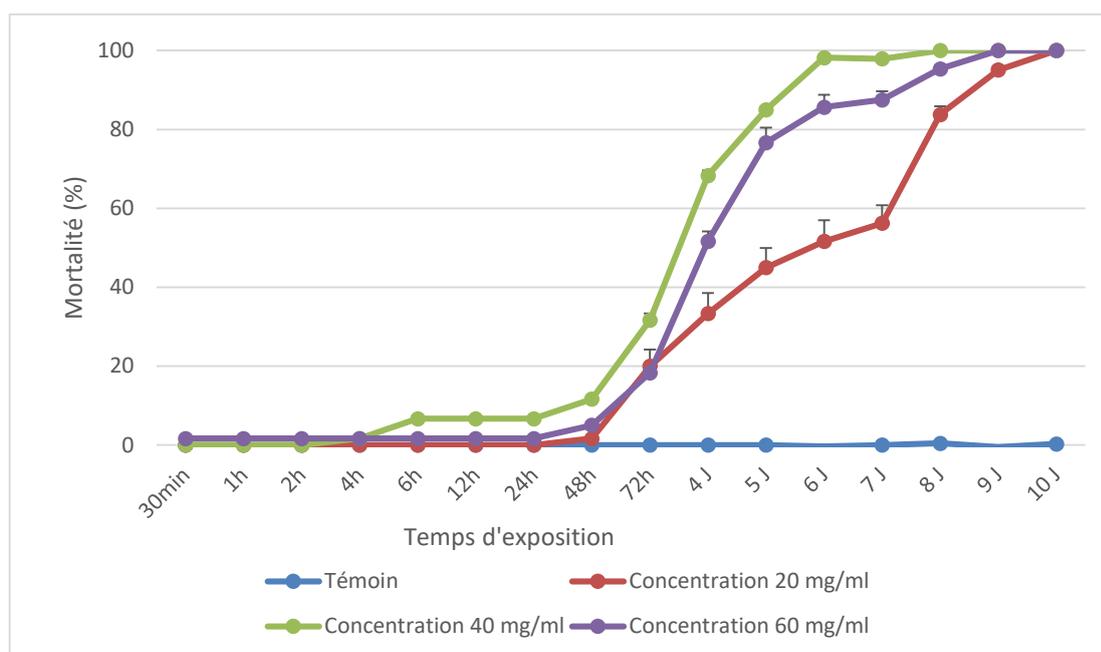


Figure 15: Toxicité de l'extrait méthanolique de la plante *Zilla macroptera* (Par contact)

La comparaison entre les deux extraits appliqués par contact montre une efficacité insecticide élevée pour les deux, avec une mortalité totale atteinte pour toutes les concentrations. Cependant, des différences de dynamique apparaissent. L'extrait aqueux atteint 100 % de mortalité plus rapidement avec la concentration la plus élevée (60 mg/ml), dès le 6^e jour, tandis que l'extrait méthanolique montre une efficacité plus rapide à la concentration intermédiaire (40 mg/ml). Les deux extraits présentent donc un potentiel toxique important, mais leur vitesse d'action varie selon le solvant et la concentration. Ces résultats suggèrent que les deux types d'extraits sont efficaces par contact, avec des nuances dans la rapidité de leur effet.

La figure 18 met en évidence une activité insecticide globalement faible de l'extrait aqueux de *Zilla macroptera* administré par ingestion chez *Tribolium castaneum*. Durant les cinq premiers jours, les taux de mortalité restent quasi nuls pour toutes les concentrations testées. Ce n'est qu'à partir du 8^e jour qu'une légère progression est observée. Les concentrations de 40 mg/ml et 60 mg/ml atteignent des taux de mortalité avoisinant les 20 % au 10^e jour, sans qu'une différence marquée soit constatée entre elles. Le traitement à 20 mg/ml, quant à lui, reste très peu efficace, avec une mortalité quasi inexistante. L'ensemble des résultats indique une efficacité réduite de l'extrait aqueux par voie orale, et une réponse biologique peu influencée par l'augmentation de la dose.

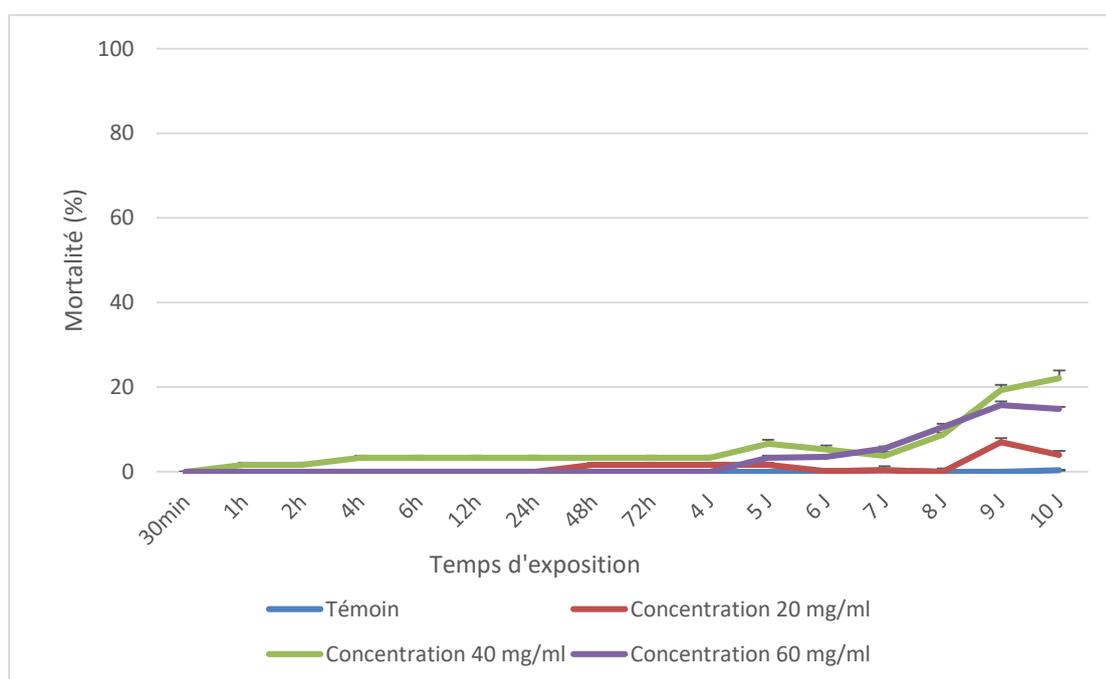


Figure 16: Toxicité de l'extrait aqueux de la plante *Zilla macroptera* (par ingestion)

La figure 19 montre que l'ingestion de l'extrait méthanolique de *Zilla macroptera* entraîne une mortalité très faible chez *Tribolium castaneum*, quelle que soit la concentration appliquée. Après 10 jours d'exposition, aucune des concentrations (20, 40 ou 60 mg/ml) n'a permis d'atteindre un taux de mortalité supérieur à 20 %. De plus, les écarts entre les courbes sont minimes, ce qui suggère une absence de réponse dose-dépendante. Cette efficacité très limitée laisse penser que l'extrait méthanolique, lorsqu'il est administré par voie orale, ne parvient pas à exercer un effet toxique significatif sur l'insecte cible.

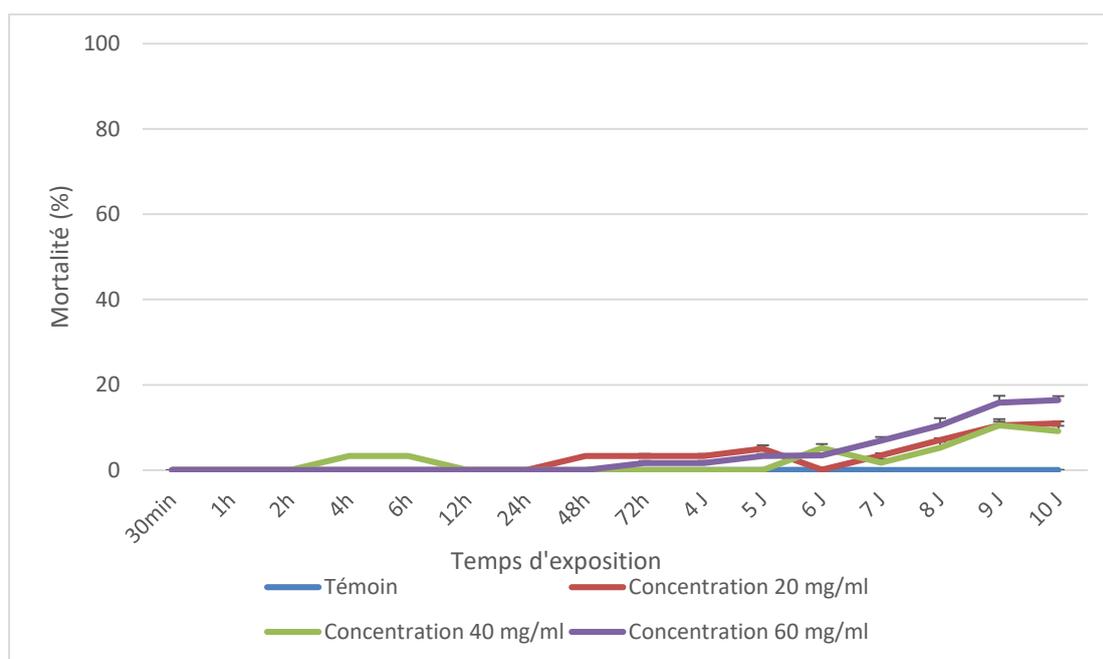


Figure 17: Toxicité de l'extrait méthanolique de la plante *Zilla macroptera* (Par ingestion)

L'évaluation de la toxicité par ingestion montre que les deux extraits de *Zilla macroptera*, aqueux et méthanolique, présentent une efficacité insecticide très limitée contre *Tribolium castaneum*. Après 10 jours d'exposition, les taux de mortalité restent inférieurs à 20 % pour toutes les concentrations testées. Les courbes des deux extraits sont proches, sans différence marquée entre les concentrations de 40 et 60 mg/ml, ce qui indique une réponse faiblement dose-dépendante. Ces résultats traduisent une absence d'avantage notable entre les deux solvants dans le cadre d'une application par voie orale, et suggèrent que cette voie d'administration est peu adaptée à l'expression du potentiel insecticide de la plante.

La comparaison entre les deux modes d'application met en évidence une différence nette d'efficacité. L'application par contact a permis d'atteindre des taux de mortalité élevés, allant jusqu'à 100 % pour toutes les concentrations, aussi bien avec l'extrait aqueux qu'avec le méthanolique. En revanche, l'application par ingestion n'a entraîné qu'une mortalité faible, inférieure à 20 %, et ce, sans variations significatives entre les concentrations ni entre les deux types d'extraits. Ces observations indiquent que la voie de contact est bien plus efficace pour exploiter le potentiel insecticide des extraits de *Zilla macroptera*, tandis que la voie orale limite fortement leur action toxique.

Les résultats de notre étude mettent en évidence une efficacité globalement supérieure de l'extrait aqueux de *Zilla macroptera* contre les adultes de *Tribolium castaneum*, notamment à long terme et à fortes concentrations. Bien que l'extrait méthanolique ait montré une toxicité initiale non négligeable, c'est l'extrait aqueux qui a affiché les meilleures performances en termes de doses létales et de vitesse d'action, en particulier lorsqu'il est appliqué par contact. Cette supériorité pourrait s'expliquer par une meilleure synergie entre les composés hydrosolubles et les structures physiologiques de l'insecte.

Ce constat est renforcé par les travaux de **Kumar et al. (2024)**, qui ont évalué l'activité adulticide de l'extrait éthanolique de *Piper longum* et ont observé une mortalité de 100 % à 40 mg/L après 96 heures. Les auteurs attribuent cette toxicité à la présence de composés tels que les acides gras identifiés par GC-MS. Leur étude souligne également l'importance du choix du solvant dans l'extraction des principes actifs.

Ainsi, l'utilisation de solvants organiques comme le méthanol ou l'éthanol s'avère essentielle pour maximiser l'efficacité insecticide des extraits végétaux. Cette stratégie s'aligne avec les objectifs d'une lutte biologique durable, basée sur des produits d'origine naturelle, respectueux de l'environnement et potentiellement applicables dans la conservation des denrées alimentaires stockées.

Selon Fekroune (2019), l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* appliquée par contact a provoqué une mortalité élevée chez *Tribolium castaneum*, atteignant jusqu'à 82 % à la dose la plus forte. En revanche, la même huile testée par ingestion n'a pas dépassé 5 % de mortalité après 72 heures. Cette différence marquée entre les deux modes d'exposition s'explique par une meilleure efficacité cuticulaire des composés actifs, probablement favorisée par leur nature lipophile, alors que leur passage par le tube digestif semble réduire leur activité toxique. Ces résultats confirment que, dans le cadre d'une lutte biologique efficace, l'application par contact demeure la voie la plus appropriée pour exploiter le potentiel insecticide des huiles essentielles.

3. Efficacité de l'activité insecticide

Tableau 5: Valeurs de doses létales d'extrait aqueux appliqué par contact

Temps d'exposition	Equation	R ²	DL ₂₅ [mg/ml]	DL ₅₀ [mg/ml]	DL ₉₀ [mg/ml]
1 j	$y = 0.8205x + 2.3254$	0.8294	274.3275	1818.5267	66402.0667
2 j	$y = 1.4488x + 2.0657$	0.9919	36.3177	106.0062	813.2078
3 j	$y = 1.1971x + 2.9572$	0.6084	13.9133	50.8695	598.9336
4 j	$y = 2.6762x + 1.8695$	0.995	8.2776	14.7828	44.5444
5 j	$y = 1,2132x + 4,1755$	0.7042	1.3306	4.7820	54.4900
6 j	$y = 5.335x + 0.3528$	0.7416	5.5557	7.4315	12.9234
7 j	$y = 4.1344x + 1.9341$	0.6611	3.7891	5.5152	11.2626
8 j	$y = 1.5857x + 5.2664$	0.243	0.2552	0.6792	4.3699
9 j	/	/	/	/	/
10 j	/	/	/	/	/

Tableau 6 : Valeurs de doses létales d'extrait méthanolique appliqué par contact

Temps d'exposition	Equation	R ²	DL ₂₅ [mg/ml]	DL ₅₀ [mg/ml]	DL ₉₀ [mg/ml]
1 j	$y = 0.8205x + 2.3254$	0.8294	274.3275	1818.5267	66402.0667
2 j	$y = 1.4488x + 2.0657$	0.9919	36.3177	106.0062	813.2078
3 j	$y = 1.1971x + 2.9572$	0.6084	13.9133	50.8695	598.9336
4 j	$y = 2.6762x + 1.8695$	0.995	8.2776	14.7828	44.5444
5 j	$y = 1,2132x + 4,1755$	0.7042	1.3306	4.7820	54.4900
6 j	$y = 3.944x + 1.4901$	0.3543	5.2365	7.7613	16.4053
7 j	$y = 3.8877x + 1.6207$	0.3811	4.9643	7.3999	15.8120
8 j	$y = 2.2633x + 3.8048$	0.8294	1.6994	3.3735	12.4311
9 j	$y = 3.3689x + 3.3864$	0.8294	1.9007	3.0128	7.2362
10 j	/	/	/	/	/

L'analyse des doses létales des extraits aqueux et méthanolique de *Zilla macroptera* appliqués par contact révèle une relation claire entre l'augmentation du temps d'exposition, la concentration appliquée et l'efficacité insecticide. De manière générale, les valeurs de DL₂₅, DL₅₀ et DL₉₀ diminuent progressivement au fil du temps, indiquant un effet toxique cumulatif. Chaque extrait présente toutefois un profil d'action propre.

Pour l'extrait aqueux, les concentrations testées deviennent significativement efficaces à partir du 5^e jour. Le meilleur effet est observé au 8^e jour, où la DL₅₀ chute à 0,6792 mg/ml, accompagnée d'une DL₉₀ de 4,3699 mg/ml, ce qui témoigne d'une forte toxicité à faible dose.

En ce qui concerne l'extrait méthanolique, bien qu'il montre une certaine efficacité dès les premiers jours, c'est également au 8^e jour que son effet le plus marqué est enregistré, avec une DL₅₀ de 3,3735 mg/ml et une DL₉₀ de 12,4311 mg/ml. Ces valeurs, bien que significatives, restent supérieures à celles obtenues avec l'extrait aqueux.

Les deux extraits manifestent une efficacité croissante dans le temps, mais c'est le 60 mg/ml de l'extrait aqueux qui semble être le plus performant à long terme, atteignant les niveaux de toxicité les plus élevés à faible dose.

Les résultats obtenus par *Euphorbia guyoniana* rejoignent, dans une certaine mesure, ceux observés dans notre étude. L'extrait aqueux de la partie aérienne a induit une mortalité notable chez *Tribolium castaneum*, avec une DL₅₀ de 0,0186 mg/ml et une DL₉₀ de 0,0394 mg/ml (**Kemassi et al., 2019**). De même, **Al-Ansi et al. (2024)** ont rapporté une mortalité de 100 % après 48 h d'exposition à 40 % d'extrait méthanolique de *Nerium oleander*, confirmant une relation dose-réponse. Bien que les unités de concentration diffèrent, ces études confirment globalement l'efficacité potentielle des extraits végétaux contre *Tribolium castaneum* et l'importance d'une dose suffisante pour induire une mortalité significative.

Les courbes de régression linéaire établies pour les extraits aqueux et méthanoliques de *Zilla macroptera*, appliqués par contact, sont représentées dans les figures suivantes.

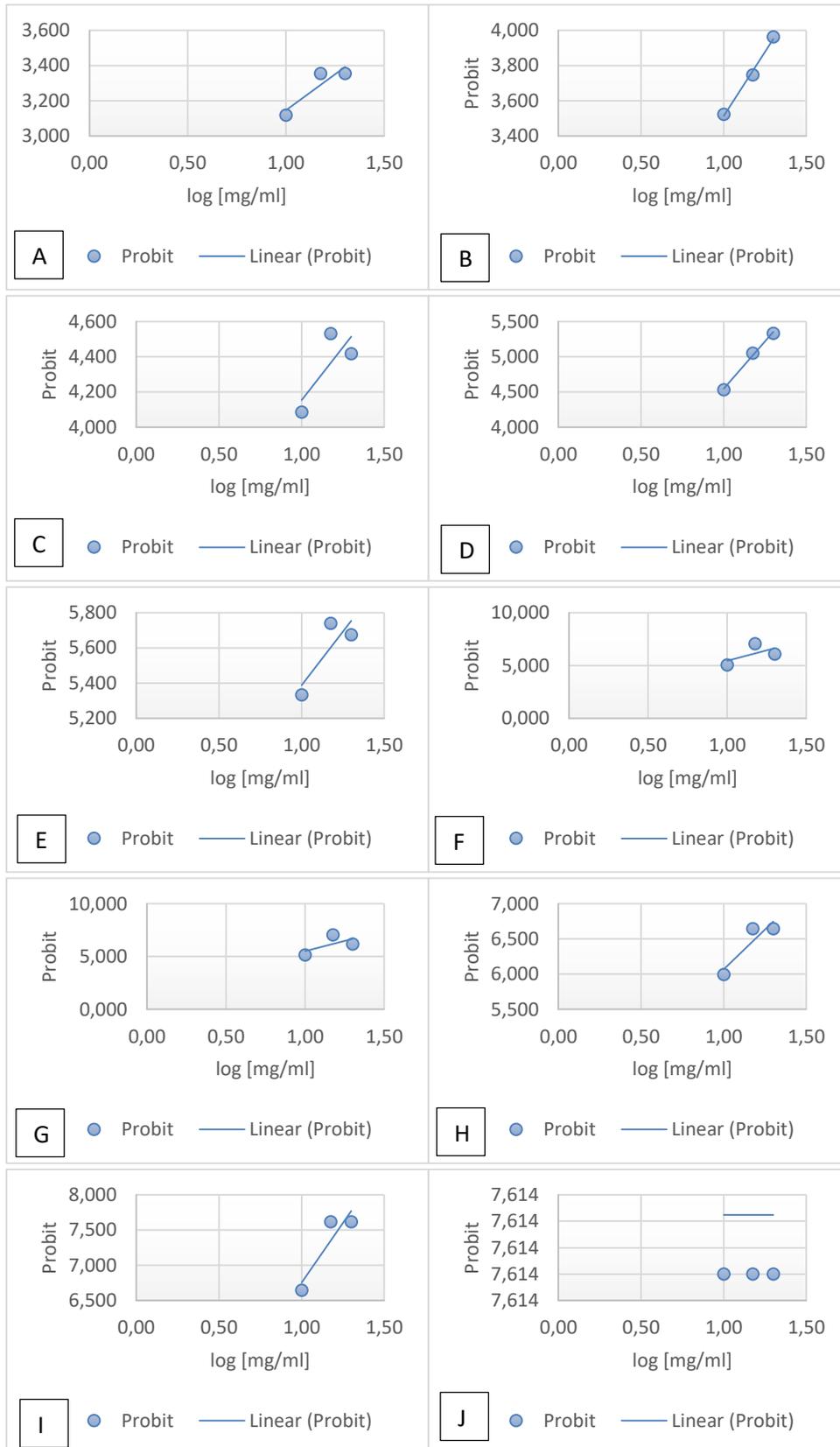


Figure 18 : Corrélation établie pour l'extrait aqueux appliqué par contact. (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j).

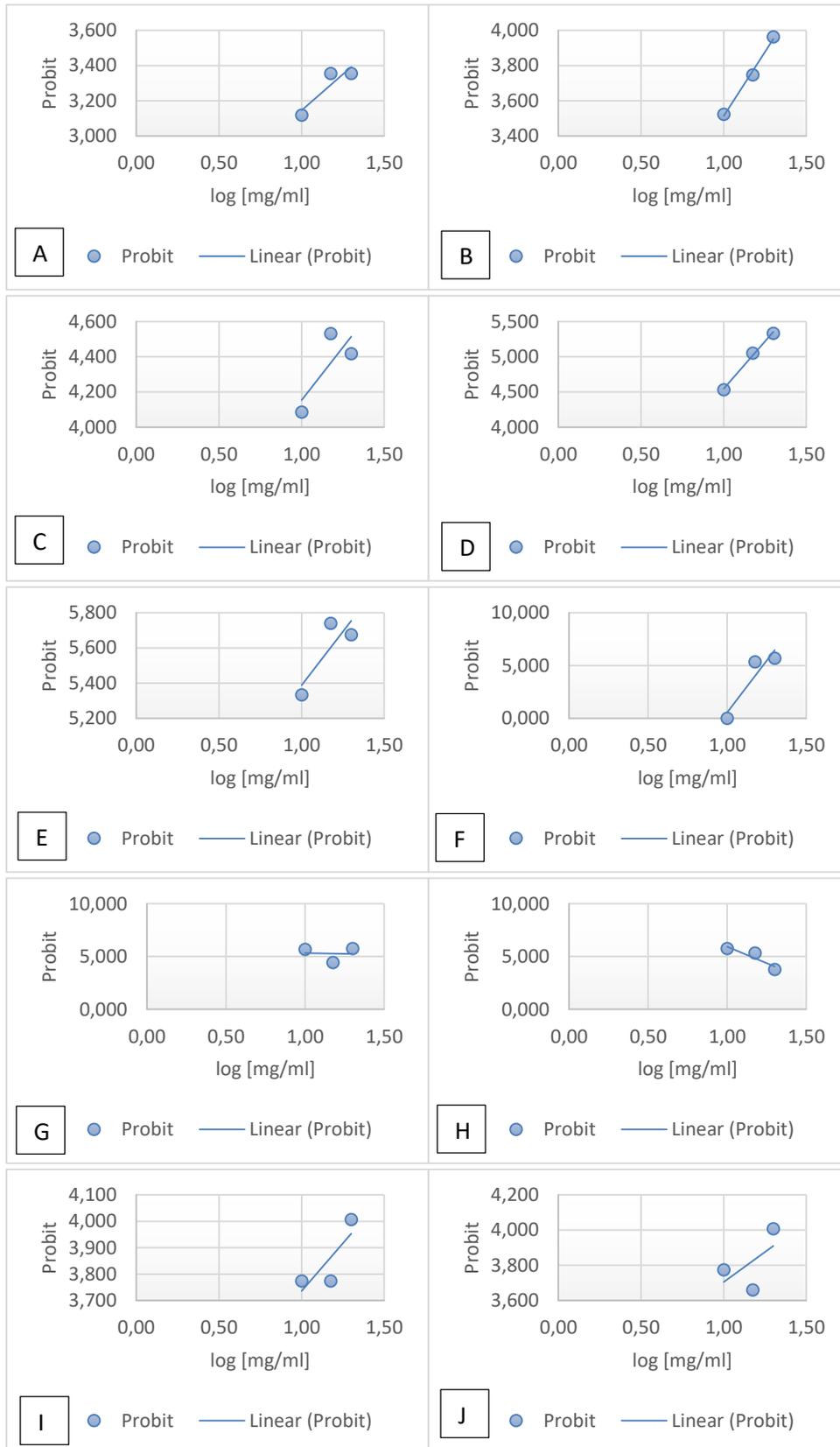


Figure 19 : Corrélation établi pour l'extrait méthanolique appliqué par contact (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j).

Tableau 7: Valeurs de doses létales d'extrait aqueux appliqué par ingestion

Temps d'exposition	Equation	R ²	DL ₂₅ [mg/ml]	DL ₅₀ [mg/ml]	DL ₉₀ [mg/ml]
1 j	$y = 1.1625x - 0.3078$	0.0095	9684.217 1	36800.139 3	466278.2537
2 j	$y = -9.0796x + 12.545$	0.6136	8.0393	6.7762	4.8954
3 j	$y = -9.0796x + 12.545$	0.6136	8.0393	6.7762	4.8954
4 j	$y = -9.0796x + 12.545$	0.6136	8.0393	6.7762	4.8954
5 j	$y = 1.2132x + 4.1755$	0.7042	1.3306	4.7820	54.4900
6 j	$y = 11.335x - 10.936$	0.808	22.2049	25.4631	33.0379
7 j	$y = 11.335x - 10.936$	0.808	22.2049	25.4631	33.0379
8 j	$y = 11.335x - 10.936$	0.808	22.2049	25.4631	33.0379
9 j	$y = -5.9818x + 11.555$	0.872	16.1621	12.4688	7.6121
10 j	$y = 2.5842x + 0.8185$	0.5954	22.7660	41.5052	130.0750

Tableau 8: Valeurs de doses létales d'extrait méthanolique appliqué par ingestion

Temps d'exposition	Equation	R ²	DL ₂₅ [mg/ml]	DL ₅₀ [mg/ml]	DL ₉₀ [mg/ml]
1 j	$y = 0.8205x + 2.3254$	0.8294	274.3275	1818.5267	66402.0667
2 j	$y = 1.4488x + 2.0657$	0.9919	36.3177	106.0062	813.2078
3 j	$y = 1.1971x + 2.9572$	0.6084	13.9133	50.8695	598.9336
4 j	$y = 2.6762x + 1.8695$	0.995	8.2776	14.7828	44.5444
5 j	$y = 1,2132x + 4,1755$	0.7042	1.3306	4.7820	54.4900
6 j	$y = 11.335x - 10.936$	0.808	22.2049	25.4631	33.0379
7 j	$y = 11.625x - 11.272$	0.8498	21.9666	25.1039	32.3610
8 j	$y = 13.075x - 12.677$	0.8489	19.9720	22.4890	28.1851
9 j	$y = -5.9818x + 11.555$	0.872	16.1621	12.4688	7.6121
10 j	$y = 2.5842x + 0.8185$	0.5954	22.7660	41.5052	130.0750

L'analyse des doses létales par ingestion révèle une efficacité très limitée des extraits de *Zilla macroptera*, quel que soit le solvant utilisé (tableau 7 et 8). Les valeurs de DL_{50} restent élevées tout au long des dix jours d'exposition, dépassant 12 mg/ml au meilleur stade, ce qui indique une faible toxicité même à des doses relativement importantes. Dans les deux cas, les résultats confirment que l'administration par voie orale n'est pas favorable à l'expression du potentiel insecticide de ces extraits.

La comparaison entre les deux modes d'application révèle une différence nette d'efficacité des extraits de *Zilla macroptera* contre *Tribolium castaneum*. Par contact, les extraits aqueux et méthanolique ont montré une toxicité marquée, traduisant une bonne pénétration cuticulaire et une action directe sur l'insecte. En revanche, l'administration par ingestion n'a entraîné qu'une mortalité très faible, même à des doses élevées, avec des DL_{50} supérieures à 12 mg/ml dans les meilleurs cas. Cette absence d'effet notable par voie orale suggère que les composés actifs présents dans les extraits ne sont pas capables d'agir efficacement via le système digestif de l'insecte, soit en raison d'une mauvaise absorption intestinale, soit d'une dégradation enzymatique avant d'atteindre leur cible.

Les courbes de régression linéaire établies pour les extraits aqueux et méthanoliques de *Zilla macroptera*, appliqués par ingestion, sont représentées dans les figures suivantes.

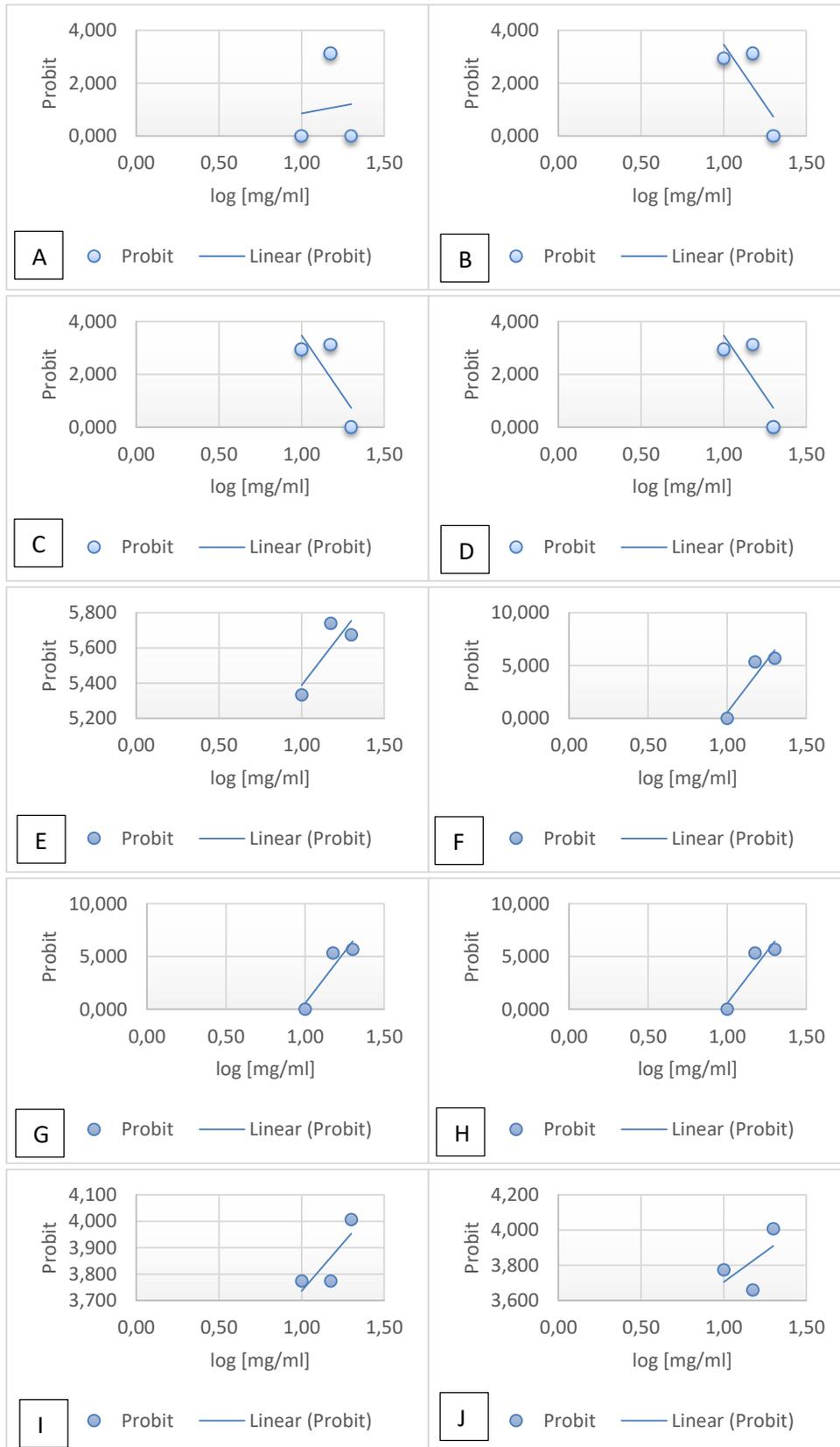


Figure 20 : Corrélation établi pour l'extrait aqueux appliqué par ingestion. (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j).

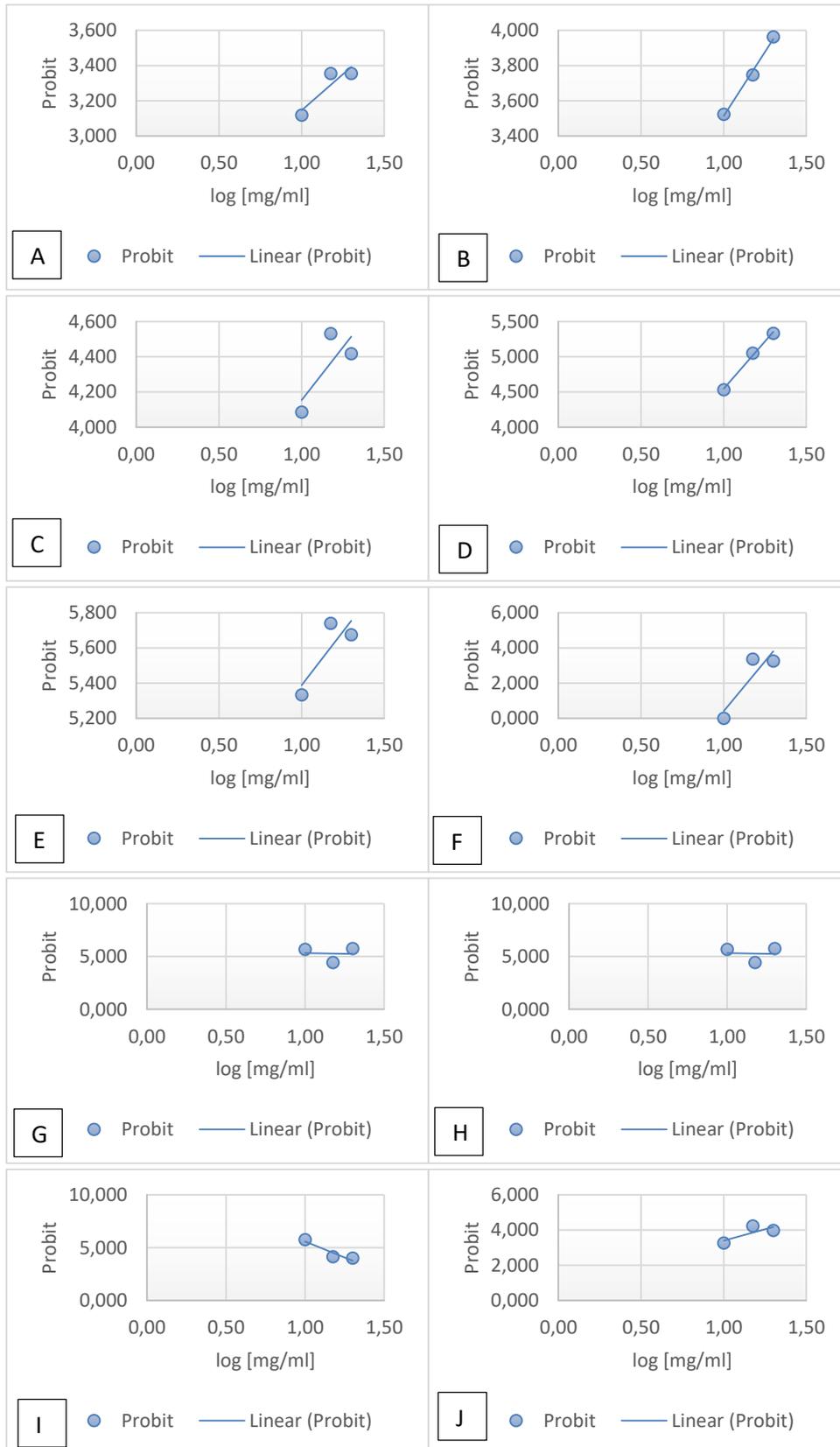


Figure 21 : Corrélation établie pour l'extrait méthanolique appliqué par ingestion. (A : 1j, B : 2j, C : 3j, D : 4j, E : 5j, F : 6j, G : 7j, H : 8j, I : 9j, J: 10j).

Tableau 9: Valeurs de temps létaux d'extrait aqueux appliqué par contact

Dose appliquée	Equation	R ²	TL ₂₅ [j]	TL ₅₀ [j]	TL ₉₀ [j]
20 mg/ml	$y = 2.0493x + 4.2954$	0.782	1.0350	2.2071	9.3197
40 mg/ml	$y = 2.451x + 4.1759$	0.8932	1.1514	2.1689	7.2324
60 mg/ml	$y = 1.8794x + 4.8929$	0.7236	0.4993	1.1402	5.4843

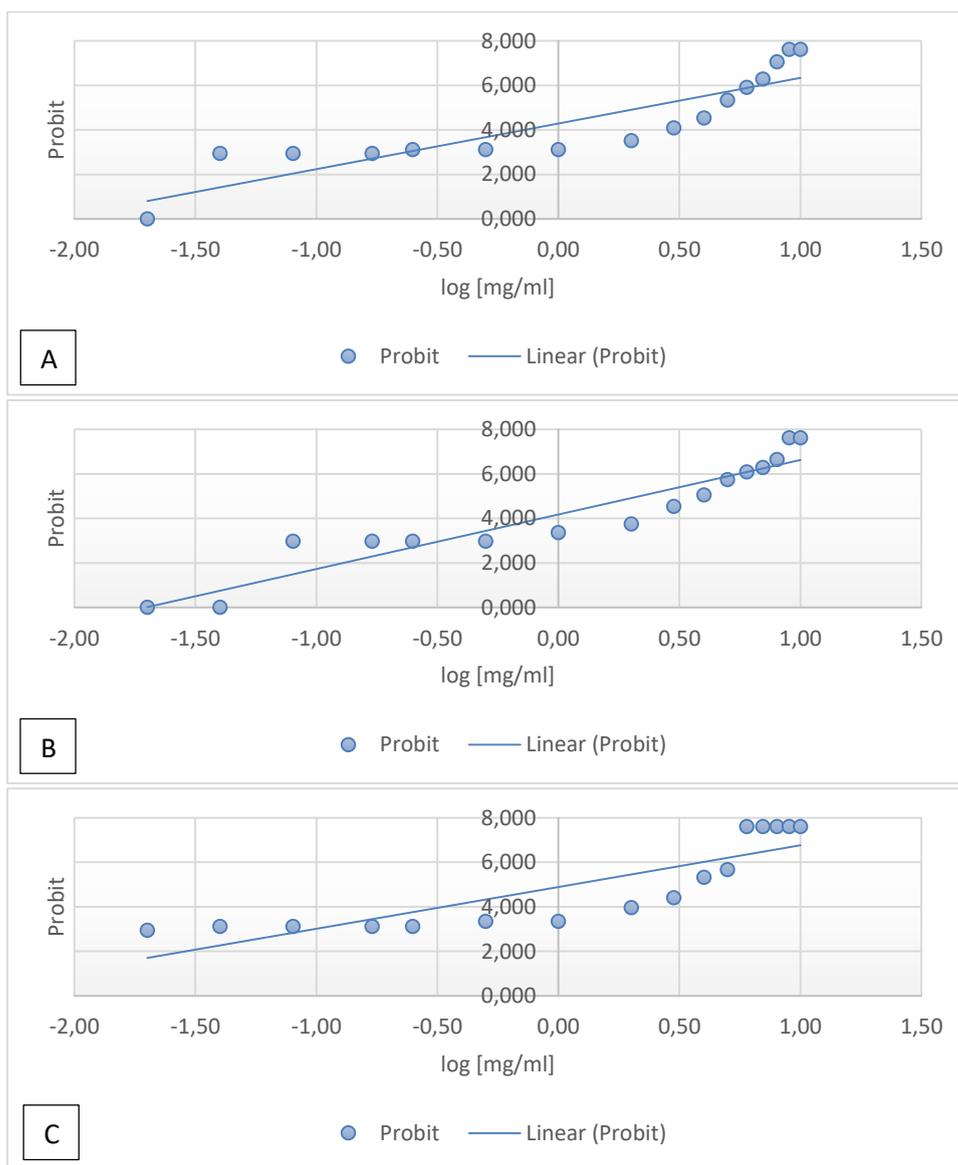


Figure 22 : Corrélation établi pour les temps létaux d'extrait aqueux appliqué par contact. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).

Tableau 10: Valeurs de temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par contact

Dose appliquée	Equation	R ²	TL ₂₅ [j]	TL ₅₀ [j]	TL ₉₀ [j]
20 mg/ml	$y = 1.7775x + 4.0556$	0.7736	1.4195	3.3987	17.8873
40 mg/ml	$y = 2.5598x + 4.2803$	0.8886	1.0420	1.9105	6.0531
60 mg/ml	$y = 1.6257x + 4.6575$	0.7458	0.6253	1.6243	9.9830

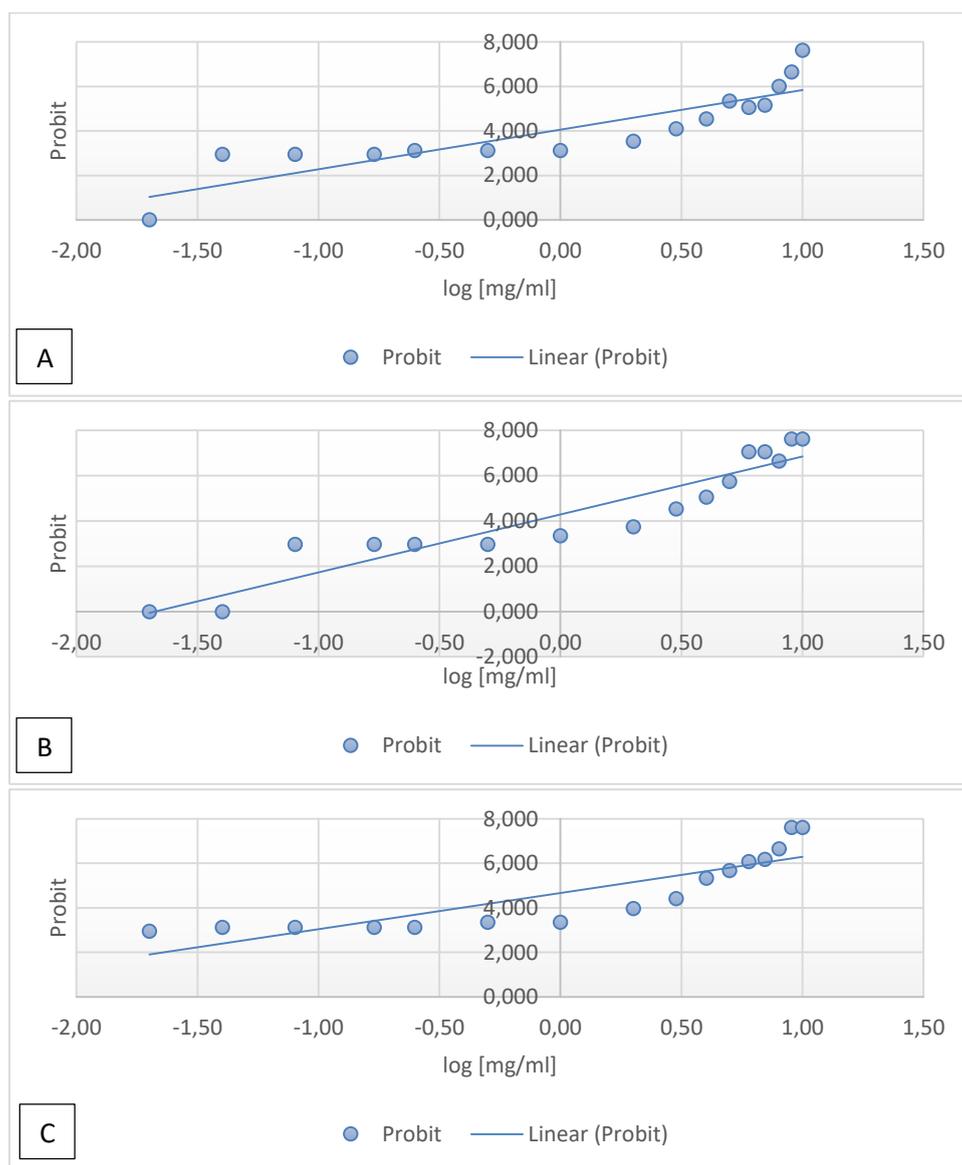


Figure 23 : Corrélation établi pour les temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par contact. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).

L'évaluation des temps létaux (TL₂₅, TL₅₀, TL₉₀) des extraits de *Zilla macroptera* appliqués par contact révèle une relation inverse entre la dose appliquée et le temps nécessaire pour induire la mortalité : plus la concentration augmente, plus l'effet est rapide.

Pour l'extrait aqueux, les valeurs du TL₅₀ diminuent de 2,21 jours à 1,14 jour lorsque la concentration passe de 20 à 60 mg/ml, tandis que le TL₉₀ passe de 9,31 jours à 5,48 jours. Cela traduit une efficacité croissante à forte dose, malgré la nature hydrosoluble de l'extrait.

Concernant l'extrait méthanolique, l'effet apparaît plus marqué dès 40 mg/ml, avec un TL₅₀ de 1,91 jour, proche de celui observé à 60 mg/ml (1,62 jour). En revanche, à 20 mg/ml, le TL₅₀ reste relativement élevé (3,39 jours), indiquant une efficacité lente à faible concentration. Le TL₉₀ suit une tendance similaire, variant de 17,88 jours à 6,05 jours, et atteignant 9,98 jours à 60 mg/ml.

Comparativement, l'extrait méthanolique se distingue par une action plus rapide, en particulier à partir de 40 mg/ml, tandis que l'extrait aqueux, bien que moins puissant, reste performant à forte dose.

Les valeurs de TL₅₀ obtenues pour l'extrait aqueux de la partie aérienne d'*Euphorbia guyoniana* varient selon la concentration appliquée. À 100 %, le TL₅₀ est de 4,4860 jours, contre 7,7724 jours à 75 %, 8,2328 jours à 50 % et 16,8179 jours à 25 %. Cette évolution met en évidence une relation dose-temps nette, où l'augmentation de la concentration accélère l'apparition de l'effet léthal. Ces résultats traduisent une efficacité insecticide modérée à progressive de l'extrait testé, dépendante de la dose (**Kemassi et al., 2019**).

Tableau 11: Valeurs de temps létaux d'extrait aqueux appliqué par ingestion

Dose appliquée	Equation	R ²	TL ₂₅ [j]	TL ₅₀ [j]	TL ₉₀ [j]
20 mg/ml	$y = 0.9789x + 3.3718$	0.2912	9.4356	46.0570	939.5693
40 mg/ml	$y = 1.5992x + 3.4802$	0.7505	3.3798	8.9197	56.4938
60 mg/ml	$y = 0.8228x + 4.0092$	0.5311	2.4268	16.0022	578.4624

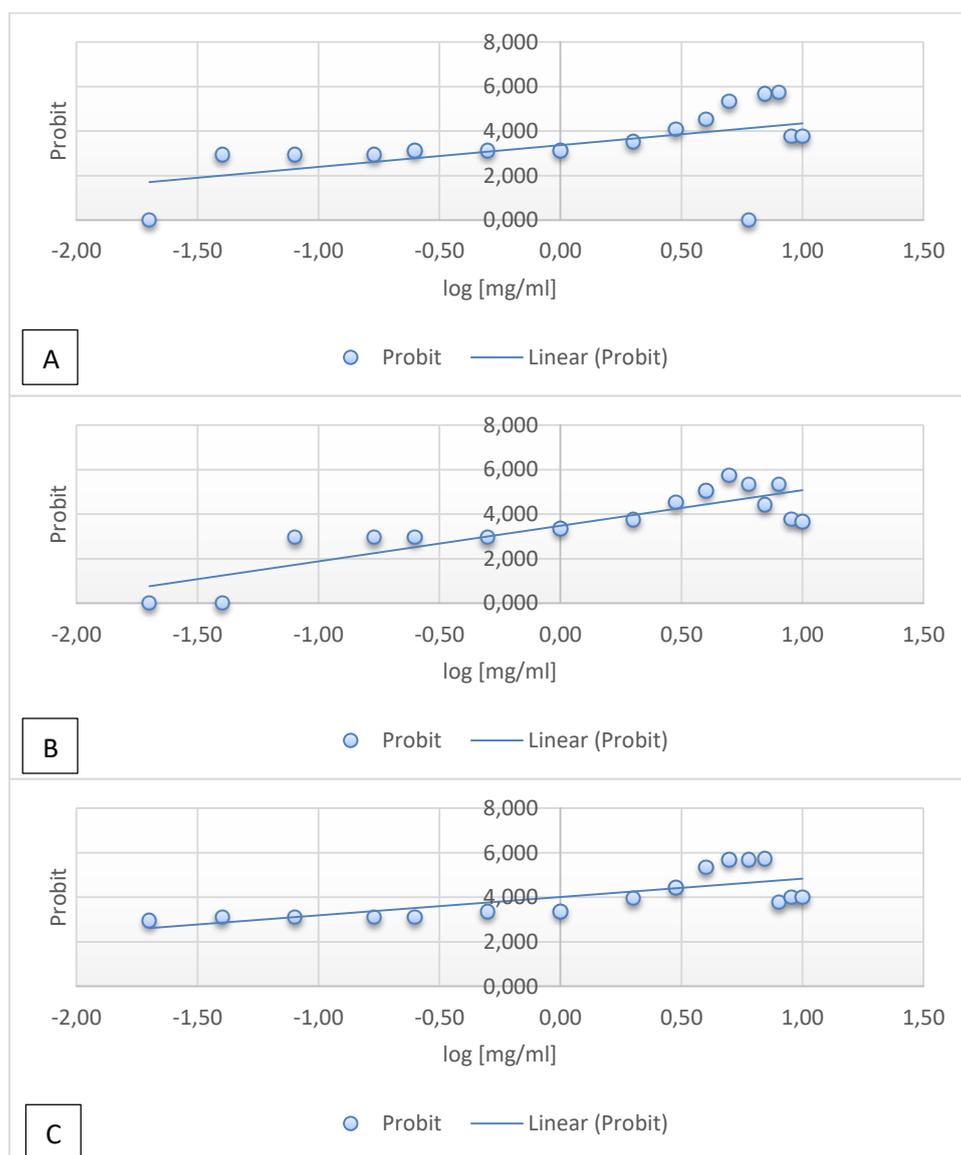


Figure 24 : Corrélation établi pour les temps létaux d'extrait aqueux appliqué par ingestion. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).

Tableau 12 : Valeurs de temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par ingestion

Dose appliquée	Equation	R ²	TL ₂₅ [j]	TL ₅₀ [j]	TL ₉₀ [j]
20 mg/ml	$y = 0.3114x + 2.7775$	0.0228	93908.2868	13712690.4323	/
40 mg/ml	$y = 1.3576x + 3.2469$	0.6532	6.2353	19.5579	172.0428
60 mg/ml	$y = 0.5186x + 3.7192$	0.3381	14.7936	294.9349	87451.3048

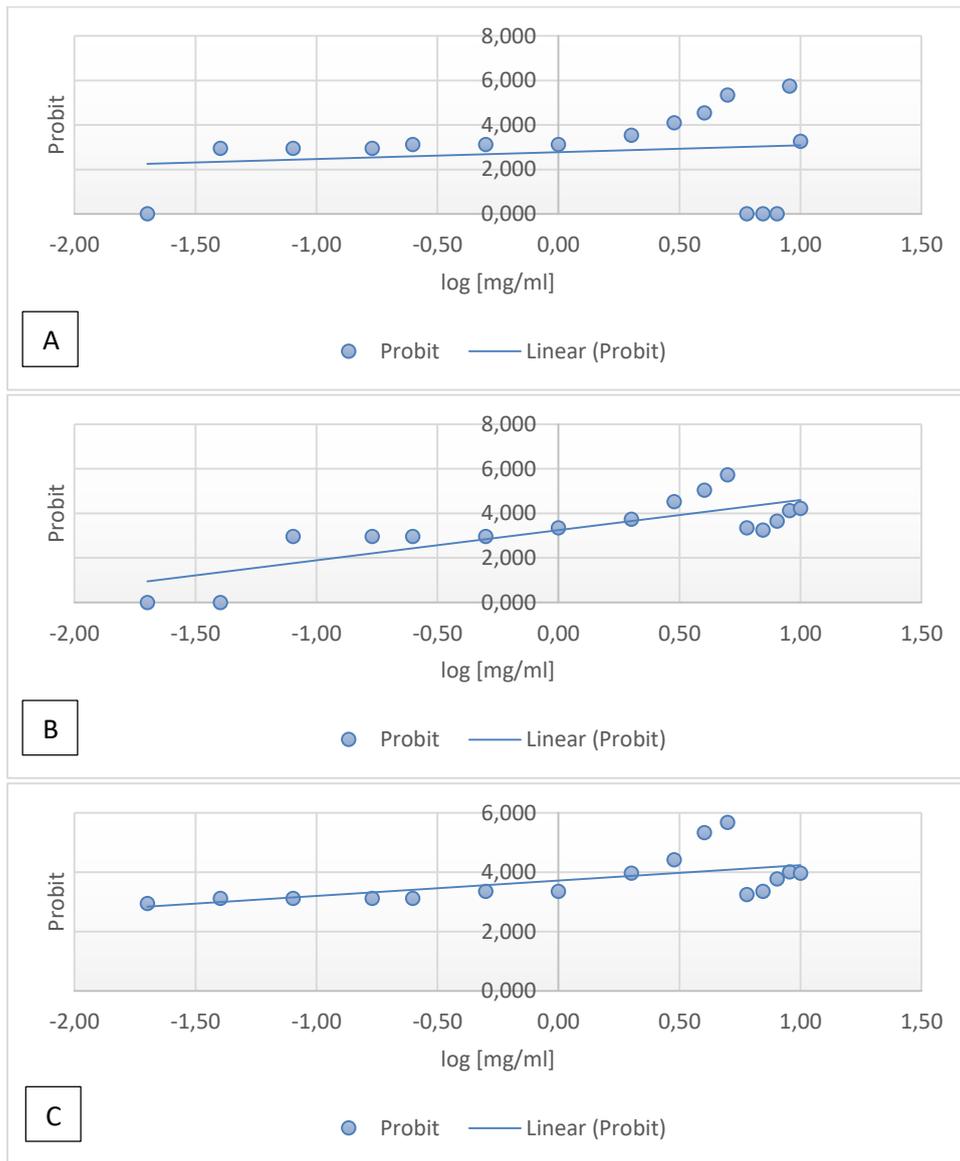


Figure 25 : Corrélation établie pour les temps létaux d'extrait méthanolique appliqué par ingestion. (A : 20 mg/ml, B : 40 mg/ml, C : 60 mg/ml).

L'évaluation des temps létaux (TL) des extraits aqueux et méthanoliques de *Zilla macroptera* appliqués par ingestion met en évidence une efficacité insecticide fortement limitée, avec des valeurs de TL₅₀ particulièrement élevées, révélant une action très lente voire inefficace par cette voie.

L'extrait aqueux présente un effet soit notée à 40 mg/ml (TL₅₀ ≈ 8.92 jours). À 60 mg/ml, le TL₅₀ reste (16 jours), indiquant un effet toxique. Cela peut être lié à une saturation de l'absorption intestinale ou à une dégradation enzymatique des composés actifs.

Pour l'extrait méthanolique, les temps létaux augmentent de manière disproportionnée avec la concentration. À 20 mg/ml, le TL₅₀ dépasse plusieurs milliers de jours, indiquant une quasi-absence d'effet toxique. Une légère amélioration est observée à 40 mg/ml (TL₅₀ ≈ 19,55 jours, TL₉₀ ≈ 172 jours), mais elle reste insuffisante. À 60 mg/ml, le TL₅₀ atteint même 294,93 jours, et le TL₉₀ dépasse 87 000 jours, soulignant un effet négligeable malgré la concentration élevée.

La comparaison entre les deux extraits montre ainsi une efficacité équivalente et très limitée par ingestion pour l'extrait méthanolique alors que l'extrait aqueux est toxique mais avec une intensité qui reste faible. Ce qui suggère que la voie digestive n'est pas adaptée à l'expression de leur potentiel toxique.

L'application par contact a permis d'atteindre des TL₅₀ nettement plus courts. À 60 mg/ml, le TL₅₀ est de 1,14 jour pour l'extrait aqueux et 1,62 jour pour l'extrait méthanolique. Cette différence met en évidence la supériorité du contact direct, probablement grâce à une meilleure absorption cuticulaire des substances actives. Ainsi, le mode d'application constitue un paramètre critique dans l'efficacité des extraits végétaux contre *Tribolium castaneum*.

Le teste d'ANOVA est réalisé pour étudier la différence entre les moyennes des mortalités pour les concentrations et même pour les temps d'exposition en appliquant les différents extraits par différentes techniques. Les résultats des figures suivantes montrent que la différence a été très significative entre les temps d'exposition avec une valeur de P très inférieure au seuil de signification pour tous les traitements. Ces résultats montrent que la différence n'a pas été significative pour les concentrations en appliquant tous les extraits et les techniques.

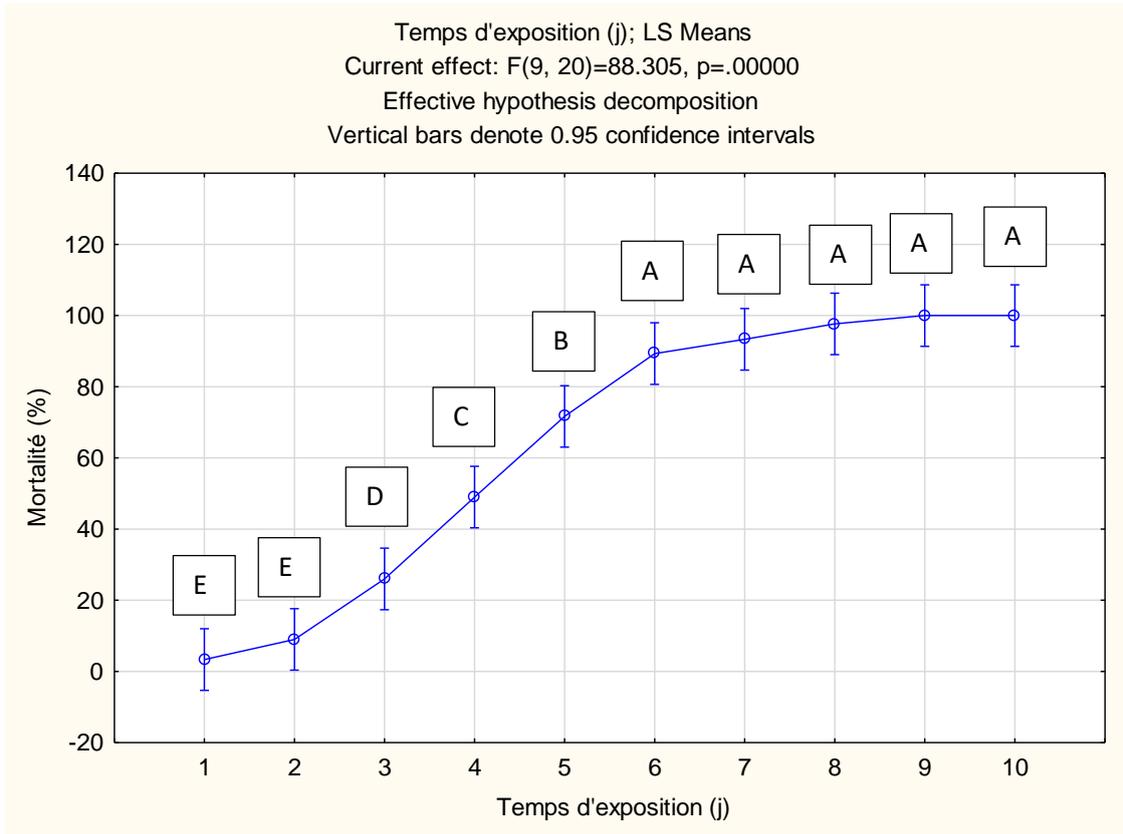


Figure 26 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait aqueux par contact

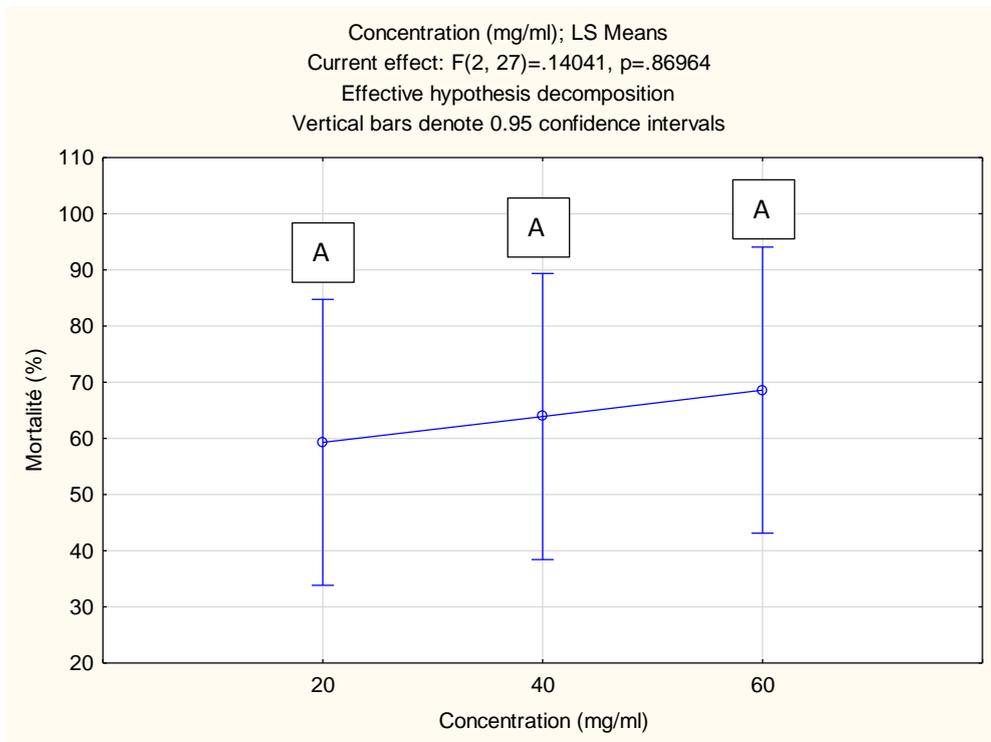


Figure 27 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait aqueux par contact

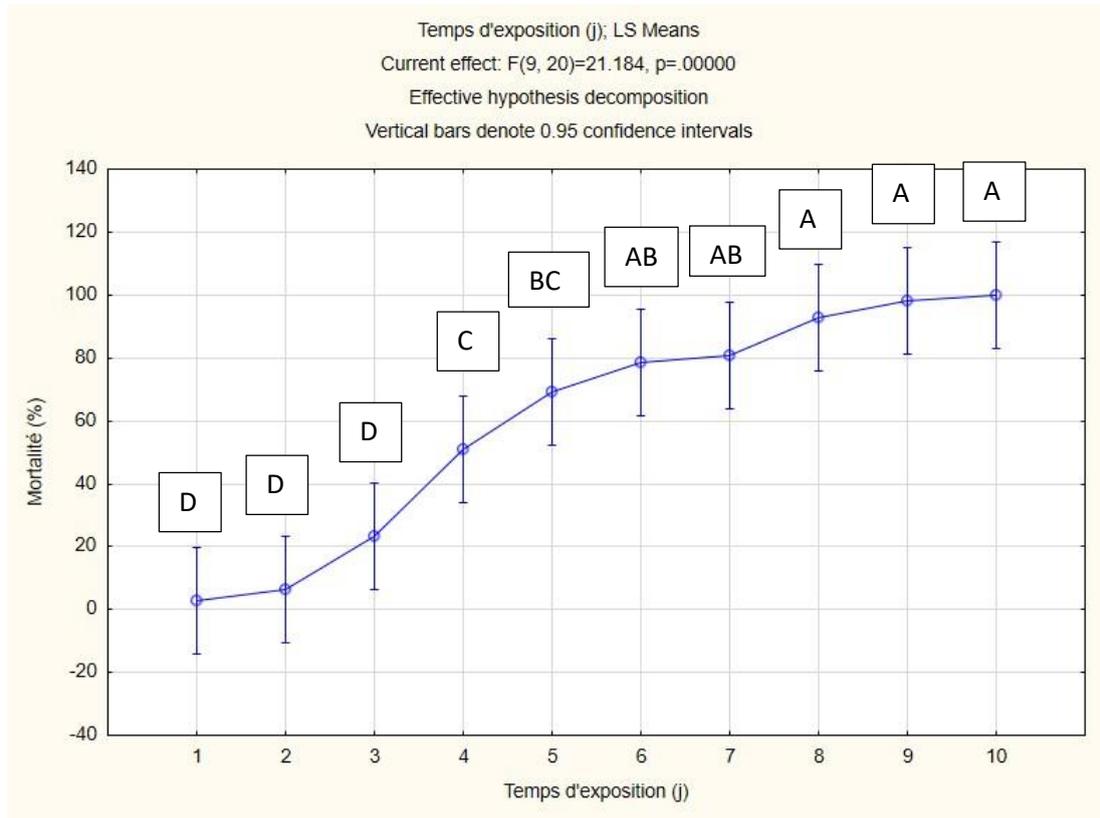


Figure 28 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait méthanolique par contact

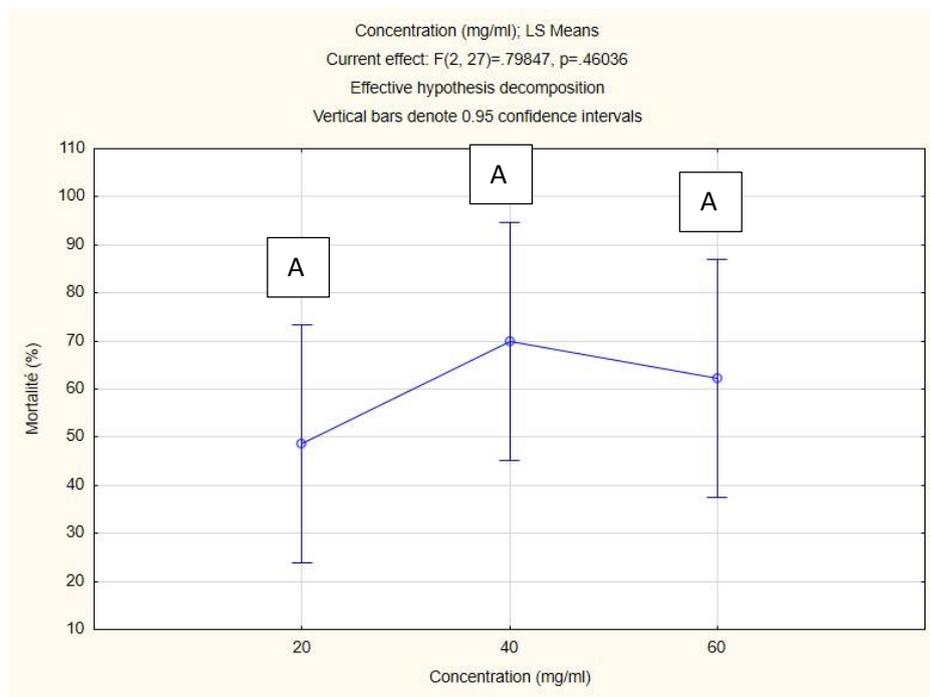


Figure 29 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait méthanolique par contact

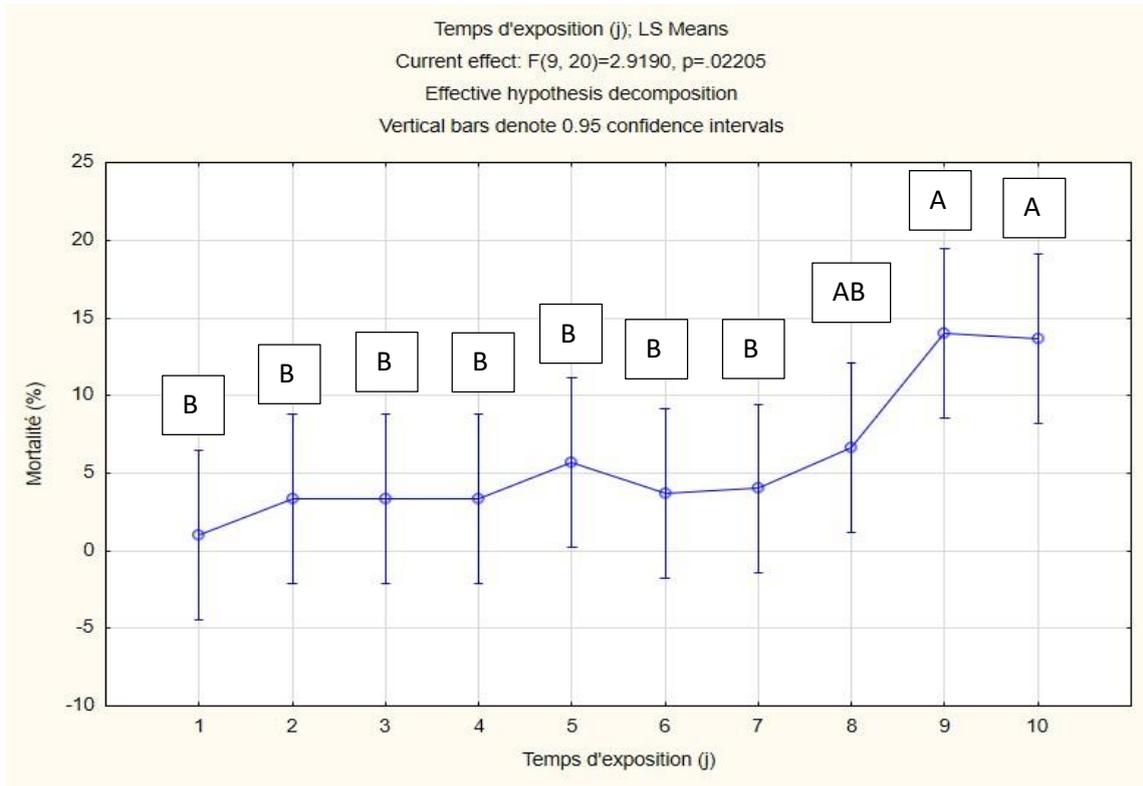


Figure 30 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait aqueux par ingestion

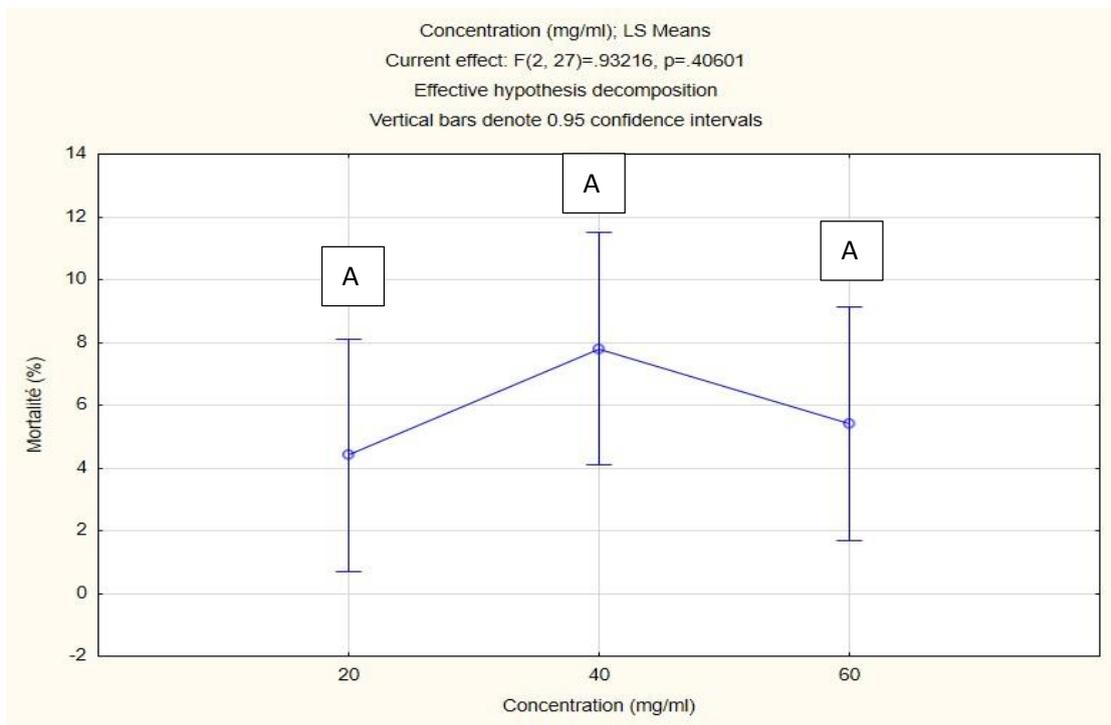


Figure 31 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait aqueux par ingestion

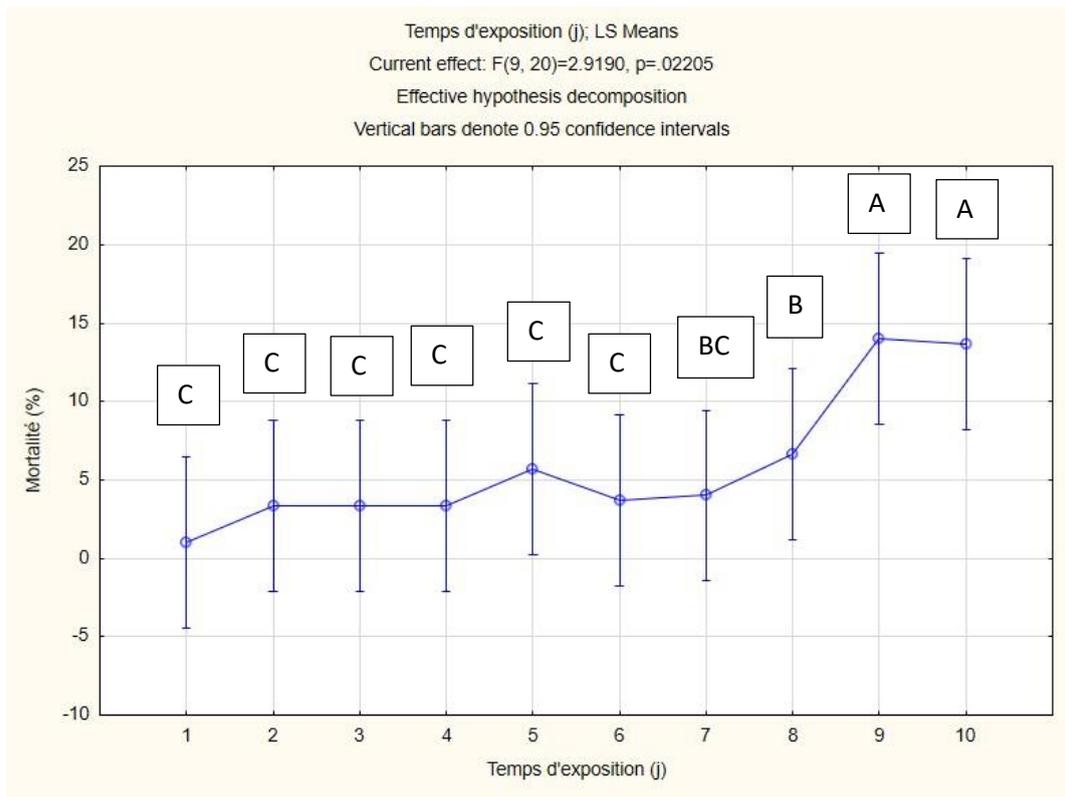


Figure 32 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les temps d'exposition en appliquant l'extrait méthanolique par ingestion

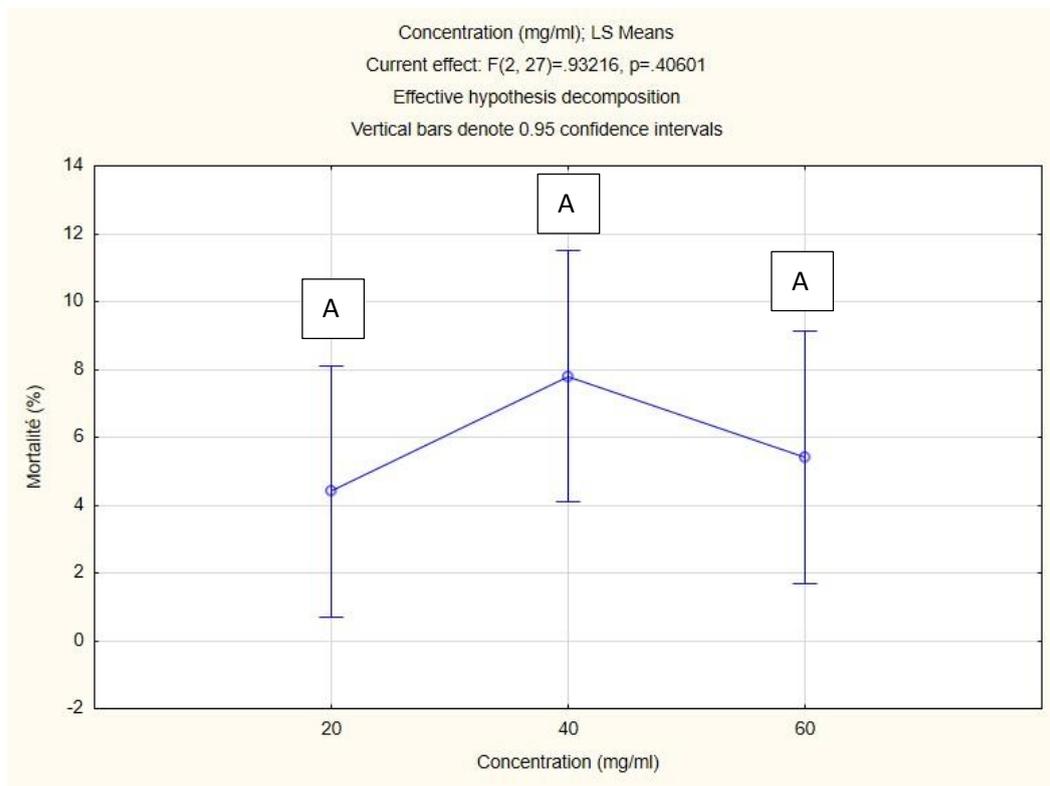


Figure 33 : Graphe des intervalles du teste d'ANOVA pour les concentrations en appliquant l'extrait méthanolique par ingestion

CONCLUSION

Conclusion

Dans un contexte où la lutte chimique contre les insectes nuisibles aux denrées stockées soulève de sérieuses préoccupations environnementales et sanitaires, cette étude vise à valoriser *Zilla macroptera*, une plante saharienne, comme source potentielle de bio-insecticides naturels.

L'évaluation de l'activité insecticide des extraits aqueux et méthanolique de cette plante contre *Tribolium castaneum* a permis de mettre en évidence une efficacité notable selon le type de solvant et le mode d'application. Les rendements d'extraction ont révélé une supériorité quantitative de l'extrait aqueux, tandis que les tests biologiques ont montré des performances différentes entre les deux extraits.

Par application par contact, les deux extraits ont provoqué une mortalité significative. L'extrait aqueux a induit une létalité plus rapide ($TL_{50} = 1,14$ jour), tandis que l'extrait méthanolique, bien que légèrement plus lent ($TL_{50} = 1,62$ jour), a montré une efficacité supérieure à plus faible dose (DL_{50} plus bas), traduisant une toxicité plus marquée. Cette complémentarité dans les résultats suggère que chaque extrait possède un mode d'action spécifique en fonction de sa composition chimique.

L'application par ingestion s'est révélée inefficace pour les deux extraits, avec des TL_{50} dépassant les 8 jours, indiquant une faible biodisponibilité digestive des composés actifs, probablement due à leur dégradation ou à leur faible absorption intestinale.

Ces résultats mettent en avant le potentiel bio-insecticide de *Zilla macroptera*, particulièrement par voie de contact, et ouvrent la voie à des applications prometteuses dans le cadre de la lutte biologique.

Pour approfondir cette recherche, il serait pertinent d'identifier et de quantifier les composés bioactifs responsables de l'activité toxique observée, de tester d'autres modes de formulation susceptibles d'améliorer l'efficacité des extraits par ingestion, ainsi que d'évaluer leur impact sur d'autres stades biologiques ou espèces nuisibles, tout en vérifiant leur innocuité vis-à-vis des organismes non cibles.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

1. **AKTAR, M.W., SENGUPTA, D. et CHOWDHURY, A.** 2009. *Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards*. Interdisciplinary Toxicology, vol. 2, n° 1, p. 1–12.
2. **Al-Ansi, A., Aldhafer, H., Al-Tamimi, J., et Murshed, M.** 2024. Evaluation of the insecticidal activity of *Nerium oleander* L. against the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Tenebrionidae, Coleoptera). *Indian Journal of Animal Research*, vol. 58, n° 4, p. 698–705.
3. **ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques).** 2010. *Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques*. Ouargla, 10 p.
4. **ANRH.** 2011. *Notes relatives aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa*.
5. **AZWANIDA, N., (2015).** *A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation*. Medicinal & Aromatic Plants, vol. 4, n° 3, article 196.
6. **BAGNOULS, F. et GAUSSEN, H.** 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, vol. 88, p. 193–239.
7. **BALDWIN, R. et FASULO, T.R.** 2003. *Photograph and illustrations of confused flour beetle and red flour beetle*.
8. **BEKKARA, F.A., JAY, M., VIRICEL, M.R. et ROME, S.** 1998. *Distribution of phenolic compounds within seed and seedling of two Vicia faba cvs differing in their resistance to Ascochyta fabae*. Phytochemistry, vol. 48, n° 1, p. 159–165.
9. **BELBOUKHARI, N., CHIBANE, M. et ZELLAGUI, A.** 2019. *Activité insecticide de l'Artemisia herba-alba contre Tribolium castaneum*. Revue des Sciences et Technologies, vol. 15, n° 1, p. 87–94.
10. **BELLAKHDAR, J.** 1997. *Médecine arabe ancienne et savoir populaire*. Paris : Ibis Press, p. 213–224.
11. **BELLAKHDAR, J.** 2006. *La pharmacopée marocaine traditionnelle : médecine arabe ancienne et savoirs populaires*. Paris : Ibis Press, pp. 465–466

12. **BENMEHDI, H.** 2017. *Étude de l'activité insecticide des extraits de Zilla macroptera sur les insectes ravageurs des denrées stockées.* Revue Agrobiologia, vol. 7, n° 2, p. 1–8.
13. **BENYOUCEF, B.** 1991. *Le M'zab, espace et société.* El-Harrach : Éditions Aboudaoud, 290 p.
14. **BERHAIL, S. et KATIPOĞLU, O.M.** 2025. *Évaluation de la sécheresse climatique à l'aide de l'indice d'Emberger dans le bassin du Kebir Rhumel, Algérie (1901–2021).* Journal of Hydrology and Environmental Studies, vol. 17, n° 2, p. 115–132.
15. **BINNS, M.R. et NYROP, J.P.** 1992. *Sampling insect populations for the purpose of IPM decision making.* Annual Review of Entomology, vol. 37, p. 427–453.
16. **BOUCHENGA, S. et LAHRECHE, A.** 2006. *Étude de la qualité microbiologique des eaux de puits, zones urbaine et agricole (Beni Isguen, W. Ghardaïa).* Mémoire d'ingénieur.
17. **BOUYAHYA, A., ABDENNABI, R., BAKRI, Y. et al.** 2017. *Phytochemistry and pharmacological properties of medicinal plants from North Africa: a review.* Phytothérapie, vol. 15, p. 87–102.
18. **CHAFINO, S. et al.** 2019. *Upregulation of E93 Gene Expression Acts as the Trigger for Metamorphosis Independently of the Threshold Size in the Beetle Tribolium castaneum.* Cell Reports, vol. 27, p. 1039–1049.
19. **CHEHMA, A.** 2006. *Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien.* Aïn M'lila : Éditions Dar El Houda, 156 p.
20. **COMFORT, O.O., SUNDAY, J.A. et MICHAEL, O.A.** 2022. *Post-Harvest Losses of Stored Grains: A Review of Insect Pests and Control Strategies.* International Journal of Agricultural Science and Research, vol. 12, n° 3, p. 17–30.
21. **COPPING, L.G. et MENN, J.J.** 2000. *Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy.* Pest Management Science, vol. 56, n° 8, p. 651–676.

22. **DADDI BOUHOUN, M.** 1997. *Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab*. Thèse de Magister, INA El Harrach, 180 p.
23. **DELOBEL, A. et TRAN, M.** *Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes*. Faune Tropicale, n° 32. Paris : ORSTOM / CTA, 424 p.
24. **DJILALI, K.** 2009. *Étude du régime alimentaire de deux rapaces nocturnes dans la région de Ghardaïa : Cas du Hibou ascalaphe *Bubo ascalaphus* et du Hibou des marais *Asio flammeus**. Mémoire de master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 144 p.
25. **DJILANI, A. et DICKO, A.** 2012. *The therapeutic benefits of plants in traditional medicine*. In : *Phytopharmacology and Therapeutic Values III*. Studium Press LLC, p. 1–24.
26. **DUBOST, D.** 1991. *Écologie, aménagement et développement agricole des oasis sahariennes algériennes*. Thèse de doctorat, Université François Rabelais, Tours.
27. **EL-TOUMY, S.A. et al.** 2011. *Phytochemical and Pharmacological Studies on *Zilla spinosa**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, vol. 5, n° 8, p. 1362–1370.
28. **FAHEY, J.W., ZALCMANN, A.T. et TALALAY, P.** 2001. *The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants*. *Phytochemistry*, vol. 56, n° 1, p. 5–51.
29. **FAO.** 2021. *The State of Food and Agriculture 2021* [en ligne]. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Consulté le 15/05/2025]. <<https://www.fao.org>>.
30. **FEKROUNE, I.** 2019. *Activité insecticide d'une huile essentielle formulée extraite d'*Origanum vulgare* L. sur le *Tribolium castaneum* (Herbst, 1979)*. Mémoire de Master, Université de Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, spécialité Phytopharmacie et protection des végétaux.
31. **GUILLET, D., GROLLEAU, G. et ARVANITAKIS, L.** 1997. *Pesticides: toxicologie et environnement*. Paris : Lavoisier.

32. **HAMAIDIA, K. et BERCHI, S.** 2018. *Impact des pesticides sur la biodiversité entomologique dans les agroécosystèmes algériens*. Revue Algérienne des Sciences Agronomiques, vol. 5, n° 2, p. 52–60.
33. **HISCOCK, K.M. et BENSE, V.F.** 2021. *Hydrogeology: Principles and Practice*. 3e éd. Wiley-Blackwell.
34. **HMIRI, S., RAHOUTI, M., HABIB, Z., SATRANI, B., GHANEMI, M. et EL AJJOURI, M.** 2011. *Évaluation du potentiel antifongique de l'huile essentielle de Mentha peliguim et d'Eucalyptus dans la lutte biologique contre les champignons responsables de la détérioration des pommes en conservation*. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, vol. 80, p. 824–836.
35. <https://www.tutiempo.net/fr/climat>
36. **ISMAN, M.B.** 2006. *Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world*. Annual Review of Entomology, vol. 51, p. 45–66.
37. **KADI, A. et KORICHI, B.** 1993. *Contribution à l'étude faunistique des palmeraies de trois régions du M'Zab : Ghardaïa, Metlili, Guerara*. Mémoire d'ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, INFS/AS Ouargla, 95 p.
38. **KEBILI, M., BOUSELSAL, B., et GOUAIDIA, L.** (2021). *Hydrochemical Characterization and Water Quality of the Continental Intercalare Aquifer in the Ghardaïa Region (Algerian Sahara)*. Journal of Ecological Engineering, 22(10), 152–162.
39. **KEMASSI, A.** 2014. *Toxicité comparée des extraits d'Euphorbia guyoniana, Cleome arabica L. et Capparis spinosa sur Schistocerca gregaria*. Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla.
40. **KEMASSI, A., HEROUINI, A., HADJ, S.A., CHERIF, R. et OULD ELHADJ, M.D.** 2019. *Effet insecticide des extraits aqueux d'Euphorbia guyoniana (Euphorbiaceae) récoltée dans Oued Sebseb (Sahara algérien) sur le Tribolium castaneum*. Lebanese Science Journal, vol. 20, n° 1, p. 55–70.

41. **KHERRAF, A.** 2018. *Caractérisation physicochimique et évaluation du potentiel antioxydant, antimicrobien et antiinflammatoire de la microalgue Nannochloropsis gaditana*. Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes, Sidi Bel Abbès, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, p. 74.
42. **KLINGLER, M. et BUCHER, G.** 2022. *The red flour beetle *T. castaneum*: elaborate genetic toolkit and unbiased large scale RNAi screening to study insect biology and evolution*. *EvoDevo*, 13(1), 14.
43. **KUMAR, J., MARIN, G., ARIVOLI, S. et TENNYSON, S.,** 2024. Assessment of *Piper longum* L. (Piperaceae) leaves toxicity on the adults of *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10:134.
44. **MALEK, M.A. et PARVEEN, M.** 1989. *Damage caused by insect pests to stored grains*. *Bangladesh Journal of Entomology*, vol. 9, n° 2, p. 45–52.
45. **MERCHELA, W., BOUALLALA, M., BRADAI, L. et SOUDDI, M.** 2023. *Floristic diversity of plant communities in sandy wadis of the northern Algerian Sahara (Ghardaïa region)*. *Biodiversity: Research and Conservation*, vol. 72, n° 1, p. 1-10.
46. **MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR ET DES COLLECTIVITÉS LOCALES.** 2021. *Monographie de la wilaya de Ghardaïa* [en ligne]. [Consulté le 12/04/2025]. - <https://interieur.gov.dz/Monographie/ar/article_detail.php?lien=1833&wilaya=47>.
47. **MOGHADDAM, M. et MEHDIZADEH, L.** 2017. *Chemistry of essential oils and factors influencing their constituents*. In: *Soft Chemistry and Food Fermentation*. Academic Press, p. 379–419.
48. **MUSSATTO, S.I., BALLESTEROS, L.F., MARTINS, S. et TEIXEIRA, J.A.,** 2011. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, vol. 83, n° 15, p. 173–179.
49. **NEDJARI, A., MESBAH, M., BENHAMMOUCHE, B. et BERRAKI, A.** 2001. *La province triasique saharienne : une approche de sa structure par l'analyse du réseau hydrographique subactuel et actuel*. *Bulletin du Service Géologique d'Algérie*, vol. 12, n° 1, 572 p.

50. **ONS (Office National des Statistiques)**. 2008. *Recensement général de la population et de l'habitat*. [En ligne]. Alger : Office National des Statistiques. [Consulté le 16/04/2025]. < <https://www.ons.dz/spip.php?rubrique43> =>.
51. **OZENDA, P.** 1991. *Flore et Végétation du Sahara*. 3e édition mise à jour et augmentée. Paris : Éditions du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), 662p.
52. **QUÉZEL, P. et SANTA, S.** 1962–1963. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Paris : Éd. C.N.R.S., 1170 p
53. **PENCHEV, P. I.** 2010. Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. Thèse du Doctorat, Spécialité de Génie des Procédés et de l'Environnement, Université de Toulouse, 229P.
54. **RAHMOUNI, I., BOUMAZA, R. et SOLTANI, N.** 2020. *Activité biologique de Pergularia tomentosa L. contre Tribolium castaneum Herbst*. Revue Agriculture, vol. 36, n° 1, p. 45–52.
55. **RAMADE, F.** 1984. *Éléments d'écologie – Écologie fondamentale*. Paris : McGraw-Hill, 83 p.
56. **REGNAULT-ROGER, C., VINCENT, C. et ARNASON, J.T.** 2012. *Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world*. Annual Review of Entomology, vol. 57, p. 405–424.
57. **ROUARI, L.** 2022. *Etude de l'activité insecticide de quelques plantes du sud algérien*. Thèse de doctorat : Écologie Végétale et Environnement. Université Amar Telidji Laghouat, 216 p.
58. **ROY, H.E. et COTTRELL, T.E.** 2008. *Forgotten natural enemies: interactions between coccinellids and insect-parasitic fungi*. European Journal of Entomology, vol. 105, n° 3, p. 391–398.
59. **RUKANGIRA, E.** 1997. *Actes de l'atelier régional : Plantes médicinales et médecines traditionnelles en Afrique*. Conakry, Guinée.

60. **SALLAM, M.N.** 1999. Insect damage: damage on post-harvest. In: *Compendium on Post-harvest Operations*, pp. 137.
61. **SANTOS, M.S., ALMEIDA, R.L. et COSTA, C.S.** 1990. *Insect damage in stored cereals and its economic impact*. Agricultural Journal of Brazil, vol. 45, n° 3, p. 201–207.
62. **SEMPLE, R.L., HICKS, P.A., LOZARE, J.V. et CASTERMANS, A.** 1992. *Gestion intégrée des insectes des denrées stockées en milieu tropical*. Rome : FAO.
63. **SHARMA, A.** 2017. *Pesticide toxicity: An overview on human risks and environmental impact*. Environmental Research and Public Health, vol. 14, n° 11, p. 1266.
64. **SIMPSON, M.G. (2019).** *Plant Systematics*. 3rd edition. Academic Press, Elsevier, 774 p.
65. **SITE INTERNET 1 :** Carte situant la position géographique de Ghardaïa en Algérie). [En ligne] [Consulté le 15/04/2025] <https://d-maps.com/pays.php?num_pay=3416&num_pag=1&lang=en>
66. **SLIMANI, N. et CHEHMA, A.** 2009. *Essai de caractérisation de quelques paramètres d'adaptation au milieu hyper-aride saharien des principales plantes spontanées vivaces de la région de Ouargla (Algérie)*. Journal Algérien des Régions Arides, vol. 8, p. 15–20.
67. **SPARKS, T.C. et NAUEN, R.** 2015. *IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management*. Pesticide Biochemistry and Physiology, vol. 121, p. 122–128.
68. **STEFFAN, P.** 1963. *La conservation des céréales : facteurs de détérioration et méthodes de lutte*. Paris : INRA.
69. **STEWART, P.** 1969. *Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert*. Le Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord, vol. 65, n° 1–2.
70. **TADESSE, M.** 2020. *Post-Harvest Loss of Stored Grain, Its Causes and Reduction Strategies*. Food Science and Quality Management, vol. 96, p. 26–32.

71. **TAIZ, L. et ZEIGER, E.** 2010. *Plant Physiology*. 5^e éd., illustrée. Sunderland, MA : Sinauer Associates, 782 p.
72. **TALIBI, I., BOUBAKER, H., BOUNHIR, A. et al.** 2015. *Antifungal activity of Moroccan medicinal plants against postharvest pathogens of fruits: a review*. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 208, p. 1–13.
73. **TINE-DJEBAR, F. et SOLTANI, N.** 2008. Effets biologiques des pesticides chez les invertébrés. *Revue des Sciences Biologiques*, vol. 4, n° 1, p. 33–41.
74. **TREMATERRA, P. et SCIARRETTA, A.** 2004. *Spatio-temporal distribution of Tribolium castaneum in a flour mill*. *Journal of Stored Products Research*, vol. 40, n° 4, p. 363–377.
75. **TRIPLEHORN, C.A. et JOHNSON, N.F.** 2005. *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. 7^e éd. Brooks Cole. Belmont, CA : Thomson Brooks/Cole, 864 p.
76. **TUTIEMPO NETWORK.** Données climatiques : température, humidité et précipitations à Ghardaïa [en ligne]. [Consulté le 03/05/2025]. Disponible sur :
77. **VAZQUEZ, G., FONTENLA, E., SANTOS, J., FREIRE, M.S., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J. et ANTORRENA, G.,** 2008. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Industrial Crops and Products*, vol. 28, n° 3, p. 279–285.
78. **WEATHERSPARK.** 2024. *Climate and Average Weather Year Round in Metlili Chaamba, Algeria* [en ligne]. [Consulté le 21/04/2025]. < <https://weatherspark.com> >.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Faculté des sciences de la nature et
de la vie et des sciences de la terre

جامعة غرداية

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم
الأرض

Département des Sciences
Agronomiques



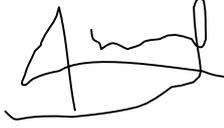
قسم العلوم الفلاحية

Université de Ghardaïa

Ghardaïa le : 02/ 07/2025

Rapport : Correction du mémoire

Enseignant Chargé de la correction : Mr

Nom et prénom l'examineur	Nom et prénom du président
MEHANI Mouna	ZERGOUN Youcef
Signature	Signature
	

Thème :

**Étude de l'efficacité insecticide in vitro de *Zilla macroptera*
contre l'insecte *Tribolium castaneum*.**

Après les corrections apportées au mémoire, L'étudiant :

 HAMMOUDA Abderrahmane

Est autorisé à déposer le manuscrit au niveau du département