

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaia



Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre
Département de Biologie
Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie

Par : Mlle. Noussiba BOUGUELMOUNA

Mlle. Nacéra MESSAOUDI

Thème

**Évaluation du pouvoir bio-insecticide des extraits bruts d'une espèce
halophyte *Hammada scoparia* de la famille des Amaranthaceae face
au *Tribolium castaneum* de la famille des Ténébrionides.**

Soutenu publiquement, le 16/06/2025

Devant le jury composé de :

M ^{me} . BENHEDID Hadjira	Maitre de conférences A	Univ. Ghardaia	Présidente
M. BENKHERARA Salah	Maitre de conférences A	Univ. Ghardaia	Encadrant
M ^{me} . HEROUINI Amel	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaia	Co-encadrant
M ^{me} . CHERIF Rekia	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaia	Examinatrice

Année universitaire : 2024 – 2025

REMERCIEMENTS

Avant tout. Louange à DIEU le tout puissant, le miséricordieux, de nous avoir donné le courage, la force, la santé et la persistance et de nous avoir permis de finaliser ce travail dans de meilleures conditions.

Nous remercions tout particulièrement notre encadreur Monsieur Salah BEN KHERARA, MCA à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaia, pour son accompagnement, sa disponibilité et ses conseils éclairés tout au long de ce travail. Son expertise a été précieuse à chaque étape de notre réflexion.

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à notre Co-encadrant, Mlle Amel HEROUINI pour son accompagnement précieux tout au long de ce travail. Nous avons beaucoup appris grâce à son expertise.

Nous remercions également Mme Hadjira BENHEDID pour l'honneur qu'elle nous a fait de présider le jury et d'évaluer ce travail.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que nous fait Mme Rekia CHERIF, en acceptant d'examiner ce travail et de faire partie du jury.

Nous tenons à remercier chaleureusement Monsieur Youcef BEN SEMOUNE chef de notre département, pour son soutien constant et les efforts déployés afin de créer un cadre de travail propice à l'apprentissage et à la réussite.

Nous tenons également à exprimer nos sincères gratitude à l'ensemble du personnel du laboratoire au département de Biologie pour leur disponibilité et les nombreux services qu'ils nous ont rendus durant la période de la réalisation de nos Expérimentations surtout Mme Souhila GHEZIEL, pour nous avoir aidés chaque fois que nous avons besoin d'elle. C'est vraiment une personne gentille.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles respectives, pour leur soutien inconditionnel tout au long de cette aventure universitaire. Leur patience, leurs encouragements et leur amour nous ont portés, même dans les moments les plus exigeants.

Nous remercions tous les enseignants et responsables de l'Université de Ghardaia et tous ceux qui ont participé de près et de loin à notre formation pédagogique et scientifique.

Dédicace

Je dédie cette mémoire

"À moi-même — pour ma force silencieuse, mes luttes invisibles, et ma capacité à avancer malgré tout....."

À ma très chère Mère : Arbia TOUIRIK

Il n'existe pas de mots assez forts pour exprimer tout l'amour que je te porte. Tu es mon pilier, mon repère, celle qui a toujours cru en moi, même quand moi je doutais.

Merci pour ta tendresse infinie, pour tes encouragements, pour ton courage et tes sacrifices silencieux. Grâce à toi, je suis devenu(e) la personne que je suis aujourd'hui. Je te dois tout, et je t'aimerai toujours, profondément et éternellement

À mon très cher père : Mahmoud BOUGUELMOUNA

Pour ta sagesse, ton soutien constant et les valeurs que tu m'as transmises. Merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir encouragée à persévérer., mon héros, tu m'as appris à croire en moi et à ne jamais baisser les bras. Je suis fière d'être ta fille. Merci d'avoir dans ma vie

*À mes chères sœurs **Ikram, Sihem, Ahlem et Iness**, Vous êtes mes confidentes, mes complices, mes piliers. Avec vous, les rires sont plus forts et les peines plus légères. Merci d'être là, toujours. Je vous aime de tout mon cœur.*

*À mon frère **Abdessamad** je ne saurai traduire sur du papier l'affection que j'ai pour toi, j'implore Allah de te réserver un avenir meilleur.*

*A mes beaux-frères **Slimane** en gage de ma profonde estime pour l'aide que tu m'as apporté, tu m'as soutenu, réconforté et encouragé mon vrai frère.*

***A Ahmed, Abed el Fattah et Slimane** pour leurs encouragements et soutien.*

A mes neveux **Issam, Firass, Katter Nada, Nizar, Adam, Manar et Ranim** que dieu les protège.

A mon oncle : Mohammed BOUGUELMOUNA

Merci du fond du cœur pour ton soutien constant dans les moments difficiles, tu as été là sans hésiter, avec des mots justes. Ton aide m'a beaucoup apporté, Avec toute ma gratitude et mon respect

*A ma binôme **Nacéra** Merci d'être toujours là, Travailler, galérer, rire et réussir à tes côtés rend tout plus simple et plus beau.*

*A la plus douce **Noussiba**, merci pour votre soutien toujours tu es là ma chérie*

*A ma copine Khadîdja, ma chère Ferdous, ma belle **Zohra, Manel, Mouna, Ibtissem, Rima, Maroua, Youssra, Bahia, Amira et Safa**, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter.*

En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble.

Noussiba

DEDICACE

Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu Tout-Puissant pour la force et la patience qu'il m'a accordées durant ce voyage.

À moi-même... vous qui avez été patients et persévérants, qui avez défié les difficultés et surmonté les obstacles. Je vous dédie cet accomplissement, fruit de vos efforts et de vos nuits blanches, et témoignage de votre force et de votre détermination inébranlable.

A mon soutien et à ma force, ma mère Fatima et mon père Naserallah. À toi qui m'as donné la vie et ouvert la voie, je dédie les fruits de mon travail, en reconnaissance de ton amour et de tes soutiens inestimables. Merci à vous deux du fond du cœur, que Dieu vous bénisse.

Au rythme de mon cœur et au secret de mon bonheur

À mes chers frères : Ben Amer et Amine, et mes chères sœurs : Asmaà et Siham, et à leurs enfants bien-aimés. Avec toi ma joie est complète, et avec mon succès mon cœur est fier de toi. Je vous dédie cette réalisation en signe d'amour et d'appréciation, et en expression de ma fierté à votre égard.

Je vous souhaite un avenir brillant et un bonheur éternel, et que nous serons toujours là l'un pour l'autre. Que Dieu vous protège.

À mon compagnon et camarade d'effort

À ma partenaire de voyage, Noussiba Bouguelmouna. Notre coopération et nos efforts combinés ont eu le plus grand impact dans la réalisation de ce mémorandum. Merci pour votre patience et votre détermination, ainsi que pour vos précieuses informations et votre soutien continu. Je vous souhaite le meilleur dans vos projets futurs.

À mes camarades et sympathisants

A mes chers amis, merci pour votre présence et votre précieux soutien. Ma joie n'est pas complète sans toi. Je vous souhaite tout le meilleur et le succès.

À ceux qui ont illuminé mon chemin avec la connaissance et la science

À tous mes distingués professeurs, qui nous ont inculqué l'amour de la connaissance et la passion d'apprendre, et qui nous ont généreusement transmis leurs connaissances et leurs conseils tout au long de mon parcours universitaire. Mes sincères remerciements, ma reconnaissance et mon respect à vous. Votre gentillesse envers moi est grande et votre influence restera aussi longtemps que je vivrai.

Enfin, merci à tous ceux qui m'ont soutenu dans ce voyage. J'envisage l'avenir avec optimisme. Bonne chance à tous

...

Nacéra

Table des matières

Introduction.....	1
Matériels et méthodes.....	3
1. Matériels utilisés.....	4
1.1. Matériel végétal.....	4
1.2. Insectes test.....	5
1.2.1. Imagos : Adultes de <i>Tribolium castaneum</i>	5
1.2.2. Larve de <i>Tribolium castaneum</i>	6
1.3.1. Site de prélèvement de l'espèce végétale.....	8
1.3.1.1. Région d'Ouled Djellal.....	8
1.3.1.2. Région de Ghardaïa	11
1.3.2. Echantillonnage	13
1.3.3. Séchage, stockage et conservation	14
2. Méthodes d'analyses	14
2.1. Tests biochimiques préliminaires	14
2.2. Préparation des extraits bruts	16
2.2.1. Extrait brut aqueux	16
2.2.2. Extrait hydrométhanolique	17
2.3. Rendement d'extraction	17
2.4. Dosage des polyphénols totaux.....	17
2.5. Activité bio-insecticide.....	18
2.5.1. Effet de toxicité sur les adultes de <i>Tribolium castaneum</i> (les imagos)	19
2.5.2. Effet de toxicité sur les larves de <i>Tribolium castaneum</i>	20

Résultats et discussions.....	22
1. Tests biochimiques préliminaires.....	23
2. Rendement d'extraction : La teneur en matière sèche	24
3. Teneur des polyphénols totaux	26
4. Effet insecticide sur le <i>Tribolium castaneum</i>	28
4.1. Effet de toxicité sur les adultes de <i>Tribolium castaneum</i> (les imagos)	28
4.2. Effet de toxicité sur les larves de <i>Tribolium castaneum</i>	30
4.3. Effet sur la mortalité	30
4.4. Effet larvicide de <i>Hammada scoparia</i> – Région d'Oulad Djellal	32
4.5. Effet larvicide de <i>Hammada Scoparia</i> – Région de Ghardaïa	33
5. DL ₅₀ : La dose létale des extraits des plantes	35
6. Étude de la cinétique de la mortalité.....	40
Conclusion	45
Annexe.....	48
Références bibliographiques.....	51

Résumé

Cette recherche s'intéresse au pouvoir insecticide de certains extraits aqueux issus de *Hammada scoparia*, une plante adaptée aux conditions extrêmes, récoltée à partir de deux zones arides d'Algérie : Ouled Djellal et Ghardaïa. Ces environnements rudes favorisent la synthèse de métabolites secondaires, notamment les composés phénoliques reconnus pour leurs effets biologiques.

Des tests de criblage phytochimique ont été menés afin de détecter la présence des principaux métabolites secondaires dans la partie aérienne de chaque espèce végétale. Des extractions aqueuse et hydrométhanolique ont été faites par la suite. Les polyphénols ont été ensuite dosés par la méthode de Folin-Ciocalteu. Des tests sont effectués in vitro dans le but d'évaluer le pouvoir bio-insecticide de nos extraits végétaux.

Les résultats ont montré que l'espèce *Hammada scoparia* présente une teneur en polyphénols totaux, atteignant 99,33 mg EAG/g MVS pour l'échantillon 01 d'Ouled Djellal et 85,87 mg EAG/g MVS pour l'échantillon 02 de Ghardaïa, pour l'extrait aqueux et une teneur plus élevée pour l'extrait hydro méthanolique : 496,89 mg EAG/g MVS pour l'échantillon 1 d'Ouled Djellal et 626,24 mg EAG/g MVS pour l'échantillon 02 de Ghardaïa.

Quant à l'activité biologique, les essais de toxicité, réalisés par contact et pulvérisation sur les imagos de *Tribolium castaneum*, ont révélé une faible mortalité chez les adultes. Cependant, les extraits ont provoqué des mortalités significatives envers les larves, dépendant des doses administrées et de la durée d'exposition.

Ces données mettent en lumière le potentiel insecticide de *Hammada scoparia*, soulignant son intérêt pour des stratégies de lutte biologique contre les ravageurs des denrées stockées. L'utilisation de cette plante pourrait constituer une alternative prometteuse aux insecticides chimiques, tout en réduisant leurs impacts nocifs sur la santé et l'environnement.

Mots-clés : *Hammada scoparia*, Ghardaïa, Ouled Djellal, Extrait brut aqueux, effet bio-insecticide, *Tribolium castaneum*.

Abstract

This study investigates the insecticidal potential of phenolic extracts from *Hammada scoparia*, a desert plant adapted to extreme conditions, collected from two arid regions of Algeria: Ouled Djellal and Ghardaïa. Such harsh environments promote the synthesis of secondary metabolites, especially phenolic compounds known for their diverse biological activities.

A phytochemical screening was conducted to detect the main families of secondary metabolites. Extracts were obtained using various methods: aqueous maceration, hydroalcoholic extraction, infusion, and decoction, followed by quantification of total polyphenol content. Extracts prepared from the aerial parts of the plant via aqueous and hydro methanolic maceration showed a high antioxidant content, particularly rich in flavonoids and gallic acid.

The results showed that the *Hammada scoparia* species has a total polyphenol content, reaching 99.33 mg EAG/g MVS for sample 01 from Ouled Djellal and 85.87 mg EAG/g MVS for sample 02 from Ghardaia, for the aqueous extract and a higher content for the hydro methanolic extract: 496.89 mg EAG/g MVS for sample 01 from Ouled Djellal and 626.24 mg EAG/g MVS for sample 02 from Ghardaia

The biological activity of the extracts was evaluated against *Tribolium castaneum*, a beetles of stored food products. Initial toxicity tests, performed via direct contact and spraying on adult insects, resulted in low mortality rates. However, larval bioassays, using contact application, showed significant mortality, dependent on dose and exposure time.

These findings highlight the insecticidal potential of *Hammada scoparia* extracts, particularly against larvae, and suggest the plant as a promising alternative in biological pest control strategies, potentially reducing the harmful effects of synthetic insecticides on human health and the environment.

Keywords: *Hammada scoparia*, *Tribolium castaneum*, Ghardaïa, Ouled Djellal, Phytochemical screening, Crude extract, Total polyphenols.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف الفعالية ضد الحشرات لنبات *Hammada scoparia* ، الذي تم جمعه من منطقتين جافتين في الجزائر: أولاد جلال وغرداية. يُميّز هذا النبات بقدرته على التكيف مع الظروف البيئية القاسية، مما يعزز إنتاجه للمواد الثانوية النشطة، خاصة المركبات الفينولية المعروفة بتأثيراتها البيولوجية.

تم إجراء اختبار كيميائي نباتي مبني للكشف عن وجود المركبات الثانوية في الأجزاء العلوية للنبات، ثم تم تحضير مستخلصات مائية وهيدروميثانولية. وتم قياس محتوى البوليفينولات باستخدام طريقة فولين-سيوكالتي. كما تم إجراء اختبارات بيولوجية مخبرية *in vitro* لتقييم الفعالية الحشرية للمستخلصات النباتية.

أظهرت النتائج أن نوع *Hammada scoparia* يحتوي على محتوى إجمالي من البوليفينول، حيث وصل إلى 99.33 ملغ EAG / غرام MVS للعيينة 1 من أولاد جلال و 85.87 ملغ EAG / غرام MVS للعيينة 2 من غرداية، للمستخلص المائي ومحتوى أعلى للمستخلص الهيدروميثانولي: 496.89 ملغ EAG / غرام MVS للعيينة 1 من أولاد جلال و 626.24 ملغ EAG / غرام MVS للعيينة 2 من غرداية.

أما من حيث النشاط البيولوجي، فقد أظهرت اختبارات السمية عن طريق التلامس والرش على حشرة *castaneum Tribolium* أن التأثير على الحشرات البالغة كان ضعيفاً، بينما لوحظت معدلات وفيات معتبرة لدى اليرقات، حسب الجرعة ومدة التعرض. تشير هذه النتائج إلى أن نبات *Hammada scoparia* يمتلك قدرة حشرية فعالة، مما يجعله خياراً محتملاً في برامج مكافحة الحيوية للآفات التي تُصيب المواد المخزنة، كبديل طبيعي وآمن للمبيدات الكيميائية، وبالتالي الحد من أثارها الضارة على الصحة والبيئة.

الكلمات المفتاحية:

Tribolium

Hammada scoparia ، غرداية، أولاد جلال، مستخلص مائي خام، تأثير حشري حيوي، *castaneum*.

Liste de figures

Figure n°	Titre	Page
Figure 01	Aspect morphologique de la partie aérienne de <i>Hammada scoparia</i> , plante xérophYTE du Sahara algérien (Peltier, 2023).	4
Figure 02	<i>Tribolium castaneum</i> (coléoptère rouge de la farine), adulte observé sur un substrat alimentaire. (Leeser und Will – SchädlingSbekämpfung GmbH, n.d.).	5
Figure 03	<i>Tribolium castaneum</i> (2 -ème stade de développement – stade larvaire) observée sur substrat alimentaire. Google. (2025).	7
Figure 04	Situation géographique et limites administratives de la région d'Ouled Djellal (Originale, 2025)	9
Figure 05	Situation géographique et limites administratives de la région de Ghardaïa (Originale, 2025)	12
Figure 06	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	26
Figure 07	Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada Scoparia</i> de la région de Oulad Djellal et Ghardaia.	27
Figure 08	Graphe présenté les effets larvicides d'extrait de <i>Hammada scoparia</i> issus de la région Oulad Djellal appliqué à différentes concentrations, et comparés à des témoins positifs et négatifs.	31
Figure 09	Graphe présenté les effets larvicides d'extrait de <i>Hammada scoparia</i> issus de la région Ghardaïa appliqué à différentes concentrations, et comparés à des témoins positifs et négatifs.	32
Figure 10	Droites de régressions des Probits de pourcentage de mortalité corrigé en fonction des logarithmes des doses des extraits de deux échantillons de <i>H. scoparia</i> vis-à-vis des larves de <i>T. castaneum</i> .	39
Figure 11	La cinétique de la mortalité cumulée observée chez les larves de <i>T. castaneum</i> témoins et traités par l'extrait de plantes de <i>H. Scoparia</i> de région Oulad Djellal	42
Figure 12	La cinétique de la mortalité cumulée observée chez les larves de <i>T. castaneum</i> témoins et traités par l'extrait de plantes de <i>H. Scoparia</i> de région de Ghardaia	43
Figure 13	Exemples de résultats de réactions de mise en évidence de quelques composants du métabolisme secondaire de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> .	50

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 01	Tableau récapitulatif des différents constituants chimiques de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> des régions Ghardaia et Ouled Djellal.	23
Tableau 02	Rendements d'extraction obtenus pour les deux espèces végétales distinctes.	24
Tableau 03	Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> de la région de Oulad Djellal et Ghardaia	27
Tableau 04	Doses létales 50 (DL ₅₀) des extraits des plantes étudiées de deux régions Oulad Djellal et Ghardaia plantes sur les larves de <i>Tribolium castaneum</i>	35

Liste des abbreviations

BWh	Climat désertique chaud
ONS	Office National des Statistiques
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
INCT	Institut National de Science et de Technologie
IGN	Institut Géographique National
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
HCl	Acide chlorhydrique
PH	Potentiel hydrogène
NH ₄ OH	Hydroxyde d'ammonium.
FeCl ₃	Chlorure ferrique
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique
EBA	Extrait brut aqueux
EHM	Extrait hydrométhanolique
RE	Rendement d'extraction
H ₃ PMO ₁₂ O ₄	Acide phosphomolybdique
H ₃ PW ₁₂ O ₄₀	Acide phosphotungstique
W ₈ O ₂₃	Tungstène
MO ₈ O ₃	Molybdène
Na ₂ CO ₃	Carbonate de sodium
EAG	Équivalent acide gallique
MVS	Matière végétale sèche
E	Evaluation
SM	Solution mère
DL ₅₀	La dose létale 50 %
PPT	Polyphénols totaux
R ²	Coefficient de régression
IND	Indéterminée
O	La region d'Ouled Djellal
G	La region de Ghardaia
ANDI	Agence Nationale de Développement de l'Investissement
CRC	Chemical Rubber Company
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
LMD	Licence – Master – Doctorat.
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique.

Introduction

Introduction

La sécurité alimentaire constitue l'un des défis les plus critiques du XXI^e siècle. À l'échelle mondiale, ce défi est exacerbé par une série de facteurs interdépendants : croissance démographique rapide, changements climatiques accentués, dégradation de la biodiversité, et raréfaction des ressources naturelles, notamment l'eau et les sols fertiles. Dans ce contexte, assurer un accès universel et durable à une alimentation saine, suffisante et nutritive reste un objectif stratégique majeur pour les gouvernements, les organisations internationales et les chercheurs (FAO, 2021).

L'un des maillons les plus vulnérables de la chaîne agroalimentaire reste la phase de post-récolte, en particulier le stockage des denrées alimentaires, qui constitue une période critique en matière de pertes quantitatives et qualitatives. Dans les pays en développement, où les infrastructures de stockage sont souvent inadéquates, les infestations par des insectes ravageurs représentent une cause majeure de détérioration des denrées stockées, avec des conséquences économiques, sanitaires et sociales considérables. Selon Pimentel (2005), jusqu'à 30 % des productions céréalières peuvent être perdues chaque année à cause de ces infestations.

Parmi les insectes nuisibles les plus courants, *Tribolium castaneum*, communément appelé *Tribolium* rouge de la farine, figure parmi les ravageurs secondaires les plus pernicioeux des denrées stockées. Ce coléoptère de la famille des *Tenebrionidae* s'attaque à une grande variété de produits : farine, blé, riz, maïs, semoule et produits transformés à base de céréales. Doté d'une capacité de reproduction élevée, d'une résilience écologique remarquable, et d'une large distribution géographique, *T. castaneum* est particulièrement difficile à éradiquer une fois installé dans un milieu de stockage (Campbell & Runnion, 2003). Les dégâts qu'il engendre ne sont pas uniquement physiques : il altère la qualité des denrées par la présence de déjections, mues, sécrétions odorantes et parfois même de moisissures, compromettant ainsi leur valeur nutritionnelle, leur qualité organoleptique et leur salubrité (Hill, 2002).

Historiquement, la lutte chimique a été la méthode privilégiée pour contrôler ces infestations. Les insecticides de synthèse, notamment les organophosphorés, les pyréthrinoides ou encore les fumigants comme le phosphore d'aluminium, sont massivement utilisés. Cependant, ces substances soulèvent de nombreuses problématiques, développement de résistances chez les insectes cibles, contamination de l'environnement (sols, eau, air), toxicité aiguë et chronique pour les humains

et les animaux, résidus chimiques dans les denrées alimentaires, impact négatif sur la biodiversité, notamment les insectes pollinisateurs et les ennemis naturels des ravageurs (Isman, 2006 ; Desneux et *al.*, 2007).

Face à ces limites, la recherche se tourne de plus en plus vers des alternatives écologiques et durables, notamment les insecticides d'origine végétale, appelés également biopesticides. Ces produits naturels, souvent extraits de plantes médicinales, aromatiques ou sauvages, contiennent des métabolites secondaires bioactifs aux propriétés insecticides, répulsives, antifeedantes ou perturbatrices du développement des insectes (Benelli et *al.*, 2018).

Parmi ces composés, les composés phénoliques (flavonoïdes, tanins, acides phénoliques, lignanes, etc.) occupent une place importante. Ils possèdent une large gamme d'activités biologiques, antioxydantes, antibactériennes, antifongiques et insecticides. Leur mécanisme d'action sur les insectes peut inclure l'altération du système nerveux, la perturbation hormonale, l'inhibition de la croissance et du développement, la détérioration des structures cellulaires, une action répulsive ou létale (Cosimi et *al.*, 2009).

Dans cette perspective, les plantes extrêmophiles apparaissent comme des candidates particulièrement intéressantes. Ces espèces végétales, capables de survivre dans des conditions environnementales extrêmes (sécheresse, salinité, température élevée, sols pauvres), développent des stratégies biochimiques d'adaptation leur permettant de synthétiser des métabolites secondaires parfois plus concentrés, plus diversifiés ou inédits comparés à ceux des plantes mésophiles (Flowers et *al.*, 2010 ; Ksouri et *al.*, 2012). Cette richesse biochimique confère aux extrêmophiles un potentiel inexploité en matière de bio-insecticides.

Parmi les plantes d'intérêt, *Hammada scoparia*, une espèce halophyte et xérophile du genre *Hammada*, présente des caractéristiques adaptatives remarquables. Utilisée traditionnellement dans certaines pharmacopées locales, elle pourrait également représenter une source prometteuse de composés insecticides naturels, notamment dans un contexte saharien ou aride.

Un aspect encore insuffisamment étudié dans l'utilisation des extraits végétaux est leur comportement photochimique, c'est-à-dire leur stabilité et leur activité biologique en présence de la lumière, en particulier la lumière solaire. Cette dimension est essentielle dans les conditions de stockage semi-ouvert ou non contrôlé, où les produits peuvent être exposés à des rayonnements

susceptibles de modifier leur structure chimique. Ces transformations peuvent être soit défavorables (perte d'activité), soit bénéfiques (activation de molécules ou transformation en composés plus actifs) (Arnold & Roberts, 2003). Comprendre ces interactions photochimiques est donc crucial pour optimiser l'utilisation des biopesticides dans des conditions réalistes d'application.

Dans ce contexte, le présent travail s'inscrit dans une approche pluridisciplinaire, à la croisée de l'entomologie, de la chimie des substances naturelles et de la physiologie végétale. Il vise à évaluer l'activité bio-insecticide des extraits aqueux de *Hammada scoparia* sur les larves et les adultes (imagos) de *Tribolium castaneum*. Caractériser les effets biologiques (toxiques, répulsifs ou perturbateurs) de ces extraits sur le développement du ravageur. Étudier l'influence de la lumière solaire sur la stabilité et l'efficacité insecticide des extraits, à travers des expérimentations de photodégradation ou photoactivation. Identifier les composés bioactifs responsables des effets observés, en mettant en relation leur profil phytochimique et leur activité biologique.

Les résultats attendus pourraient ouvrir la voie à une nouvelle génération de biopesticides adaptés aux milieux arides et semi-arides, intégrant les contraintes écologiques, économiques et sanitaires. Cette approche s'inscrit pleinement dans les principes de l'agroécologie, de la protection intégrée et du développement durable.

Matériels et méthodes

1. Matériels utilisés

1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour la réalisation de ce travail est présenté par une espèce végétale de la famille des *Amaranthaceae*, qui pousse spontanément au Sahara Algérien : *Hammada scoparia* ou Remth. Ozenda, P. (1991). *Flore et végétation du Sahara*. Paris: CNRS Éditions.

Sur le plan botanique, *Hammada scoparia* (Fig. 01), connue localement sous le nom de Remth, est une plante vivace à port variable, généralement arbustif ou suffrutescent, pouvant également adopter un aspect herbacé ou de petit buisson selon les conditions écologiques. Elle atteint rarement plus d'un mètre de hauteur et présente des tiges fortement ramifiées, de petites feuilles écailleuses et des fleurs discrètes groupées en épis. Ozenda, P. (1977). *Flore du Sahara*. Paris : CNRS Éditions.

Adaptée aux zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, *H. scoparia* est une espèce halophyte, c'est-à-dire capable de survivre dans des sols salins. Cette tolérance aux conditions environnementales extrêmes lui confère une grande résilience, faisant d'elle une plante typique des écosystèmes désertiques. Ozenda, P. (1991). *Flore et végétation du Sahara*. Paris : CNRS Éditions.



Figure 01 : Aspect morphologique et systématique de la partie aérienne et des inflorescences de *Hammada scoparia* dans son habitat saharien (Ozenda, 1991 ; Chaieb & Boukhris, 1998 ; Boucherit, Benabdeli, & Benaradj, 2018 ; Le Houérou, 1995).

1.2. Insectes

1.2.1. Imagos : Adultes de *Tribolium castaneum*

Tribolium castaneum est un petit coléoptère rougeâtre de la famille des *Tenebrionidae*, connu sous le nom de *Tribolium* rouge de la farine (Fig 02). C'est un ravageur commun des produits stockés, notamment des farines, céréales et autres denrées sèches (Sokoloff, 1972).

a) Morphologie

- **Taille** : Environ 3 à 4 mm de long.
- **Couleur** : Rouge brunâtre uniforme.
- **Corps** : Allongé, légèrement aplati, avec des antennes finement segmentées terminées en massue.
- **Élytres** : Durs, couvrant entièrement l'abdomen, finement striés de lignes parallèles. (Hill, 2002 ; Rees, 2004 ; Hagstrum & Subramanyam, 2009 ; Haines, 1991).



A



B

Figure 02 : *Tribolium castaneum* (coléoptère rouge de la farine), adulte observé sur un substrat alimentaire. (Leeser und Will – Schädlingsbekämpfung GmbH, n.d.).

L'échelle de grossissement pour l'image A est : $100 \text{ px} / 3 \text{ mm} = \sim 33 \text{ px/mm}$

L'échelle de grossissement pour l'image B est : $350 \text{ px} / 3 \text{ mm} \approx 116 \text{ px/mm}$

b) Cycle de vie

- **Œuf** : Petits (0,5 mm), blanchâtres.
- **Larve** : Vermiforme, blanchâtre à jaunâtre, avec une tête brunâtre.
- **Nymphe** : Blanche au début, devient foncée avant l'émergence de l'adulte.
- **Adulte** : Vivant plusieurs mois ; capable de se reproduire dès quelques jours après émergence.
- **Durée totale du cycle (à 30°C)** : environ 1 mois.
- **Conditions optimales** : 30–35°C et 70% d'humidité relative. (Howe, 1965; Hill, 2002; Rees, 2004; Hagstrum & Subramanyam, 2009; Haines, 1991).

c) Écologie et habitat

- **Alimentation** : Produits céréaliers (farine, pâtes, riz), graines, fruits secs, parfois nourriture animale.
- **Habitat** : Silos, moulins, entrepôts, cuisines domestiques.
- **Dégâts** : Ravageur majeur des denrées alimentaires stockées. Il contribue aussi à leur dégradation par contamination (excréments, mues). (Hill, 2002; Rees, 2004; Haines, 1991; Hagstrum & Subramanyam, 2009; Campbell & Runnion, 2003).

d) Importance scientifique

Tribolium castaneum est utilisé en biologie moléculaire et génétique, notamment pour des recherches sur :

- Le développement embryonnaire.
- L'évolution des insectes.
- La résistance aux insecticides.
- Le séquençage de son génome (terminé en 2008). (Richards *et al.*, 2008). *Et al.*,

1.2.2. Larve de *Tribolium castaneum*

Le *Tribolium* rouge de la farine est la forme immature de ce coléoptère nuisible bien connu dans les denrées stockées, notamment la farine, les céréales, les pâtes et autres produits secs.

Les larves (Fig. 03) se caractérisent par :

- **Apparence** : blanchâtre à brun clair, allongée, cylindrique, avec une tête plus foncée et trois paires de pattes bien visibles à l'avant.
- **Taille** : environ 3 à 5 mm à maturité larvaire.
- **Comportement** : très mobile, elle creuse dans la nourriture pour se nourrir et se développer.
- **Durée de développement** : dépend de la température et de l'humidité, mais le cycle complet (œuf à adulte) dure environ 1 à 3 mois. (Howe, 1965; Hill, 2002; Rees, 2004; Haines, 1991; Hagstrum & Subramanyam, 2009).



Figure 03 : *Tribolium castaneum* (2 -ème stade de développement – stade larvaire) observée sur substrat alimentaire. Google. (2025).

1.3.1. Site de prélèvement de l'espèce végétale

1.3.1.1. Région d'Ouled Djellal

Le premier échantillon de l'espèce végétale étudiée est obtenu à partir de la zone de Sidi Khaled qui se trouve à 8 km de la ville d'Oulad Djellal. Stade de prélèvement est plus évolué.

Cet échantillon est déposé, séché et broyé au sein du même Laboratoire de recherche du département de Biologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre de l'Université de Ghardaïa.

Géographiquement, la wilaya de Oulad Djellal, récemment érigée en wilaya à part entière dans le cadre du nouveau découpage administratif algérien, est située dans la région des Hautes Plaines sahariennes, au sud-est du pays. Elle s'étend sur une superficie d'environ 11 410 km². Elle est délimitée au nord par la wilaya de Biskra, à l'est par celle de El M'Ghair, au sud par la wilaya de Ouargla, et à l'ouest par la wilaya de Djelfa. Cette position géographique confère à Oulad Djellal un rôle de zone de transition écologique entre les steppes du Nord et les régions sahariennes plus arides du Sud. La région occupe également les contreforts sud des monts du Zab, entre Bou Saâda et Biskra, et possède un patrimoine archéologique notable, notamment autour de l'oued Djedi, où plusieurs stations ont été découvertes. (Ministère de l'Intérieur, 2021 ; GeoNames, n.d. ; Google Maps, n.d.). (Fig. 05)

La wilaya de Oulad Djellal est située :

- **Entre les parallèles** : environ 34°20' et 34°45' de latitude Nord
- **Entre les méridiens** : environ 5°40' et 6°10' de longitude Est. (GeoNames, n.d. ; Google Maps, n.d. ; Institut Géographique National [IGN] Algérie, n.d.).

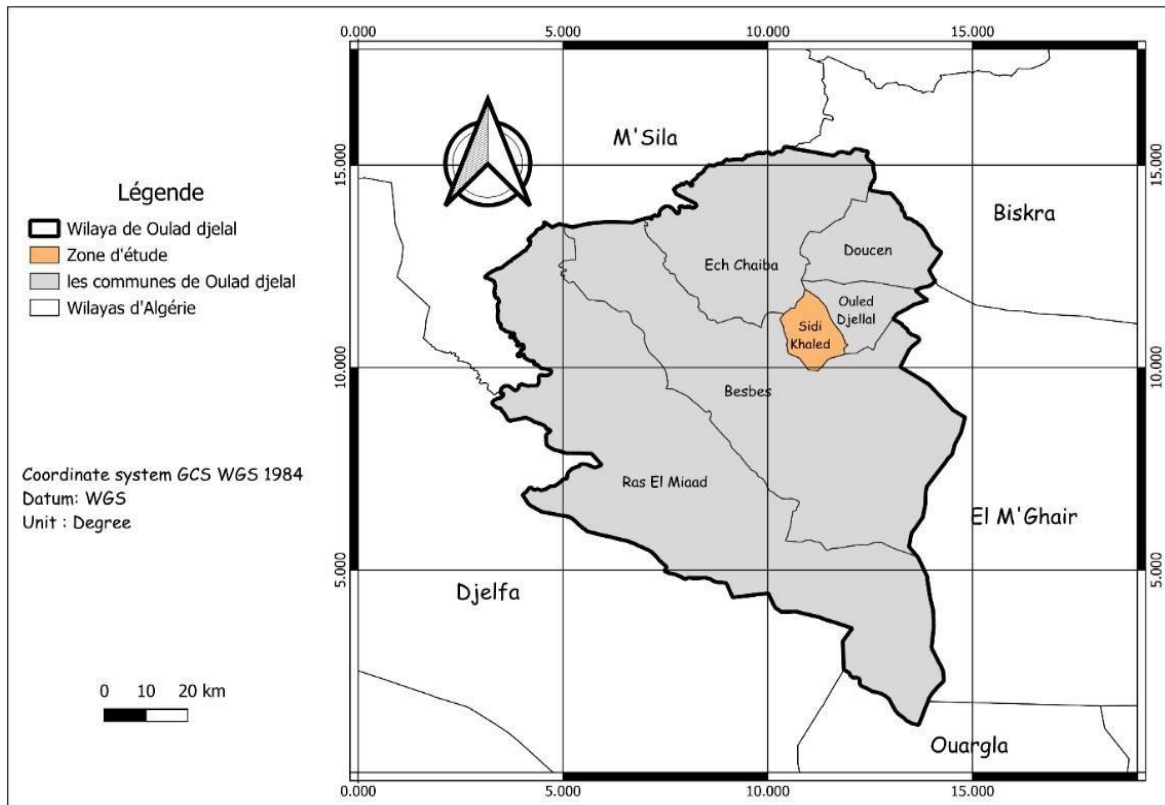


Figure 04 : Situation géographique et limites administratives de la région d'Ouled Djellal (Originale, 2025)

a) Facteurs climatiques et hydro géographique du site

La région de Oulad Djellal se caractérise par un climat désertique chaud de type BWh selon la classification de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007). Les étés sont longs, chauds et secs, avec des températures diurnes variant entre 35 et 45 °C, et des températures nocturnes comprises entre 25 et 35 °C. Les hivers sont doux à frais, avec des températures diurnes allant de 10 à 20 °C, et des températures nocturnes pouvant descendre jusqu'à -2 °C (Climate-Data.org, n.d.). Les précipitations annuelles sont très faibles, atteignant en moyenne 195,9 mm, et sont principalement concentrées en hiver et au début du printemps. La température moyenne annuelle est d'environ 22,4 °C. Les mois les plus favorables pour visiter la région sont généralement mars, avril, mai, septembre, octobre et novembre (Climate-Data.org, n.d.).

✓ (BWh) Climat désertique chaud

B : Zone aride (très faible précipitation annuelle, souvent inférieure à l'évaporation).

W : Désertique (moins de 250 mm de pluie par an).

h : Chaud (température moyenne annuelle > 18 °C).

b) Cortège floristique

La wilaya d'Ouled Djellal (anciennement rattachée à la wilaya de Biskra en Algérie) appartient à une zone aride à pré-saharo-saharienne, où le cortège floristique est principalement adapté aux conditions sèches, salines et sableuses. On y trouve typiquement des espèces steppiques et sahariennes.

Parmi les espèces principales, on peut citer selon Quézel et Santa (1962-1963) :

- *Retama retam* (Rétam)
- *Calligonum comosum* (Oudiad)
- *Tamarix gallica* (Tamaris)
- *Salsola tetrandra* (Chenopodiale halophyte)
- *Stipagrostis pungens* (graminée saharienne)
- *Artemisia herba-alba* (Armoise blanche)
- *Zygophyllum album* (Zygophylle blanc)
- *Astragalus armatus* (Astragale épineux)
- *Acacia raddiana* (Acacia saharien)

c) La texture de sol

La wilaya d'Oulad Djellal possède majoritairement des sols sablonneux à sablo-limoneux, légers et bien drainés, mais pauvres en matière organique et en éléments nutritifs. Le long des oueds, notamment l'oued Djedi, on trouve des sols alluviaux plus fertiles, adaptés à l'agriculture irriguée. Des zones salines et légèrement gypsifères sont aussi présentes, avec une sensibilité marquée à l'érosion éolienne. (INCT, 2019 ; FAO, n.d.).

1.3.1.2. Région de Ghardaïa

Le deuxième échantillon de l'espèce végétale étudiée a été prélevé durant le mois de février et à partir de la région de Ghardaïa au Sahara septentrional Algérien. Les parties aériennes de l'espèce sont prélevées à partir de Sebseb à 63 km de la région de Ghardaïa. Stade de prélèvement est plus évolué.

Cet échantillon est déposé, séchés et broyés au sein du Laboratoire de recherche du département de Biologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre de l'Université de Ghardaïa.

La région de Ghardaïa au sens large est située au centre de la partie nord du Sahara Algérien et au sud de la ville d'Alger, à une distance d'environ 632 km. Elle occupe une superficie de 86105 km².

Géographiquement, la wilaya de Ghardaïa, située au nord du Sahara central algérien, appartient à la région des Hauts Plateaux sahariens. Selon le nouveau découpage administratif algérien à 58 wilayas, elle est délimitée au nord par la wilaya de Laghouat, au nord-est par Djelfa, à l'est par Ouargla, au sud par In Salah, et à l'ouest par El Meniaa (Ministère de l'Intérieur, 2021). Elle s'étend sur une superficie d'environ 19 210 km² (Office National des Statistiques [ONS], 2021). Cette position géographique lui confère un rôle stratégique de zone de transition entre les hautes steppes sahariennes et le désert profond. Elle se distingue également par la vallée du M'zab, inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO.

La wilaya de Ghardaia est située :

- **Entre les parallèles** : environ 32°00' et 33°30' de latitude Nord
- **Entre les méridiens** : environ 2°30' et 4°30' de longitude Est. (GeoNames, n.d. ; Google Maps, n.d. ; Institut Géographique National [IGN] Algérie, n.d.).

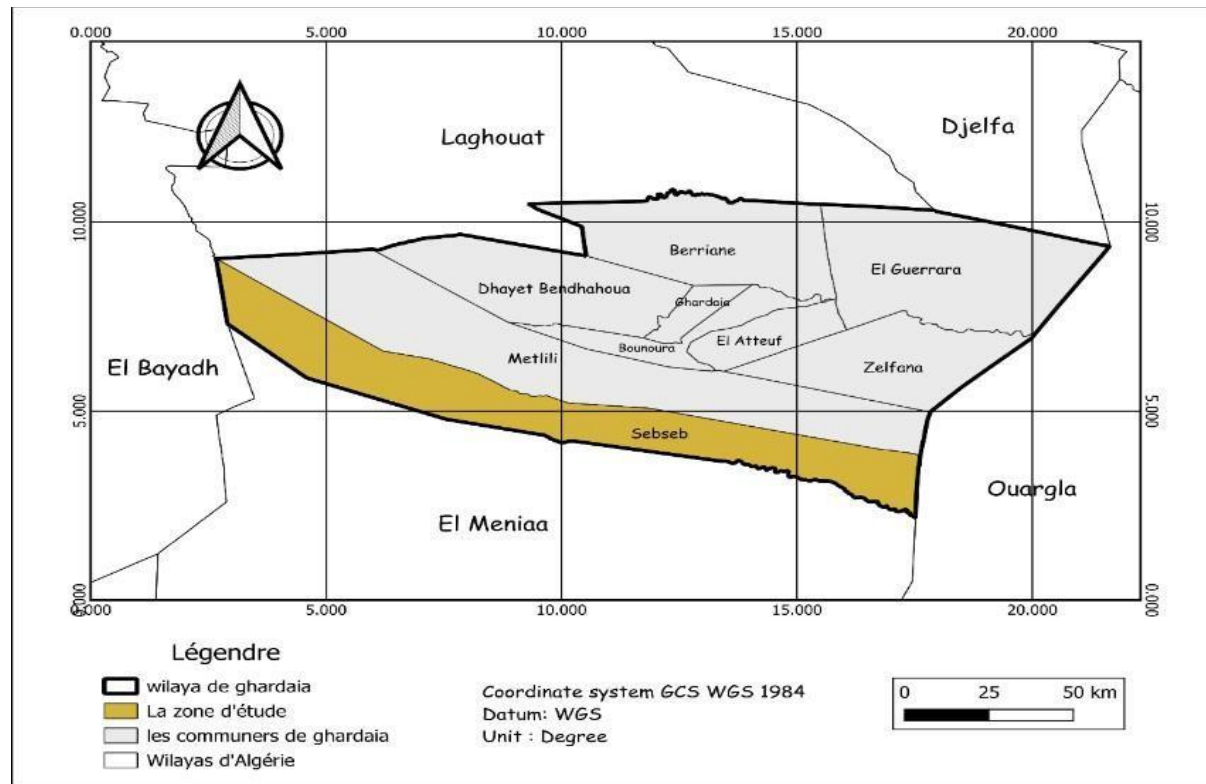


Figure 05 : Situation géographique et limites administratives de la région de Ghardaïa (Originale, 2025)

La Wilaya de Ghardaia est traversée du Nord au Sud par la route nationale 01 reliant Alger à la frontière Nigérienne.

a) Facteurs climatiques et hydro géographique du site

Le site de Ghardaïa présente un climat typiquement saharien aride, caractérisé par deux saisons distinctes : une période chaude et sèche d'avril à septembre, et une saison tempérée d'octobre à mars. On observe une amplitude thermique significative entre l'été (18°C à 48°C) et l'hiver (1°C à 25°C), tandis que l'automne et le printemps jouissent d'un climat plus doux avec un ciel dégagé prédominant. Les vents dominants varient selon la saison : Nord-Ouest en hiver, Sud-Ouest au printemps (souvent chargés de sable), et le Sirocco, vent du Sud très chaud, durant une grande partie de l'été. La pluviométrie annuelle est faible, n'excédant pas en moyenne 60 mm (Chenini et Chabou, 2012).

Sur le plan hydro géographique, le relief de la wilaya se compose principalement du

- Grand Erg oriental : une mer de sable avec des dunes atteignant jusqu'à 200 m de hauteur,

- La hamada : (un plateau caillouteux)
- La vallée du M'ZAB

Le sous-sol recèle une série de nappes aquifères exploitées par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois 120 m selon les zones (Chenini et Chabou, 2012 ; ANDI, 2013a). La présence de ces ressources hydriques souterraines a favorisé l'émergence d'oasis florissantes, riches en vergers de palmiers dattiers, et a encouragé le développement d'importantes exploitations agricoles.

b) Cortège floristique

Bien que la flore saharienne soit généralement considérée comme peu diversifiée au regard de l'immensité du désert, la wilaya de Ghardaïa, située dans le Sahara septentrional, présente une végétation notable grâce à la présence d'oasis le long de ses principaux oueds, notamment dans la vallée du M'Zab qui abrite un ensemble de cinq oasis. Si la culture du palmier dattier prédomine, l'agriculture à Ghardaïa se révèle relativement variée, incluant la production de légumes, d'arbres fruitiers, de céréales (orge et blé dur), ainsi que de l'arachide. De plus, le site recèle une diversité de plantes sauvages aux vertus médicinales, appartenant à différentes familles botaniques telles que les *Lamiaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae* et *Chenopodiaceae* .(Ozenda, 1977 ; Kemassi *et al.*, 2014 ; Bensaha et Arbouch, 2016).

c) Texture de sol

La wilaya de Ghardaïa présente des sols principalement sablonneux à sablo-limoneux, pauvres en matière organique et peu fertiles. Dans les zones oasiennes, notamment la vallée du M'zab, les sols sont plus fins et riches en limon, adaptés à l'agriculture irriguée. Des sols caillouteux (lithosols) et des croûtes salines ou gypseuses sont également fréquents, notamment dans les dépressions, avec un risque élevé d'érosion éolienne (FAO, n.d. ; INCT, 2019).

1.3.2. Echantillonnage

La méthode d'échantillonnage que nous avons adopté pour la réalisation de ce travail c'était celle basée sur le subjective qui consiste à prélever d'une manière aléatoire et simple de divers points du même pied de la plante considérée des feuilles et fleurs saines ou même des tiges ne présentant aucune lésion de même forme et de tailles différentes en fonction bien sûr de leurs âges, autrement dit ; nous avons réalisé une cueillette des feuilles et fleurs jeunes et adultes sur plusieurs pieds avec

des fragments de tige de *Hammada scoparia* afin d'éviter les risques de disparition de l'espèce végétale. (Poinsot, 2001).

1.3.3. Séchage, stockage et conservation

Afin de sécher nos espèces végétales, nous avons fait comme ce qui suit :

- **Récolte** : Sélectionnez des individus en bonne santé, exempts de maladies et de parasites. La récolte doit idéalement avoir lieu en matinée, une fois la rosée évaporée, pour éviter l'excès d'humidité qui pourrait favoriser la moisissure (Benzie et Wachtel-Galor, 2011).
- **Préparation** : Éliminez les parties endommagées (feuilles, tiges) et nettoyez soigneusement la plante, en veillant à retirer la poussière sans l'immerger complètement dans l'eau.
- **Séchage** : Suspendez les plantes en petits bouquets, la tête en bas, dans un endroit sec, sombre et bien ventilé pour préserver leur couleur et leurs principes actifs. La température idéale se situe entre 20°C et 30°C. (OMS, 2003)
- **Stockage** : Une fois séchés, conservez les plantes dans des contenants hermétiques, à l'abri de la lumière, de l'humidité et de la chaleur (Benzie et Wachtel-Galor, 2011).

2. Méthodes d'analyses

2.1. Tests biochimiques préliminaires

Nous avons entrepris un screening phytochimique afin de connaître les principaux constituants de notre espèce végétale *Hammada scoparia*. Ces tests sont réalisés sur toute la partie aérienne.

a- Recherche des Tanins

Selon Solfo, (1973) on prend 5 mL de l'infusé auxquels on ajoute 1 mL de la solution de Chlorure ferrique (FeCl_3) à 1% par goutte à goutte. L'apparition d'une coloration verdâtre indique la présence des tanins catéchiques et bleu noirâtre pour les tanins galliques.

b- Recherche des Flavonoïdes

La mise en évidence de la présence des flavonoïdes est effectuée en suivant la méthode de Harborne, (1973) par la réaction à la cyanidine avec légères modifications à propos des volumes des solutions de révélation ajoutées. 10 g de drogue pulvérisée sont macérés dans

150 mL d'HCl à 1 % pendant 24 Heures, après filtration de la solution obtenue ; 3mL d'alcool chlorhydrique (éthanol à 95°, eau distillée, acide chlorhydrique concentré) sont mis dans un tube à essai avec 1mL d'alcool isoamylique et quelques copeaux de magnésium.

L'apparition d'une couleur jaune claire dans la partie supérieure du tube indique la présence des flavonoïdes.

c- Recherche des Saponosides

Leur présence est déterminée quantitativement par le calcul de l'indice de mousse, degré de dilution d'un décocté aqueux donnant une mousse persistante dans des conditions déterminées. Deux grammes de matériel végétal sec et broyé sont utilisés pour préparer une décoction avec 100 mL d'eau. On porte à ébullition pendant 30 mn. Après refroidissement et filtration, on réajuste le volume à 100 mL. A partir de cette solution, on prépare dix tubes dans lesquels on met 1, 2, 3, ... 10 mL. Le volume final étant de nouveau réajusté à 10 mL avec de l'eau distillée. Les tubes sont agités fortement en position horizontale pendant 15 secondes. Après un repos de 15 minutes en position verticale, on relève la hauteur de la mousse persistante en cm. Si elle est proche de 1 cm dans le X^e tube, alors l'indice de mousse est calculé selon la formule suivante :

$$I = \frac{\text{Hauteur de mousse (en cm) dans le X}^{\text{e}} \text{ tube} \times 5}{X/100}$$

X : C'est l'ordre de tube qui présente une mousse de l'ordre de 1 cm de hauteur.

La présence des saponosides dans la plante est confirmée avec un indice supérieur à 100

(Dohou *et al.*, 2003).

d- Recherche des Anthocyanes

D'après Solfo, (1973) la recherche des anthocyanes repose sur le changement de la couleur de l'infusé à 10 % avec le changement de PH : on ajoute quelques gouttes d'HCl puis quelques gouttes de NH₄OH, le changement de la couleur indique la présence des anthocyanes.

e- Recherche des Leuco anthocyanes

A 5 mL de l'infusé, sont mélangés 4 mL d'alcool chlorhydrique (éthanol/ HCl pur 3/1 V/V). Après chauffage au bain marie à 50°C pendant quelques minutes, l'apparition d'une couleur rouge cerise indique la présence des leuco anthocyanes (Solfo, 1973).

f- Recherche des Alcaloïdes

Après une macération de 5 g de la partie aérienne séchées et broyées dans 50 mL d'HCl à 1%, le mélange est filtré puis soumis à l'action du réactif de Mayer ou Dragendorff (quelques gouttes). L'apparition d'un précipité blanc indique la présence des alcaloïdes (Bouquet, 1972).

g- Recherche des Terpènes

La recherche des terpènes est effectuée par le test Salkowski : A 5 mL d'infusé, 2 mL de Chloroforme et 3 mL d'acide sulfurique (H²SO₄) concentré sont soigneusement ajoutés. L'apparition d'un anneau brun rougeâtre à l'interphase indique la présence des terpènes (Rimjhim *et al.*, 2014). *Et al.*,

h- Recherche des Stérols

Les stérols sont mis en évidence par le test Liebermann-Burchard : un volume de 2 mL de l'infusé est mélangé avec 2 mL de chloroforme et 1 mL d'anhydride acétique. Ensuite, 2 gouttes d'acide sulfurique H²SO₄ concentré sont ajoutées. L'apparition d'une coloration rouge, qui vire en bleue et qui devient par la suite verte indique la présence des stérols (Rimjhim *et al.*, 2014).

2.2. Préparation des extraits bruts**2.2.1. Extrait brut aqueux**

L'extrait brut aqueux EBA est préparé selon la méthode de Majhenic *et al.* (2007) avec légères modifications concernant le volume du solvant utilisé. 5 ou 10 g de poudre végétale sont dissous dans 50 mL au lieu de 75 mL d'eau distillée, sous agitation magnétique pendant 2 à 3 heures à une température ambiante. Après filtration et pour un meilleur épuisement de la plante, trois autres extractions sont faites avec le même marc en utilisant le même volume d'eau distillée. Les filtrats ainsi obtenus sont évaporés à sec sous pression réduite à 65°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le résidu obtenu est récupéré avec du méthanol et la solution de l'extrait est ensuite conservée à 4°C.

2.2.2. Extrait hydrométhanolique

L'extrait hydrométhanolique EHM est préparé selon la méthode de Motamed et Naghibi, (2010) avec légère modification à propos des volumes des solvants utilisés. Une prise d'essai de l'ordre de 05 à 10 g de drogue végétale est mise à macérer dans un volume de 50 mL d'un mélange hydrométhanolique à raison de 1V/1V sous agitation magnétique pendant 2 à 3 heures à une température ambiante. Trois extractions hydrométhanoliques sont faites successivement avec le même marc de la même prise d'essai. Les filtrats recueillis sont évaporés à sec sous pression réduite à 55°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le résidu obtenu est récupéré avec du méthanol et la solution de l'extrait est ensuite conservée à 4°C.

2.3. Rendement d'extraction : Estimation de la teneur en matière sèche extraite

La teneur en extrait brut de produit végétale de plante étudiée est estimée via le calcul du rendement d'extraction. Ce dernier correspond au pourcentage du poids d'extrait obtenue par rapport au poids de la matière sèche de poudre végétale utilisée pour l'extraction (El Hachimi et al., 2015). Il est estimé en appliquant la formule suivante :

$$RE (\%) = (M_1/M_2) \times 100$$

Où :

- **RE (%)** = Rendement d'extraction exprimé en pourcentage.
- **M₁ (g)** = Masse de l'extrait brut obtenu après évaporation du solvant (matière extraite sèche).
- **M₂ (g)** = Masse de la matière végétale sèche utilisée pour l'extraction (prise d'essai).

2.4. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée par spectrophotométrie en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMO₁₂O₄) qui est réduit, lors de l'oxydation des composés phénoliques en mélange d'oxydes bleus de tungstène (W₈O₂₃) et de molybdène (MO₈O₃).

L'absorption maximale est comprise entre 700 et 760 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (Boizot, 2006). Le dosage de ces polyphénols a été effectué selon la méthode décrite par Singleton et Rossi (1965) : Un volume de 0.25 ml de

l'extrait végétal a été mélangé avec 1.25 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois dans de l'eau distillée). Après agitation puis incubation de 05 min, 1 ml de solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5 %) a été ajouté. Le mélange a été laissé au repos à l'obscurité et à température ambiante pendant 90 min avec agitation intermittente. L'absorbance de la solution résultante a été mesurée à 765 nm contre un blanc.

La teneur en polyphénols totaux dans les extraits bruts de nos plantes est exprimée en mg équivalent acide gallique par gramme de matière végétale sèche (mg EAG / g MVS). Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions expérimentales en utilisant l'acide gallique comme étalon (Li *et al.*, 2007).

2.5. Activité bio-insecticide

L'étude vise à évaluer l'activité insecticide des extraits bruts de l'espèce *Hammada scoparia* sur l'insecte ravageur des denrées stockées *Tribolium castaneum*. Cette espèce est connue pour sa résistance élevée aux insecticides de synthèse et constitue un bon modèle biologique pour le criblage de bio-insecticides d'origine végétale (Obeng-Ofori, 2007). L'expérimentation est effectuée au laboratoire selon une approche comparative basée sur différentes concentrations de l'extrait, des modalités d'application distinctes, ainsi que deux stades de développement de l'insecte.

L'expérimentation a porté sur différents stades de développement de *T. castaneum*, à savoir :

- Les larves (jeunes stades). 10 individus dans la boîte. 2 répétitions.
- Les adultes (imago). 6 individus dans la boîte. 2 répétitions.

Chaque stade a été traité séparément pour évaluer la sensibilité différentielle de l'insecte au composé bioactif selon son stade physiologique.

- Une surveillance continue a été effectuée toutes les deux heures, pendant une durée comprise 4 jours, selon les modalités expérimentales. Cette fréquence d'observation a permis de suivre précisément :
 - Taux de mortalité
 - Modification comportementale (fuite, inactivité, agressivité)
 - Temps de latence avant effets

- Effets sublétaux éventuels (léthargie, immobilisation)

2.5.1. Effet de toxicité sur les adultes de *Tribolium castaneum* (les imagos)

Nos expériences visent à évaluer l'efficacité de l'extrait de *Hammada scoparia* sur *Tribolium castaneum* en utilisant différentes méthodes d'extraction, concentrations et techniques d'application (contact et pulvérisation), ainsi qu'en explorant un effet synergique.

✓ Effet par Contact avec Agitation dans l'Eau Distillée (5g/50ml)

Deux extraits de plantes (Plante 01: 0,57 g/ml ; Plante 02: 1,87 g/ml) ont été préparés en agitant 5g de poudre végétale dans 50ml d'eau distillée et testés par contact. (E 01)

✓ Augmentation de la Concentration avec Agitation dans l'Eau Distillée (10g/50ml)

La concentration de l'extrait a été augmentée en agitant 10g de poudre de plante dans 50ml d'eau distillée (Plante 01: 1,51 g/ml ; Plante 02: 0,75 g/ml). (E 02)

✓ Technique de Pulvérisation avec les Concentrations Précédentes

Cette évaluation a testé une nouvelle méthode d'application (pulvérisation) en utilisant les concentrations de précédentes (Plante 01: 1,51 g/ml ; Plante 02: 0,75 g/ml). (E 03)

✓ Effet de Pulvérisation Synergique

Un effet synergique a été testé en combinant les extraits des deux plantes (aux mêmes concentrations : (Plante 01: 1,51 g/ml ; Plante 02: 0,75 g/ml) et en les appliquant par pulvérisation. (E 04)

✓ Changement de Solvant d'Extraction (Eau + Méthanol)

Pour améliorer l'extraction des composés actifs, l'eau distillée a été remplacée par un mélange eau-méthanol (10g de matière végétale dans 25 ml d'eau + 25 ml de méthanol). Cela a conduit à des concentrations nettement plus élevées (Plante 01: 2,641 g/ml ; Plante 02: 2,501 g/ml). La justification du choix du méthanol est bien expliquée (polarité, solubilité des composés organiques, pénétration tissulaire, extraction de composés phénoliques). (E 04)

Un total de six boîtes de Pétri ont été utilisées pour l'expérimentation, réparties sur deux plantes testées pour deux régions étudiées, les boîtes ont reçu des traitements à base d'extrait de *H. scoparia* à trois concentrations différentes (100% ou SM, 50% ou SM/2 et 25% ou SM/4).

Chaque boîte a été tapissée d'un papier filtre imbibé de 5,58 ml de l'extrait, selon la concentration assignée. Les échantillons étudiés ont été prélevés dans le milieu de stockage de farine prête à l'emploi. Les insectes ont été introduits dans les boîtes 6/10 individus pour chaque boîte.

Deux modes d'application ont été comparés :

- Application par contact direct (papier traité + 6 insectes introduits)
- Application par pulvérisation (extrait directement appliqué sur les insectes)

Ces modalités visent à observer les différences d'action selon la voie d'exposition, en tenant compte de la nature lipophile ou hydrophile des composés actifs.

2.5.2. Effet de toxicité sur les larves de *Tribolium castaneum*

Dans cette expérience, nous avons choisi de tester le deuxième stade de développement de *Tribolium castaneum*, à savoir le stade larvaire. Ce stade est particulièrement intéressant car les larves sont généralement plus sensibles aux agents toxiques que les adultes, en raison d'une cuticule plus fine et d'un système de détoxification encore immature. En comparaison, les adultes présentent une résistance plus marquée grâce à des mécanismes physiologiques mieux développés, tels qu'une barrière cuticulaire renforcée et une activité enzymatique de détoxification plus efficace (Oppert et al., 2015 ; Pavela, 2016).

Le même protocole a été appliqué aux adultes, avec un nombre fixe de 10 individus par boîte. Chaque traitement a été réalisé en trois répétitions pour le même extrait, en utilisant trois concentrations différentes (100%, 50% et 25%) par chaque répétition.

La mortalité cumulée a été utilisée pour estimer la DL₅₀ (La dose létale 50 %) lorsque cela était possible.

La DL₅₀ (dose létale 50 %) a été estimée lorsque les données le permettaient, afin de quantifier l'efficacité toxique des extraits.

Deux types de témoins ont été inclus dans le protocole :

- **Témoin négatif (-)** : boîte traitée avec le solvant eau distillé seul, sans extrait végétal, pour évaluer les effets liés uniquement au support ou au solvant (10 individus de larve *T. castaneum*).
- **Témoin positif (+)** : traitement avec un insecticide (le hilac) de référence connue, afin de comparer l'efficacité de l'extrait végétal avec celle d'un produit conventionnel (10 individus de larve *T. castaneum*).

Résultats et discussions

1. Tests biochimiques préliminaires

Les résultats de criblage phytochimique de la partie aérienne séchée des espèces végétales *Hammada Scoparia* pour la mise en évidence les principaux composés bioactifs de la partie aérienne des espèces xérophytes étudiées, est reportés dans le tableau (01) :

Tableau 01 : Tableau récapitulatif des différents constituants chimiques de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* des régions Ouled Djellal et Ghardaia.

Plante étudiée Composés chimiques	Plante 01 (Oulad Djellal)	Plante 02 (Ghardaia)
Tanins	(+)	(+)
Flavonoïdes	(+)	(+)
Saponosides	(+)	(+)
Anthocyanes	(+)	(+)
Leuco anthocyanes	(-)	(-)
Alcaloïdes	(+)	(+)
Terpènes	(+)	(+)
Stérols	(-)	(-)

(+) indique la présence, (-) indique l'absence

Généralement et à partir de l'ensemble de ce qui est dans le tableau ci-dessus, Les tests biochimiques préliminaires des différents composés de la partie aérienne de cette espèce végétale nous ont permis d'apprécier la qualité biochimique de notre espèce. Autrement dit, ces tests ont mis en évidence la présence de six composés du métabolisme secondaire (tanins galliques, flavonoïdes, saponosides, anthocyanes, alcaloïdes et terpènes) et l'absence de deux autres composés aussi importants : stérols et leuco anthocyanes.

Les composés du métabolisme secondaire sont mis en évidence par des réactifs spécifiques dans la figure 13 (voir l'annexe).

Cette richesse en alcaloïdes et en composés polyphénoliques en particulier nous montre la qualité biochimique supérieure de l'espèce végétale en question et par conséquent nous justifie l'usage traditionnel massif de la plante par la population des régions Ghardaia et Oulad Djellal. Nos résultats sont plus ou moins comparables avec ceux obtenus dans les travaux de (Alghazeer et *al.*, 2012a ; Ashraf et *al.*, 2013).

2. Rendement d'extraction : La teneur en matière sèche

La teneur en extrait brut du produit végétal étudié est déterminée à partir du rendement d'extraction, lequel représente le pourcentage de la masse d'extrait obtenu par rapport à la masse initiale de la poudre végétale sèche utilisée (El Hachimi et *al.*, 2015).

Tableau 02 : Rendements d'extraction obtenus pour les deux espèces végétales distinctes.

Le rendement \ Plante étudiée	Plante 01	Plante 02
EBA	78%	30,4%
EHM	58,5%	50,1%

Ces données sont catégorisées par région géographique et par le protocole d'extraction appliqué, permettant une analyse comparative des performances sous différentes conditions.

Le tableau ci-dessus présente une analyse comparative des rendements d'extraction pour *Hammada scoparia* (Plante 01: région d'Oulad Djellal et Plante 02: région de Ghardaïa) sous différentes conditions expérimentales. Les variables clés ici sont la concentration de matière volatile sèche (MVS) et la composition du solvant d'extraction.

L'espèce *H. scoparia* d'Oulad Djellal montre systématiquement des rendements d'extraction plus élevés dans toutes les conditions testées par rapport à l'échantillon de Ghardaïa. Ceci suggère des variations des influences environnementales différentes entre les deux régions, ce qui pourrait impacter la teneur en composés phytochimiques de la plante et leur extractibilité. Benamor, H., & Lakhdari, M. (2020). Kherbouche, M., & Belkheir, A. (2020).

Le ratio MVS/solvant est crucial. Pour l'échantillon d'Oulad Djellal, doubler la MVS de 5g à 10g dans 50 ml d'eau distillée réduit drastiquement le rendement de 78% à 45,4%. Cela indique probablement une saturation du solvant ou une efficacité d'extraction réduite due à une charge

solide plus élevée. En revanche, pour l'échantillon de Ghardaïa, doubler la MVS (de 5g à 10g dans 50 ml d'eau) n'a qu'un effet marginal sur le rendement (30,4% à 30,2%), suggérant que l'eau seule n'est pas un solvant très efficace pour les principaux composés extractibles de cette population spécifique d'*H. scoparia*.

L'ajout de méthanol améliore significativement les rendements pour les deux échantillons. En utilisant 10g de MVS avec un mélange de 25 ml d'eau + 25 ml de méthanol, le rendement pour l'échantillon d'Oulad Djellal passe de 45,4% (avec de l'eau seulement) à 58,5%. Plus frappant encore, le rendement de l'échantillon de Ghardaïa bondit de 30,2% à 50,1%. Cela souligne que les composés d'intérêt dans le *H. scoparia* sont plus solubles dans un mélange eau-méthanol que dans l'eau seule. Le méthanol, étant un solvant de polarité intermédiaire, est probablement plus efficace pour extraire un plus large éventail de métabolites secondaires, y compris ceux qui sont moins polaires ou semi-polaires et mal extraits par l'eau. Meziani, A., & Bensaad, A. (2019). Bouzidi, M., & Sahli, F. (2021).

Nos résultats concordent avec les connaissances existantes concernant l'extraction d'*Hammada scoparia*. Des études sur *H. scoparia* du sud-est algérien ont rapporté des rendements d'extraire aqueux brut (EBA) d'environ 44,44%. Notre rendement aqueux initial pour l'échantillon d'Oulad Djellal (78% avec 5g de MVS) est notablement plus élevé que cette valeur. Cette différence pourrait être attribuée à des variations dans les parties spécifiques de la plante utilisées, les conditions d'extraction précises (comme la température ou la durée), ou des différences intrinsèques dans le matériel végétal entre les études.

L'efficacité accrue de l'extraction avec le méthanol est cohérente avec la composition phytochimique connue de le *H. scoparia*, qui contient divers métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les alcaloïdes et les saponines. Benamor, H., & Lakhdari, M. (2020). Kherbouche, M., & Belkheir, A. (2020). Bouzidi, M., & Sahli, F. (2021).

Ces composés présentent souvent une meilleure solubilité dans les mélanges hydro-alcooliques. De plus, la variabilité des rendements observée entre les régions d'Oulad Djellal et de Ghardaïa est corroborée par des recherches indiquant que l'origine géographique influence la teneur en métabolites secondaires chez cette espèce. Kherbouche, M., & Belkheir, A. (2020).

Dans l'ensemble, ces résultats soulignent l'importance à la fois de l'origine géographique de la plante et de l'optimisation du système de solvants pour maximiser l'extraction des composés précieux d'*Hammada scoparia*.

3. Teneur des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux fait référence à la quantité globale de composés phénoliques présents dans un échantillon (extrait végétal, aliment, boisson, etc.). Elle est exprimée généralement en milligrammes d'équivalent acide gallique par gramme de matière végétale sèche (mg EAG/g MVS) ou par unité de volume, car l'acide gallique est le standard le plus couramment utilisé pour l'établissement de la courbe d'étalonnage dans la méthode de Folin-Ciocalteu.

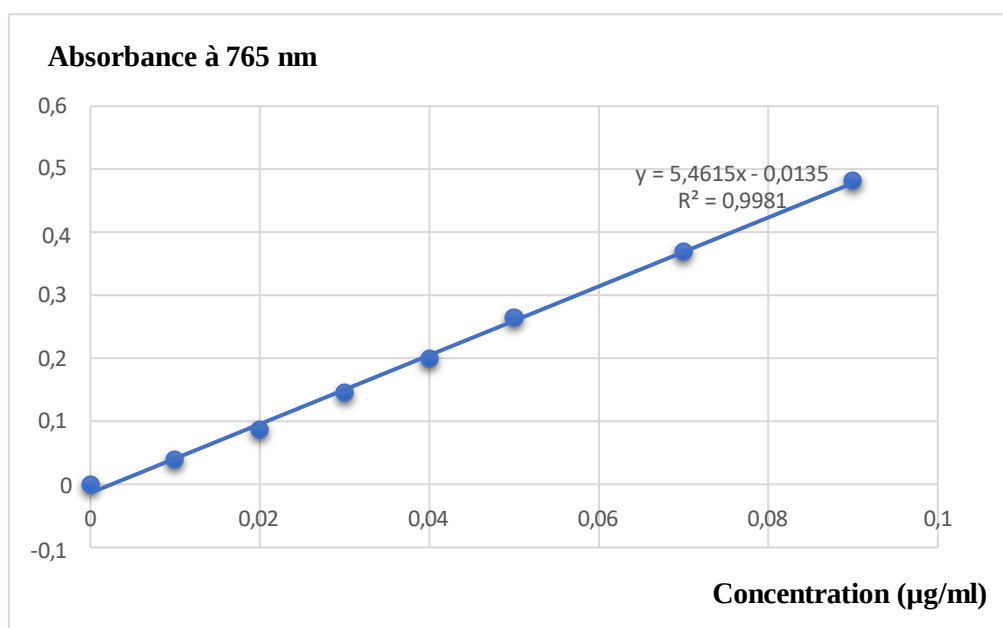


Figure 06 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

De la figure ci-dessus de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique et à partir de l'équation de régression linéaire, nous avons pu calculer la teneur en polyphénols totaux dans les différents extraits de notre plante *Hammada scoparia* des régions Ouled Djellal et Ghardaia au Sahara algérien. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 07 et tableau 03.

Tableau 03 : Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Oulad Djellal et Ghardaia

Teneur en PPT (mg EAG/g MVS)	Plante 01	Plante 02
Extraction aqueuse	99,33	78,97
Extraction hydrométhanolique	496,89	626,24

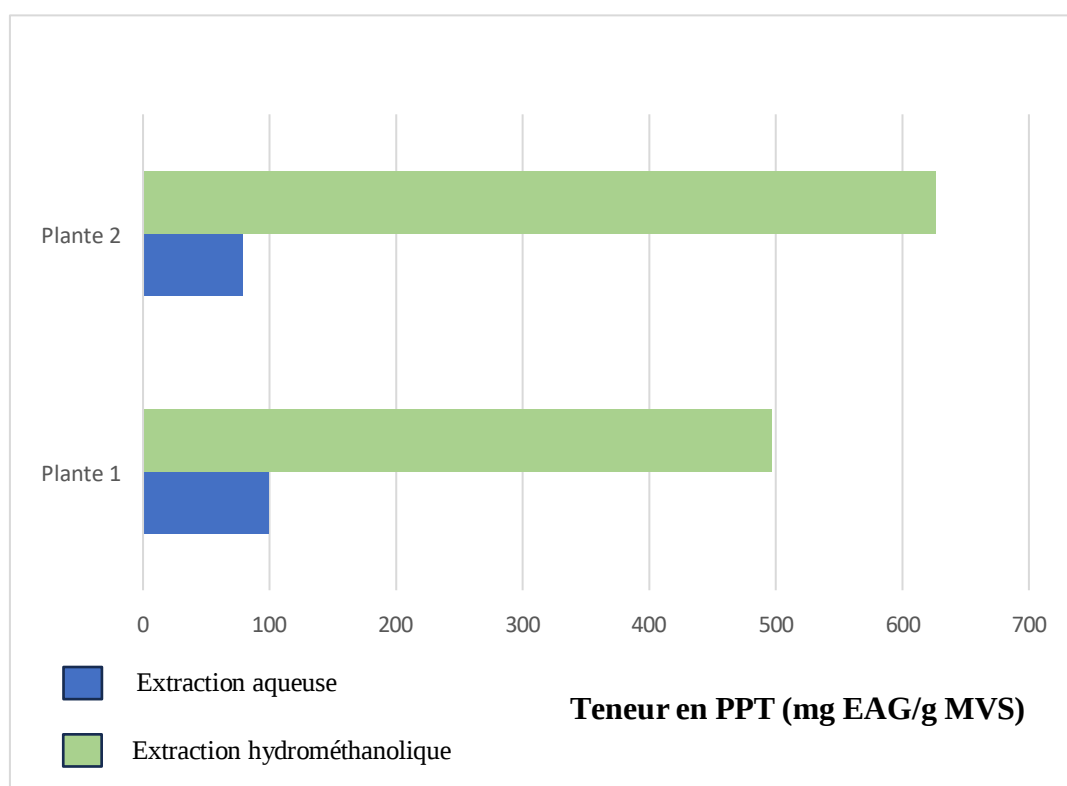


Figure 07 : Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada Scoparia* de la région de Oulad Djellal et Ghardaia.

Les résultats montrent des teneurs élevées en polyphénols totaux (PPT) dans les extraits hydrométhanoliques des deux plantes, avec une concentration particulièrement importante chez la plante 02 (Ghardaïa) : 626,24 mg EAG/g MVS, contre 496,89 mg EAG/g MVS pour la plante 01 (Ouled Djellal). En revanche, les extraits aqueux présentent des teneurs nettement plus faibles, notamment pour la plante 02 (78,97 mg) par rapport à la plante 01 (99,33 mg).

Cette différence souligne l'importance du solvant d'extraction dans la récupération des composés phénoliques, l'hydro méthanol étant bien plus efficace que l'eau seule (Sultana et al., 2009). Par ailleurs, l'origine géographique influence également la composition en métabolites, probablement en lien avec les conditions pédoclimatiques locales (Tattini et al., 2004).

4. Effet insecticide sur le *Tribolium castaneum*

Cette section vise à évaluer l'activité insecticide des extraits d'*Hammada scoparia* (issus des régions d'Oulad Djellal et Ghardaïa) contre le coléoptère ravageur des denrées stockées, *Tribolium castaneum* (le *Tribolium* rouge de la farine). L'utilisation de biopesticides à base de plantes constitue une alternative prometteuse aux insecticides synthétiques, face aux problèmes de résistance et de toxicité environnementale.

4.1. Effet de toxicité sur les adultes de *Tribolium castaneum* (les imagos)

Nos expériences visent à évaluer l'efficacité de l'extrait de *Hammada scoparia* sur *Tribolium castaneum* en utilisant différentes méthodes d'extraction, concentrations et techniques d'application (contact et pulvérisation), ainsi qu'en explorant un effet synergique.

En combinant les observations de toutes les expériences, il est clair que les extraits d'*Hammada Scoparia* n'ont montré aucune efficacité significative sur les adultes de *Tribolium castaneum* dans les conditions testées. Que ce soit avec des extraits aqueux à faible ou forte concentration (E 01 et E 02), par pulvérisation ou contact (E 03), même en combinant les extraits des deux plantes (E 04), ou en utilisant un solvant plus puissant comme le méthanol pour l'extraction (E 05), les résultats sont restés nuls. Ces observations confirment la résistance continue des insectes à l'extrait d'*Hammada scoparia*, soulignant son inefficacité comme agent de contrôle pour ce ravageur à l'état adulte.

L'ensemble de nos expériences a abouti à une conclusion unanime et cohérente : les extraits d'*Hammada scoparia* n'ont montré aucune efficacité significative contre les adultes de *Tribolium castaneum* dans toutes les conditions testées. Cette inefficacité est un résultat clair qui mérite une analyse approfondie.

Plusieurs points clés ressortent de nos observations :

➤ **Inefficacité persistante indépendamment de la concentration et du solvant**

Les expériences initiales avec des extraits aqueux, qu'ils soient à faible (E 01) ou à forte concentration (E 02), n'ont eu aucun impact sur la survie ou le comportement des adultes de *Tribolium castaneum*. Ce constat est renforcé par l'utilisation ultérieure d'un mélange eau-méthanol comme solvant d'extraction (E 05). Le méthanol est généralement plus efficace pour extraire une gamme plus large de composés phytochimiques, y compris les polyphénols et d'autres molécules potentiellement bioactives (Azmir et al., 2013). Le fait que même cet extrait enrichi n'ait pas montré d'efficacité suggère que les composés présents dans *Hammada scoparia* et extraits par ces méthodes n'ont pas de propriétés insecticides notables contre les adultes de *Tribolium castaneum*.

➤ **Inefficacité indépendamment de la méthode d'application**

Les différentes techniques d'application testées, à savoir le contact direct (E 01 et E 02) et la pulvérisation (E 03), n'ont pas non plus permis d'observer une quelconque efficacité. Cela indique que le problème n'est pas lié à une mauvaise absorption ou exposition des insectes à l'extrait, mais plutôt à l'absence de toxicité intrinsèque des composés extraits pour ce ravageur. La perméabilité de la cuticule des insectes et les mécanismes de détoxification peuvent jouer un rôle crucial dans la résistance aux substances externes (Mishra et al., 2018).

➤ **Absence d'effet synergique**

L'approche consistant à combiner les extraits des deux plantes (E 04) dans l'espoir d'un effet synergique s'est également avérée infructueuse. Cela suggère qu'aucune interaction positive entre les composés des deux plantes n'a été établie, ou que les substances actives potentiellement synergiques ne sont pas présentes ou extraites dans les conditions utilisées.

➤ **Résistance intrinsèque de *Tribolium castaneum***

Les résultats impliquent une résistance notable de *Tribolium Castaneum* aux extraits d'*Hammada Scoparia*. Cette résistance pourrait être due à plusieurs facteurs, tels que l'absence de composés toxiques spécifiques dans l'extrait pour cette espèce d'insecte, des mécanismes de détoxification très efficaces chez le ravageur – par exemple, via des enzymes comme les cytochromes P450 ou

les glutathion S-transférases (Yu, 2008), ou des barrières physiologiques (comme la cuticule épaisse) qui empêchent les composés actifs de pénétrer et d'atteindre leurs cibles.

Globalement, les résultats indiquent une absence d'efficacité de l'extrait de *Hammada Scoparia* dans les conditions testées.

Nos expériences démontrent de manière cohérente que, dans les conditions testées, l'extrait de *Hammada scoparia*, qu'il soit préparé avec de l'eau distillée ou un mélange eau-méthanol, et appliqué par contact ou pulvérisation (seul ou en combinaison), ne présente pas d'efficacité significative sur *Tribolium castaneum*.

4.2. Effet de toxicité sur les larves de *Tribolium castaneum*

Face aux résultats insatisfaisants obtenus précédemment avec les insectes adultes, notre objectif a été de réévaluer l'efficacité du même traitement en ciblant un stade de développement distinct de leur cycle de vie : le stade larvaire. Cette approche se justifie par des différences physiologiques et métaboliques significatives entre les stades adultes et larvaires, susceptibles d'influencer la sensibilité aux agents de contrôle.

4.3. Effet sur la mortalité

Les tests de toxicité menés sur les larves ont révélé une augmentation notable de la mortalité en comparaison aux résultats obtenus chez les adultes. Les extraits d'*Hammada Scoparia*, appliqués à différentes concentrations, ont induit une mortalité dose-dépendante, particulièrement significative à des concentrations élevées. Dès 24 heures après l'exposition, une mortalité initiale a été observée, atteignant un pic maximal après 48 heures, selon la dose et le mode d'application.

➤ L'extrait de plante d'Oulad Djellal

En fonction de la concentration appliquée et du mode d'administration, les extraits d'*Hammada Scoparia* ont induit des effets toxiques variables sur les larves, mettant en évidence une sensibilité accrue à ce stade de développement. Cette sensibilité particulière pourrait être attribuée à une cuticule plus perméable et à des mécanismes de détoxification encore immatures chez les larves. Les résultats issus des essais réalisés spécifiquement avec des extraits provenant de la région d'Oulad Djellal confirment cette vulnérabilité. Le taux de mortalité observé a augmenté de manière dose-dépendante, atteignant un pic maximal après 48 heures d'exposition. Ces données, présentées

dans la figure ci-dessus sous forme de graphiques à barres, illustrent clairement l'évolution de la mortalité en fonction des concentrations testées et du temps d'exposition, soulignant l'efficacité potentielle de cette plante saharienne en tant qu'agent larvicide naturel.

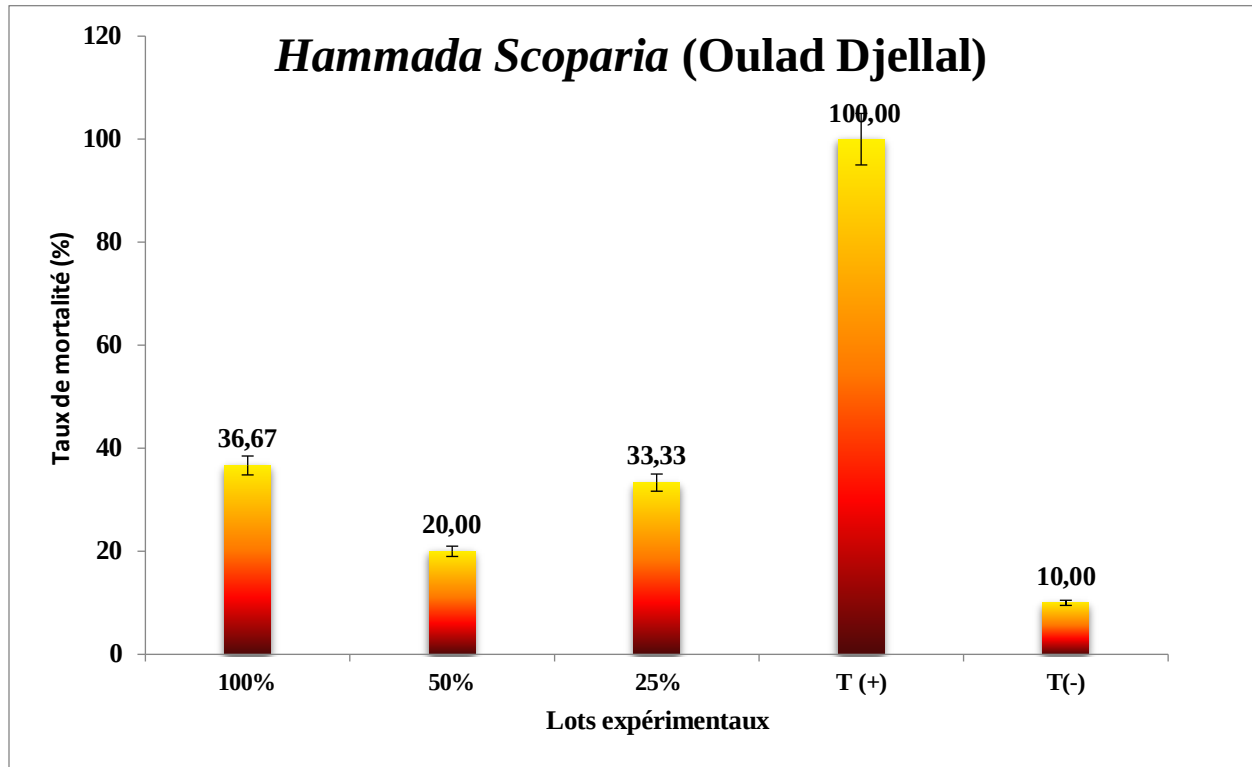


Figure 08 : Graphe présenté les effets larvicides d'extrait de *Hammada scoparia* issus de la région Oulad Djellal appliqué à différentes concentrations, et comparés à des témoins positif et négatif.

➤ L'extrait de plante de Ghardaia

Les extraits d'*Hammada Scoparia* provenant de Ghardaïa ont provoqué une mortalité larvaire significative, variable selon les concentrations et les modes d'application. Les larves, plus sensibles en raison de leur cuticule fine et de systèmes de détoxification encore immatures, ont montré une mortalité croissante dès 24 heures, atteignant un maximum à 48 heures. Les résultats, illustrés par des graphiques à barres, confirment l'activité larvicide de l'extrait de Ghardaïa et son potentiel en tant qu'agent de lutte biologique.

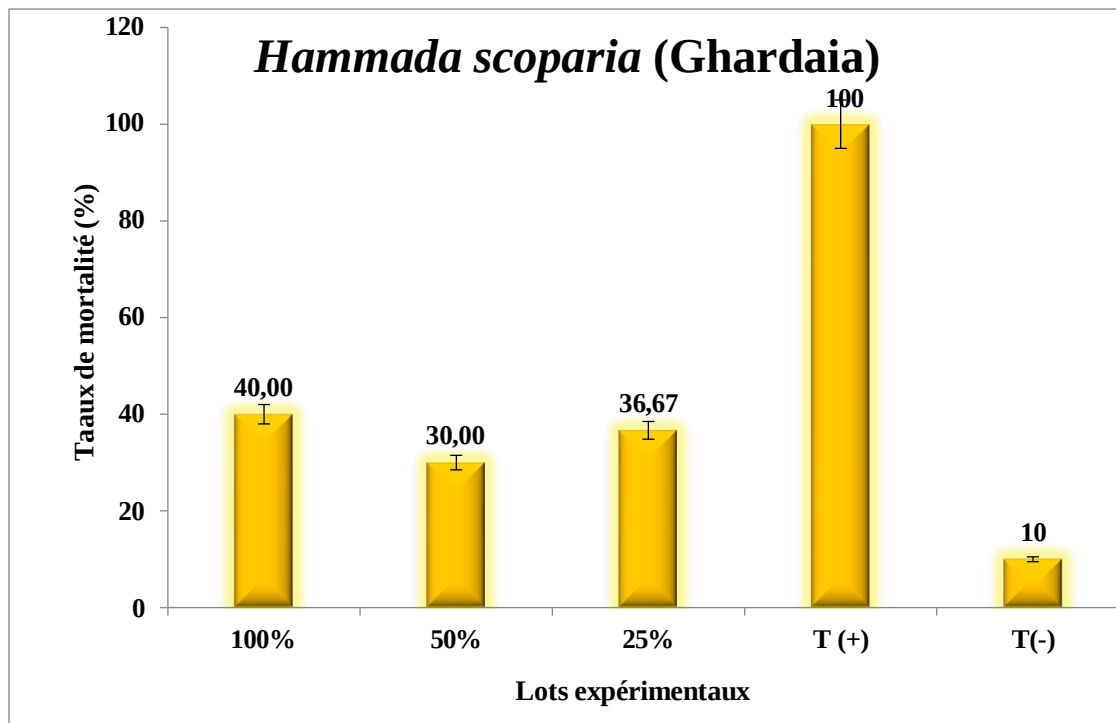


Figure 09 : Graphe présenté les effets larvicides d'extrait de *Hammada scoparia* issus de la région Ghardaïa appliqué à différentes concentrations, et comparés à des témoins positifs et négatifs.

4.4. Effet larvicide de *Hammada scoparia* – Région d'Oulad Djellal

Le premier graphique (figure 09) illustre l'effet larvicide des extraits de *Hammada scoparia* récoltée à Oulad Djellal. L'application de la solution mère (SM) a induit une mortalité larvaire de 36,67 %, tandis que les dilutions à $\frac{1}{2}$ SM et $\frac{1}{4}$ SM a causé des mortalités de 20 % et 33,33 % respectivement. Le témoin positif (T+), contenant un larvicide de référence, a entraîné une mortalité de 100 %, validant l'efficacité de la méthode. Le témoin négatif (T-) a provoqué une faible mortalité de 10 %, représentant les pertes naturelles ou dues au stress expérimental.

Ces résultats suggèrent une relation dose-dépendante, avec une efficacité accrue à forte concentration. L'extrait d'Oulad Djellal montre ainsi une activité larvicide modérée, potentiellement exploitable en lutte biologique.

4.5. Effet larvicide de *Hammada Scoparia* – Région de Ghardaïa

Le second graphique (figure 10) présente les résultats obtenus avec l'extrait de *Hammada scoparia* provenant de Ghardaïa. La solution mère (SM) a engendré un taux de mortalité de 40 %, légèrement supérieur à celui de l'extrait d'Oulad Djellal. Les concentrations à $\frac{1}{2}$ SM et $\frac{1}{4}$ SM ont respectivement induit des mortalités de 30 % et 36,67 %. Là encore, le témoin positif (T+) a produit une mortalité de 100 %, et le témoin négatif (T-) reste constant à 10 %.

Ces résultats confirment une efficacité larvicide légèrement supérieure de l'extrait de Ghardaïa par rapport à celui d'Oulad Djellal. Cela peut être lié à une différence dans la composition phytochimique, influencée par des conditions écologiques spécifiques à chaque région (climat, nature du sol, altitude).

En comparant les deux provenances :

- ✓ L'extrait de Ghardaïa montre une efficacité globale plus élevée, y compris à concentrations réduites.
- ✓ Les deux extraits présentent une activité biologique significative, mais aucun n'atteint l'efficacité du larvicide de référence.

Cette variation régionale pourrait refléter des différences dans la concentration de métabolites secondaires bioactifs (flavonoïdes, alcaloïdes, tanins, saponines...).

➤ Effet dose-dépendant

La solution mère (SM) a causé une mortalité significative (36,67 %), alors que la demi-concentration [$\frac{1}{2}$ SM] en a causé seulement 20 %.

Curieusement, [$\frac{1}{4}$ SM] a entraîné une mortalité (33,33 %) plus élevée que [$\frac{1}{2}$ SM], ce qui pourrait être dû à des variations expérimentales ou des effets biologiques non linéaires (ex. : effet hormétique ou saturation de voies métaboliques).

Ces résultats confirment néanmoins une tendance globale dose-dépendante.

➤ **Comparaison avec les témoins**

Le contrôle positif (T +) affiche une mortalité de 100 %, validant l'efficacité de l'expérience.

Le contrôle négatif (T –) montre une faible mortalité (10 %), ce qui démontre que les larves ne meurent pas spontanément dans les conditions du test.

➤ **Sensibilité larvaire**

Comme mentionné dans le texte, les larves présentent une sensibilité accrue due à une cuticule plus perméable et une faible capacité de détoxification, ce qui explique pourquoi même les faibles concentrations ont un effet notable.

➤ **Études similaires sur *Hammada scoparia***

Une étude menée par Boukhatem et al. (2014) a montré que les extraits méthanoliques de *H. Scoparia* ont un effet insecticide significatif contre les coléoptères et les moustiques, en particulier au stade larvaire.

De même, Benhammou et al. (2010) ont rapporté une forte activité larvicide, corroborant l'efficacité dose-dépendante observée ici.

➤ **Plantes médicinales sahariennes comparables**

Des résultats similaires ont été observés avec *Artemisia herba-alba* ou *Thymus vulgaris*, qui montrent aussi des effets toxiques accrus sur les larves en raison de leur développement physiologique incomplet (cf. Mansour et al., 2011).

D'autres recherches (ex. : Khelil et al., 2012) confirment l'intérêt des plantes sahariennes pour le contrôle biologique des insectes nuisibles.

Les deux extraits de *Hammada scoparia* ont démontré un effet larvicide réel, avec une efficacité dose-dépendante et une différence significative entre les deux régions d'origine. Celui de Ghardaïa semble plus performant, mais les deux présentent un intérêt certain comme agents larvicides naturels, pouvant être utilisés dans des stratégies de lutte intégrée contre les vecteurs de maladies. Une analyse chimique approfondie est recommandée pour identifier les composés actifs responsables de cette toxicité.

5. DL₅₀ : La dose létale des extraits des plantes

La DL₅₀ (Dose Létale 50 %) représente la dose d'un agent toxique (ici un extrait de plante) nécessaire pour provoquer la mort de 50 % d'une population d'organismes testés, généralement dans un laps de temps défini (souvent 24 ou 48 heures).

Elle est exprimée en général en mg/mL, µg/mL, mg/kg, ppm, selon le contexte (biologique, pharmacologique, entomologique, etc.).

Tableau 04 : Doses létales 50 (DL₅₀) des extraits des plantes étudiées de deux régions Oulad Djellal et Ghardaia plantes sur les larves de *Tribolium castaneum*

Doses létales 50 (LD ₅₀) des extraits de plante <i>Hammada scoparia</i> de la région d'Oulad Djellal sur les larves de <i>Tribolium Castaneum</i>			
Temps d'exposition	Equation de Régression	Coefficiente de régressions	LD ₅₀ Dose létale [mL/mL]
Après 8h	$y = -0,279x + 3,4331$	$R^2 = 0,75$	2,42031E-06
Après 24h	$y = -1,2806x + 2,2643$	$R^2 = 0,9415$	0,007306943
Après 36h	$y = -1,4583x + 2,1388$	$R^2 = 0,9953$	0,010914138
Après 48h	$y = 1E-14x + 4,389$	$R^2 = 2E-28$	0
Doses létales 50 (LD ₅₀) des extraits de plante <i>Hammada scoparia</i> de la région de Ghardaia sur les larves de <i>Tribolium Castaneum</i>			
Temps d'exposition	Equation de Régression	Coefficiente de régressions	LD ₅₀ Dose létale [mL/mL]
Après 8h	0	$R^2 = \#N/A$	IND
Après 24h	$y = 0,1777x + 4,4577$	$R^2 = 0,0924$	2,8871796
Après 36h	$y = 0,1644x + 4,5881$	$R^2 = 0,2308$	320,23917
Après 48h	$y = -1E-14x + 4,5367$	$R^2 = 0$	0

L'analyse des résultats obtenus pour les extraits de *Hammada scoparia* sur les larves de *Tribolium Castaneum* montre une variation importante de la toxicité selon la région d'origine de la plante et le temps d'exposition.

➤ Extraits de la région d'Oulad Djellal

Les extraits provenant d'Oulad Djellal révèlent une toxicité marquée dès les premières heures d'exposition. Après seulement 8 heures, la DL_{50} mesurée est extrêmement faible, atteignant $2,42 \times 10^{-6}$ mL/mL, ce qui reflète une activité larvicide très rapide et puissante. Cette efficacité se confirme à 24 heures, avec une DL_{50} de 0,0073 mL/mL, puis à 36 heures avec une légère augmentation à 0,0109 mL/mL, ce qui reste néanmoins dans une fourchette considérée comme hautement toxique selon les critères de Pavela (2016) et Isman (2008), qui considèrent des DL_{50} inférieures à 0,01 mL/mL comme hautement efficaces.

Le coefficient de régression associé aux modèles utilisés pour calculer ces valeurs est élevé, notamment $R^2 = 0,9415$ à 24h et $R^2 = 0,9953$ à 36h, ce qui indique une forte corrélation entre les concentrations appliquées et les taux de mortalité observés. Cela renforce la fiabilité des données et la robustesse de l'effet larvicide observé. En revanche, la valeur calculée à 48 heures ($DL_{50} = 0$) accompagnée d'un coefficient de régression nul ($R^2 \approx 0$) laisse penser à une erreur statistique ou une inadéquation du modèle mathématique pour cette série de données. Elle ne peut donc pas être considérée comme fiable.

En somme, les extraits d'Oulad Djellal affichent une efficacité larvicide élevée, rapide et stable jusqu'à 36 heures, ce qui en fait un excellent candidat pour un usage biologique ciblé contre les larves de coléoptères ravageurs.

➤ Extraits de la région de Ghardaïa

En contraste marqué, les extraits de *Hammada scoparia* provenant de Ghardaïa montrent une toxicité nettement plus faible. Aucune valeur de DL_{50} n'a pu être déterminée à 8 heures d'exposition (S), ce qui suggère une absence d'effet létal mesurable dans ce délai. À 24 heures, la DL_{50} atteint 2,88 mL/mL, ce qui est plusieurs centaines de fois supérieures à celle observée pour Oulad Djellal, traduisant une efficacité très faible. Ce constat s'aggrave encore à 36 heures, où la DL_{50} atteint un niveau extrêmement élevé de 320,23 mL/mL, ce qui sort largement des normes d'efficacité acceptables pour un biopesticide.

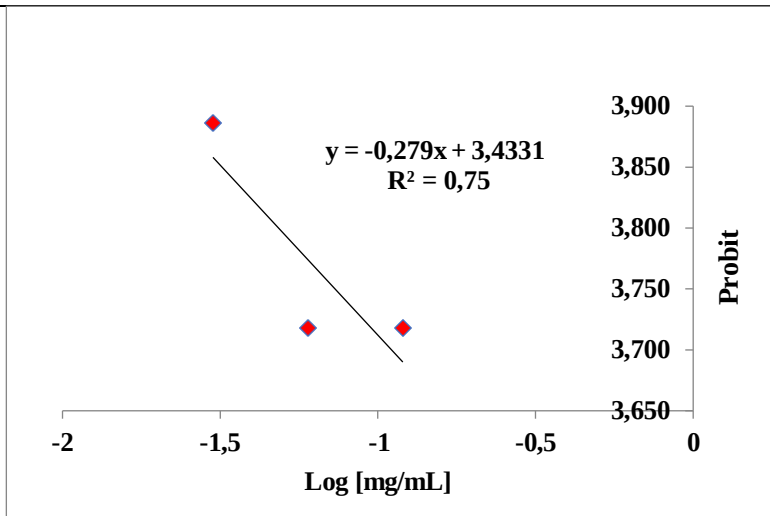
En parallèle, les coefficients de régression de ces modèles sont très bas ($R^2 = 0,0924$ à 24h et $R^2 = 0,2308$ à 36h), ce qui traduit une faible cohérence entre les concentrations appliquées et les

mortalités obtenues. La donnée enregistrée à 48 heures ($DL_{50} = 0$, avec $R^2 = 0$) ne peut pas non plus être considérée fiable et semble refléter une anomalie statistique.

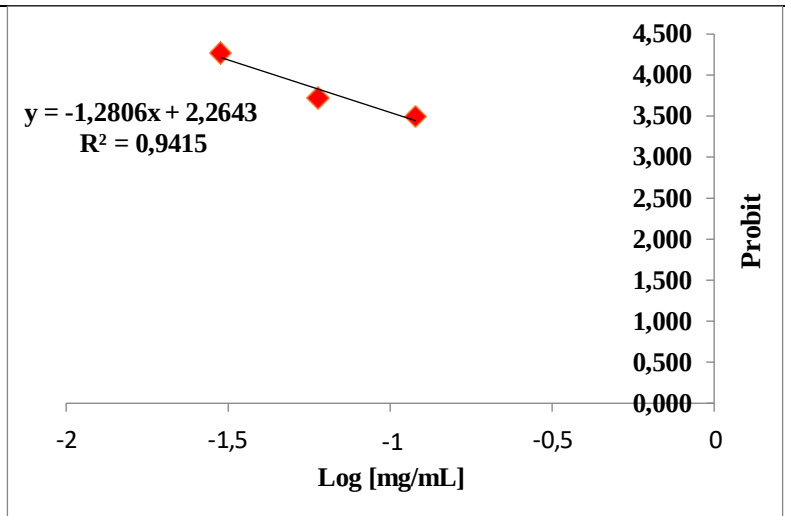
Ces résultats suggèrent que les extraits de Ghardaïa ne possèdent pas une activité larvicide exploitable dans les conditions expérimentales utilisées. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette inefficacité : une moindre concentration en composés actifs (alcaloïdes, flavonoïdes, saponines, etc.), une dégradation des principes actifs liée à l'environnement, ou encore des différences de sol et de climat influençant la composition chimique de la plante, comme le confirment Kaouadji et al. (2017).

➤ **Comparaison générale entre les deux provenances**

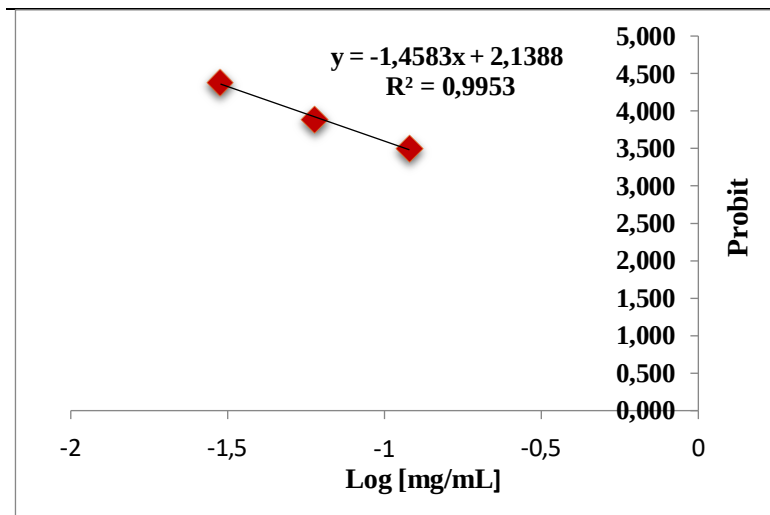
La comparaison des deux origines montre sans équivoque que les extraits de la région d'Oulad Djellal sont significativement plus efficaces que ceux de Ghardaïa dans la lutte contre *Tribolium castaneum*, avec des valeurs de DL_{50} inférieures à 0,01 mL/mL, contre des valeurs supérieures à 2 mL/mL pour Ghardaïa. Cette différence marquée pourrait être liée à la variation géographique et écologique, un phénomène bien documenté dans les travaux de Pavela (2016) et Abbassi et al. (2004), qui indiquent que le contenu en métabolites secondaires des plantes peut varier considérablement selon l'environnement, l'altitude et le stress hydrique.



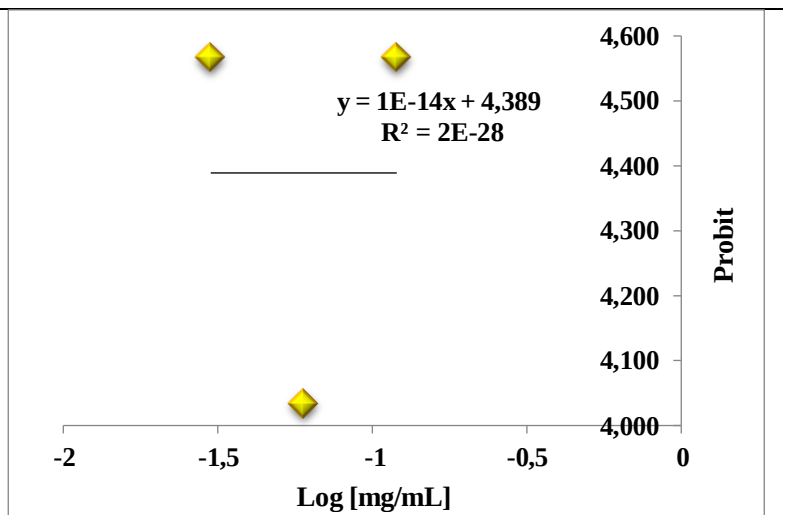
A- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région d'Oulad Djellal sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 8 heures exposition



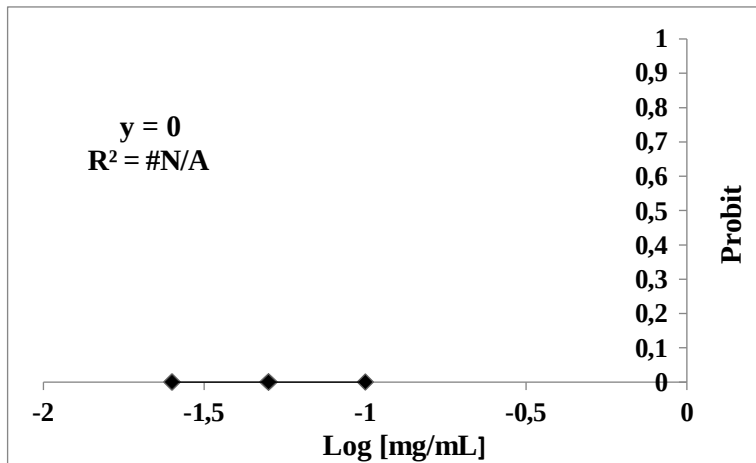
B- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région d'Oulad Djellal sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 24 heures exposition



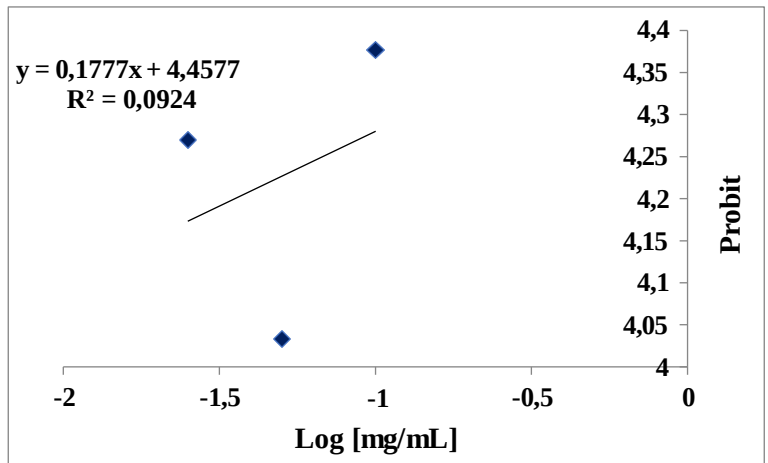
C- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région d'Oulad Djellal sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 36 heures exposition



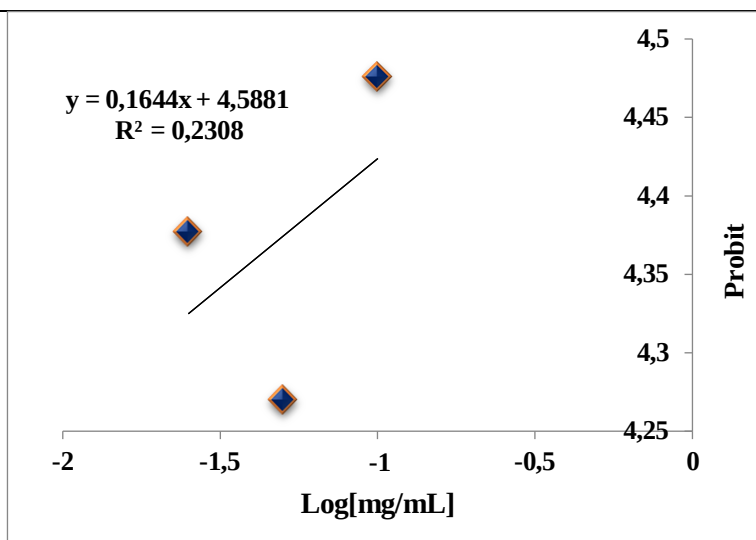
D- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région d'Oulad Djellal sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 48 heures exposition



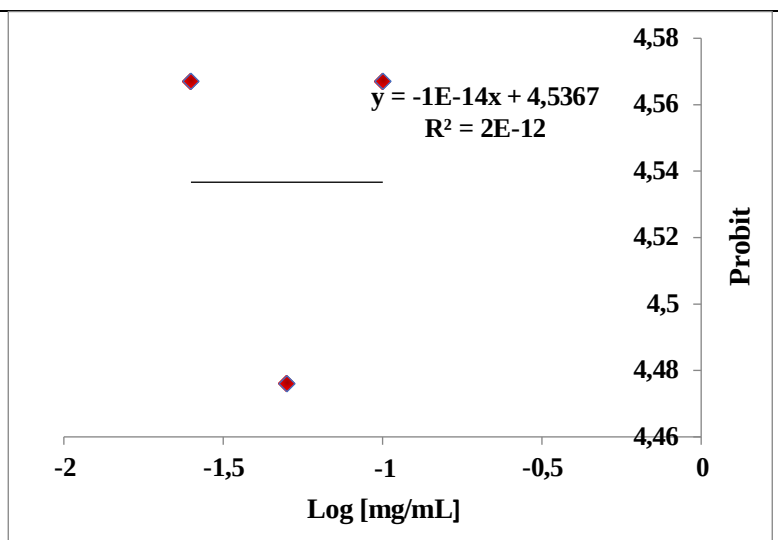
E- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région de Ghardaia sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 8 heures exposition



F- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région de Ghardaia sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 24 heures exposition



G- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région de Ghardaia sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 36 heures exposition



H- Effet de la concentration de l'extrait de *H. Scoparia* de la région de Ghardaia sur la mortalité des larves *T. castaneum* après 48 heures exposition

Figure 10 : Droites de régressions des Probits de pourcentage de mortalité corrigé en fonction des logarithmes des doses des extraits de deux échantillons de *H. scoparia* vis-à-vis des larves de *T. castaneum*.

6. Étude de la cinétique de la mortalité

La cinétique de la mortalité représente l'évolution temporelle du taux de mortalité des insectes exposés à un agent toxique, ici des extraits végétaux. Elle permet d'évaluer non seulement l'intensité de l'effet larvicide, mais également sa rapidité d'action (toxicité aiguë vs progressive).

Les résultats présentés dans les deux graphiques montrent clairement une différence significative dans l'efficacité des extraits d'*H. scoparia* en fonction de leur origine géographique. Cette différence est manifeste aussi bien dans le taux de mortalité que dans la vitesse d'action sur les larves de *T. castaneum*.

Dans le cas de l'extrait de la région d'Oulad Djellal (figure 12), la courbe de mortalité montre une action progressive et relativement lente. La mortalité à 48 heures atteint environ 34 % pour la solution mère (SM), ce qui reflète une certaine efficacité, mais qui reste modérée comparée aux standards d'insecticides naturels. La dilution à ½ SM entraîne une mortalité plus faible (~17 %), indiquant une relation dose-réponse partielle. Ce comportement suggère que l'activité insecticide de cet extrait dépend de la concentration, mais que sa biodisponibilité ou sa composition en composés actifs pourrait être insuffisante pour provoquer des mortalités massives en peu de temps.

En revanche, l'extrait de Ghardaïa (figure 13) se distingue par une cinétique de mortalité plus rapide et plus marquée, atteignant 38 % dès la concentration ¼ SM à 48h, et environ 33 % avec la solution mère. Cela pourrait s'expliquer par une concentration plus élevée en métabolites secondaires à activité insecticide, tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins ou les saponines, largement décrits dans la littérature comme responsables des propriétés toxiques et répulsives de nombreuses plantes médicinales (Raguraman & Singh, 2002 ; Isman, 2006).

Cette différence d'efficacité entre les deux extraits pourrait être attribuée aux conditions agro-climatiques régionales. En effet, il est bien établi que les facteurs environnementaux comme le stress hydrique, l'exposition solaire, la nature du sol et la température influencent la synthèse et l'accumulation des métabolites secondaires dans les plantes (Gershenzon & Dudareva, 2007). Ghardaïa, avec son climat plus aride et ensoleillé, pourrait favoriser la production de molécules bioactives, rendant l'extrait local plus puissant en termes d'effet insecticide.

De plus, les résultats sont à mettre en parallèle avec d'autres travaux sur *T. castaneum*. Par exemple, une étude de Koul et al. (2004) sur des extraits de *Azadirachta indica* (neem) a montré

une mortalité de plus de 90 % chez *T. castaneum* après 48h à des concentrations élevées, confirmant l'efficacité de certains extraits botaniques très riches en composés actifs. De même, Pavela (2008) a étudié plusieurs huiles essentielles et extraits végétaux, dont ceux de *Thymus vulgaris* et *Ocimum basilicum*, démontrant des taux de mortalité allant de 60 % à plus de 95 % en 24 à 48 heures, selon la concentration et la formulation.

Par ailleurs, les faibles mortalités enregistrées dans les témoins négatifs (T-) pour les deux régions (< 10 %) indiquent que les effets observés sont bien dus à l'activité des extraits, et non à des facteurs de stress environnementaux ou à une toxicité du solvant utilisé. La mortalité constante et totale des témoins positifs (T+) dès 8h valide également la sensibilité du bio-essai et confirme que *T. castaneum* est un bon modèle pour tester l'efficacité de biopesticides.

Il est important de souligner que, malgré une efficacité supérieure de l'extrait de Ghardaïa, les taux de mortalité obtenus restent modérés comparés à d'autres extraits connus. Cela suggère que l'extrait brut d'*H. scoparia*, tel qu'utilisé dans cette étude, possède une activité insecticide réelle mais insuffisante pour un usage direct en tant que biopesticide, à moins d'être enrichi, concentré ou combiné avec d'autres extraits synergétiques. Une autre piste serait la formulation sous forme de nanoparticules ou d'émulsions, qui a montré une amélioration de l'efficacité de plusieurs extraits végétaux dans des études récentes (Kumar et al., 2012 ; Pavoni et al., 2020)

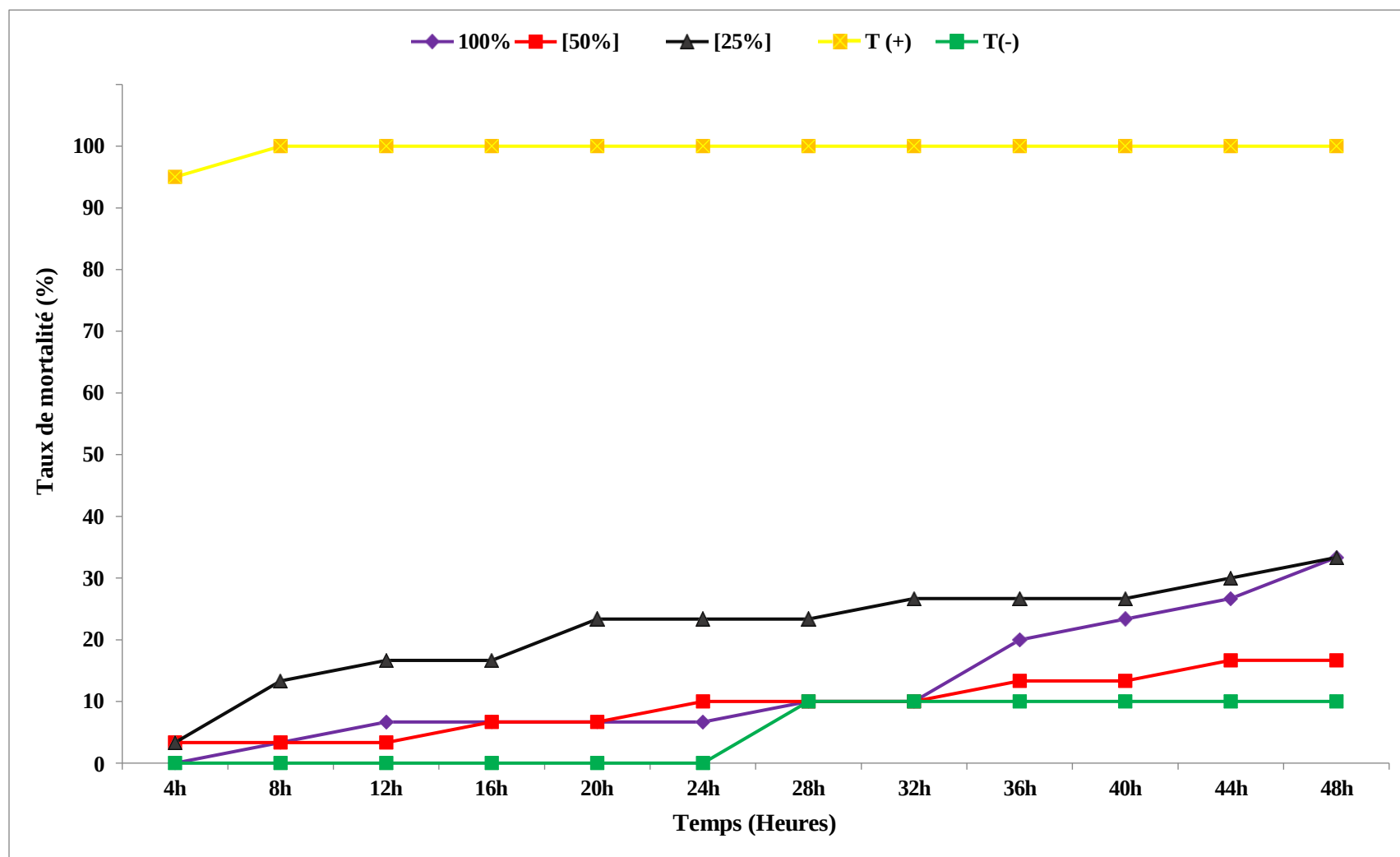


Figure 11 : La cinétique de la mortalité cumulée observée chez les larves de *T. castaneum* témoins et traités par l'extrait de plantes de *H. Scoparia* de région Oulad Djellal

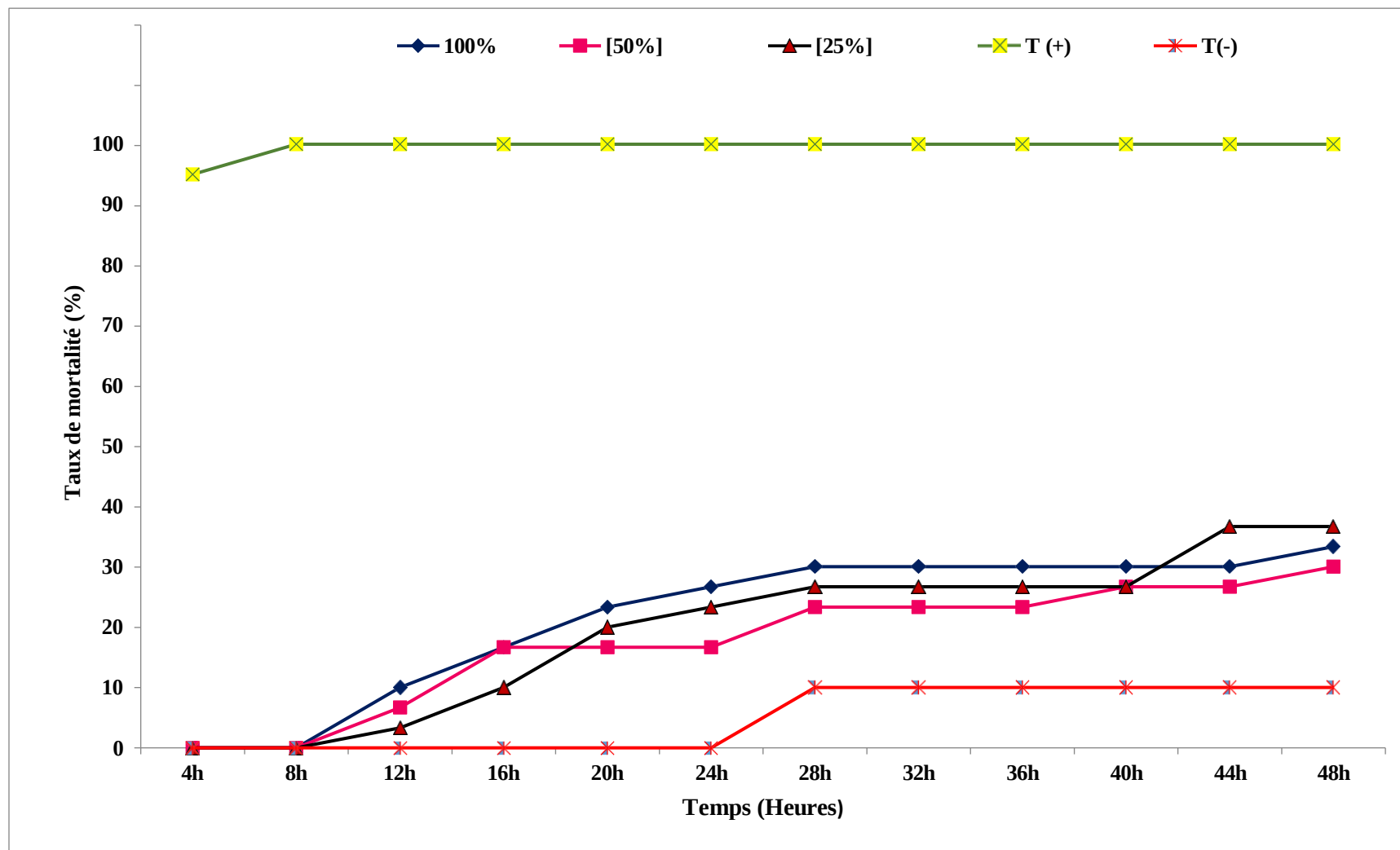


Figure 12 : La cinétique de la mortalité cumulée observée chez les larves de *T. castaneum* témoins et traités par l'extrait de plantes de *H. Scoparia* de région de Ghardaia

Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont mis en évidence le potentiel remarquable des extraits bruts de l'espèce *Hammada scoparia*, en termes de propriétés bio-insecticides.

Les analyses phytochimiques préliminaires ont révélé la présence de six classes majeures de métabolites secondaires : flavonoïdes, tanins galliques, anthocyanes, saponosides, alcaloïdes et terpènes. En revanche, les stérols et les Leucoanthocyanes étaient absents.

L'extraction à froid, réalisée par macération aqueuse et hydrométhanolique à partir de la partie aérienne de l'espèce *H. scoparia* provenant de deux régions (Ouled Djellal et Ghardaïa), a permis d'obtenir des extraits bruts avec des rendements assez élevés.

Les extraits obtenus présentent des rendements variables selon la zone de collecte et le type de solvant utilisé. À Ouled Djellal, l'extrait brut aqueux (EBA) a affiché des rendements de l'ordre de 78 %. L'extrait hydrométhanolique (EHM), utilisant un mélange eau/méthanol, a atteint un rendement de 58,5 %. En comparaison, à Ghardaïa, l'extrait brut aqueux a montré des rendements plus faibles, avec 30,4 %, tandis que l'extrait hydrométhanolique a atteint 50,1 %. Ces différences suggèrent une influence notable des conditions environnementales locales sur l'extractibilité des composés bioactifs.

Le dosage des composés phénoliques a révélé une teneur significativement faible en dans les extraits aqueux issus de l'espèce d'Ouled Djellal (99,33 mg EAG/g MVS) par rapport à ceux de Ghardaïa (85,87 mg EAG/g MVS). Et plus élevée pour l'extrait hydro méthanolique : 496,89 mg EAG/g MVS pour l'échantillon 01 d'Ouled Djellal et 626,24 mg EAG/g MVS pour l'échantillon 02 de Ghardaia. Ces différences suggèrent une influence notable de l'origine géographique, probablement liée aux conditions pédoclimatiques et écophysiologiques distinctes entre les deux régions.

L'analyse des rendements d'extraction met en évidence plusieurs facteurs critiques : la quantité de matière végétale, la nature du solvant, et surtout l'origine géographique de l'échantillon. Les extraits d'Ouled Djellal semblent plus facilement extractibles, peut-être en raison d'une grande proportion de composés hydrosolubles. Toutefois, l'utilisation du méthanol améliore significativement le rendement global, en particulier pour les échantillons de Ghardaïa, soulignant

l'importance de l'optimisation du système solvant pour maximiser la valorisation des composés bioactifs.

Les extraits de *H. scoparia* ont montré une activité larvicide significative, dose-dépendante, notamment sur les larves de *Tribolium castaneum*, avec des effets notables même à faibles concentrations. Ces résultats suggèrent une efficacité biologique prometteuse, particulièrement contre les stades larvaires plus sensibles que les adultes. Les observations confirment également des tendances décrites dans la littérature sur la phytotoxicité d'autres espèces sahariennes.

Bien que les extraits de Ghardaïa affichent des rendements d'extraction plus faibles et une moindre teneur en polyphénols, leur efficacité larvicide s'est révélée supérieure à celle des extraits d'Ouled Djellal dans les conditions expérimentales. Cela suggère que d'autres composés bioactifs non phénoliques pourraient être responsables de cette activité, appelant à des études plus approfondies de caractérisation chimique.

Malgré cela, les extraits de l'espèce d'Ouled Djellal se sont montrés plus performants dans certains essais, notamment avec des DL_{50} faibles et des modèles statistiques robustes. Cela met en évidence l'importance de la variabilité biologique intra-espèce selon l'origine écologique, qui influence la composition en métabolites secondaires et, par conséquent, l'activité biologique.

En bref, cette étude comparative souligne l'intérêt des extraits de *H. scoparia* comme agent larvicide potentiel. L'origine géographique de la plante, le solvant utilisé pour l'extraction et la composition chimique des extraits influencent de manière significative leur activité biologique. Les extraits de Ghardaïa, bien que moins riches en polyphénols, ont montré une meilleure efficacité insecticide contre les larves de *T. castaneum*, probablement en raison d'une composition différente en métabolites actifs.

Perspectives futures

Dans une perspective écologique et durable, l'exploitation de *Hammada scoparia* en tant que source naturelle de bio-insecticides pourrait constituer une alternative prometteuse aux insecticides chimiques de synthèse, réduisant ainsi les impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour :

- Identifier et isoler les composés actifs responsables de l'effet larvicide,
- Optimiser les procédés d'extraction écoresponsables (utilisation de solvants verts),
- Étudier l'effet des extraits sur d'autres ravageurs agricoles,
- Évaluer leur innocuité sur les insectes utiles (pollinisateurs, prédateurs naturels),
- Et envisager des formulations applicables en agriculture biologique.

La valorisation de cette ressource saharienne, abondante et adaptée aux conditions extrêmes, s'inscrit pleinement dans une approche de gestion intégrée des cultures, respectueuse de l'environnement.

Annexe



Tanins (O)



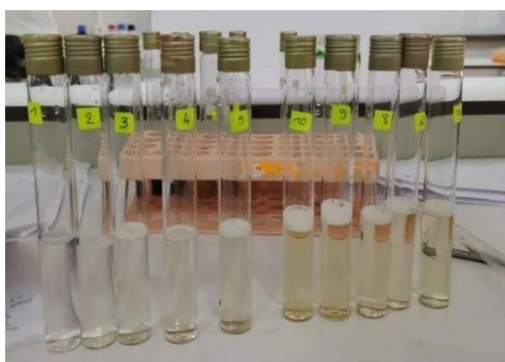
Tanins (G)



Flavonoïdes (O)



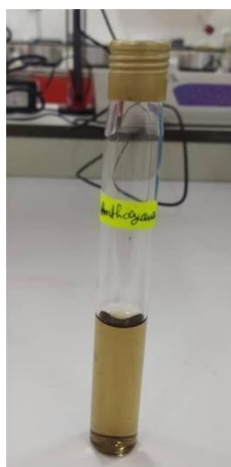
Alcaloïdes (O)



Saponosides (O)



Saponosides (G)



Anthocyanes (O)



Anthocyanes (O)



Leuco anthocyanes (O)



Leuco anthocyanes (G)

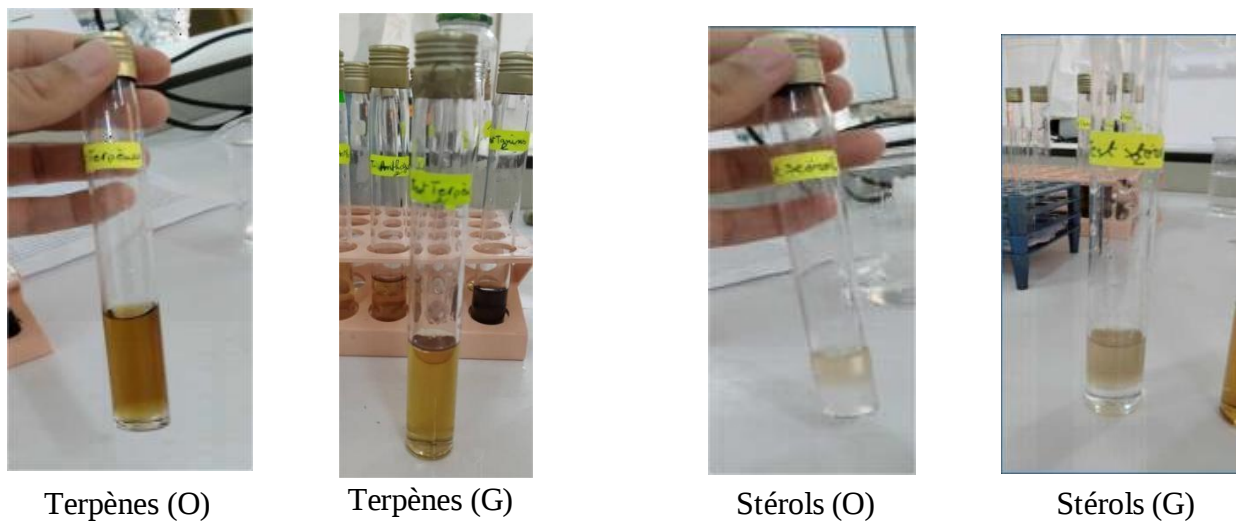


Figure 13 : Exemples de résultats de réactions de mise en évidence de quelques composants du métabolisme secondaire de l'espèce *Hammada scoparia*.

(O : La région d'Ouled Djellal, G : La région de Ghardaia)

Références bibliographiques

- Adossides, J. (2003). Ethnobotanique et pharmacopée traditionnelle. Ed. Université de Lomé.
- Alain, S., Favier, A., & Cadet, J. (2011). Les antioxydants dans l'alimentation. Éditions Tec & Doc.
- ANDI (Agence Nationale de Développement de l'Investissement). (2013a). *Monographie de la wilaya de Ghardaïa*. Alger : ANDI.
- Anirf, A. (2011a). *Rapport régional sur la biodiversité du Sahara septentrional*. Publication locale.
- Arnold, R. A., & Roberts, J. E. (2003). Photobiological implications of plant extracts used as biopesticides. *Photochemistry and Photobiology*, 78, 420–426.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99, 191–203.
- Bekhechi, C. (2002). Contribution à l'étude des plantes médicinales spontanées de la région de Tiaret (Algérie) [Thèse de Doctorat]. Université d'Oran.
- Benamor, H., & Lakhdari, M. (2020). Revue systématique sur *Hammada scoparia* : phytochimie, usages traditionnels et activités biologiques. *Journal Algérien de Phytothérapie*, 7, 45–58.
- Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., Mehlhorn, H., & Maggi, F. (2018). Insecticide activity of plant secondary metabolites: A review of recent progress. *Toxins*, 10, 461.
- Benkherara, S., & Bordjiba, O. (2018). Étude phytochimique et biologique de *Hammada scoparia*. *Revue des Sciences*, 29, 44–52.
- Bensaha, F., & Arbouch, S. (2016). Étude ethnobotanique de la flore médicinale de la région de Ghardaïa (Sahara septentrional, Algérie). *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, 29, 1801–1810.
- Benzie, I. F. F., & Wachtel-Galor, S. (2011). *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects* (2nd ed.). CRC Press.
- Berger, M. M. (2006). Can oxidative damage be treated nutritionally? *Clinical Nutrition*, 25, 172–179.
- Boizot, N. (2006). *Les polyphénols végétaux et leurs propriétés antioxydantes*. Mémoire de Master, Université d'Angers.
- Boucherit, H., Benabdeli, K., & Benaradj, A. (2018). *Phytoécologie de Hammada scoparia dans la région de Naâma (Algérie occidentale)*. *Botanica Complutensis*, 42, 93–99.
- Boucherit, K., Belabbes, R., & Laouer, H. (2018). *Hammada scoparia* : Un arbuste saharien aux multiples vertus. *Plantes Médicinales et Phytothérapie*, 52, 184–192.
- Boulos, L. (1999). *Flora of Egypt* (Vol. 1). Al Hadara Publishing.

- Bouquet, A. (1972). *Plantes médicinales du Congo (Brazzaville)*. ORSTOM.
- Bouzidi, M., & Sahli, F. (2021). Profil phytochimique et potentiel allélopathique de *Haloxylon scoparium* Pomel (Chenopodiaceae) du Sahara algérien. *Acta Botanica Algeriensis*, 5, 10–19.
- Calancea, D. (2008). Bioactive compounds from medicinal plants with antioxidant activity. *Journal of Biotechnology*, 136(Suppl), S459–S459.
- Campbell, J. F., & Hagstrum, D. W. (2002). Patch exploitation by *Tribolium castaneum*: movement patterns, distribution and oviposition. *Journal of Stored Products Research*, 38, 55–68.
- Campbell, J. F., & Runnion, C. (2003). Patch exploitation by female *Tribolium castaneum*: movement patterns, distribution, and oviposition. *Journal of Insect Behavior*, 16(4), 473–510.
- Chabrier, C. (2010). Les plantes médicinales cultivées : de la culture à la commercialisation. CIRAD.
- Chaieb, M., & Boukhris, M. (1998). *Flore succincte et illustrée des zones arides et sahariennes de Tunisie*. Association pour la protection de la nature et de l'environnement.
- Chao, L. K., Hua, K. F., Hsu, H. Y., Cheng, S. S., Liu, J. Y., & Chang, S. T. (2013). Study on the anti-inflammatory activity of essential oil from leaves of *Cinnamomum osmophloeum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 437–445.
- Chehma, A., & Djebbar, A. B. (2008). Plantes médicinales utilisées dans la région de Biskra (Algérie). *Synthèse*, 15, 62–67.
- Chenini, F., & Chabou, M. (2012). Ressources en eau et vulnérabilité dans les zones arides : cas de la wilaya de Ghardaïa. *Revue des Energies Renouvelables*, 15, 583–590.
- Climate-Data.org. (n.d.). *Climat Oulad Djellal*.
- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52, 81–106.
- Djeridane, A., & Toumi, H. (2018). Rendements et contenus en différents composés dans les extraits de *H. scoparium*. *Revue Algérienne de Chimie des Plantes*, 3, 66–74.
- Dohou, N., Yamni, K., Tahrouch, S., Idrissi Hassani, L. M., Badoc, A., & Gmira, N. (2003). Screening phytochimique d'une plante médicinale de la flore marocaine : *Thymelaea lythroides*. *Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux*, 142, 61–78.
- El-Mokasabi, M. O. (2017). Floristic diversity and vegetation analysis of Wadi El-Gemal protected area, Red Sea, Egypt. *Cairo University Journal of Advanced Research*, 8, 219–230.
- El-Shazly, A., & Wink, M. (2003). Diversity of pyrrolizidine alkaloids in the genus *Senecio* (Asteraceae). *Phytochemistry*, 62, 121–131.
- FAO. (n.d.). *Base de données mondiale des sols*.
- Flowers, T. J., Galal, H. K., & Bromham, L. (2010). Evolution of halophytes: Multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, 37, 604–612.

- GeoNames. (n.d.). *Ouled Djellal*.
- Gershenzon, J., & Dudareva, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. *Nature Chemical Biology*, 3, 408–414.
- Google. (n.d.). *Google Maps* [Carte].
- Hagstrum, D. W., & Subramanyam, B. (2009). *Stored-product insect resource*. AACC International.
- Haines, C. P. (1991). *Insects and arachnids of tropical stored products: their biology and identification*. Natural Resources Institute, UK.
- Harborne, J. B. (1973). *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*. Chapman and Hall, London.
- Herouini, A., (2021). Thèse de doctorat LMD Évaluation du pouvoir biocide des huiles de graines de *Citrullus colocynthis* Schard. (Cucurbitaceae), *Pergularia tomentosa* L. (Asclepiadaceae) et *Datura stramonium* L. (Solanaceae) récoltées dans la région de Ghardaïa.
- Hill, D. S. (2002). *Pests of Stored Products and Their Control*. Springer Science & Business Media.
- Howe, R. W. (1965). A summary of estimates of optimal and minimal conditions for population increase of some stored products insects. *Journal of Stored Products Research*, 1(2), 177–184.
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841–1856.
- Institut Géographique National (IGN) Algérie. (n.d.). *Portail de l'IGN Algérie*.
- Institut National de la Cartographie et de la Télédétection. (2019). *Carte pédologique de l'Algérie*.
- Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51, 45–66.
- Jarraya, M. H., & Damak, M. (2001). Étude chimique et activités biologiques des extraits de *Hammada scoparia*. *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 3, 15–24.
- Kemassi, A., Messaoudi, M., & Ouahrani, M. R. (2014). Flore et végétation du Sahara septentrional algérien : diversité, dynamique et potentialités. *Revue des Sciences de la Vie*, 10, 45–58.
- Kherbouche, M., & Belkheir, A. (2020). Étude ethnobotanique de *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin dans la région de Naâma (sud-ouest algérien). *Cahiers de l'Ethnobotanique Algérienne*, 2, 35–42.
- Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2004). Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides International*, 1, 63–84.
- Ksouri, R., Megdiche, W., Falleh, H., Trabelsi, N., Boulaab.

- Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., & Satya, S. (2012). Insecticidal properties of *Mentha* species: a review. *Industrial Crops and Products*, 39, 1–7.
- Lamchouri, F., Settaf, A., Cherrah, Y., & El Hamdani, A. (2012). Étude de la composition chimique et de l'activité antitumorale d'extraits de plantes médicinales marocaines. *Phytothérapie*, 10, 212–217.
- Le Houerou, H. N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. Options Méditerranéennes.
- Le Houérou, H. N. (1995). *Bioclimatology and biogeography of Africa*. Springer.
- Leeser und Will – Schädlingsbekämpfung GmbH. (n.d.). [Contenu sur la lutte antiparasitaire]. READY4 Marketing & Kommunikation.
- Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Billot, J. (2005). Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses Polytechniques.
- Majhenic, L., Škerget, M., & Knez, Ž. (2007). Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food Chemistry*, 104, 1258–1268.
- Mezghani-Jarraya, R., Gharbi, N., Damak, M., & Ghédira, K. (2009). Étude chimique et biologique d'extraits de *Hammada scoparia*. *Phytothérapie*, 7, 44–49.
- Meziani, A., & Bensaad, A. (2019). Étude phytochimique et activités antioxydantes in vitro d'extraits de *Hammada scoparia* du sud-est algérien. *Revue des Sciences Biologiques*, 11, 22–30.
- Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire. (2021). *Découpage administratif des nouvelles wilayas*.
- Moghimipour, E., & Handali, S. (2015). Saponins from medicinal plants as anti-cancer agents : A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5, 124–128.
- Mohammedi, Z. (2013). Étude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Tlemcen (Algérie) [Thèse de Doctorat]. Université d'Oran.
- Motamed, S. M., & Naghibi, F. (2010). Antioxidant activity of Iranian plant extracts containing phenolic compounds. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 9, 307–313.
- Mulas, M., & Mulas, G. (2004). Les halophytes : ressources végétales dans les zones arides. Options Méditerranéennes.
- Office National des Statistiques (ONS). (2021). *Statistiques territoriales des wilayas*.
- Omar Sarr, S., Ba, M., Fall, A. D., & Fall, A. B. (2015). Activité antioxydante des extraits de feuilles de *Combretum micranthum*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9, 1388–1397.
- OMS. (2003). Lignes directrices sur les bonnes pratiques agricoles et de récolte des plantes médicinales. Organisation Mondiale de la Santé.

- Oppert, B., Fabrick, J. A., & Oppert, C. (2015). Protein and gene expression in *Tribolium castaneum* after exposure to plant compounds and insecticides. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 63, 1–11.
- Osimi, S., Rossi, E., Cioni, P. L., & Canale, A. (2009). Bioactivity and qualitative analysis of some essential oils from Mediterranean plants against stored-product pests: *Sitophilus oryzae* and *Tribolium confusum*. *Journal of Stored Products Research*, 45, 125–132.
- Ozenda, P. (1977). *Flore du Sahara*. CNRS Éditions.
- Ozenda, P. (1991). *Flore et végétation du Sahara*. Paris : CNRS Éditions.
- Pavela, R. (2008). Insecticidal properties of several essential oils on the house fly (*Musca domestica* L.). *Phytotherapy Research*, 22, 274–278.
- Pavoni, L., Perotti, M. A., & Torracca, B. (2020). Nanoemulsions in insect pest control: a review. *Nanomaterials*, 10, 1805.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). *Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644.
- Peltier, J.-P. (2023, avril 6). *Photographie de Hammada scoparia*. Tous droits réservés, 2006–2025.
- Pisoschi, A. M., & Negulescu, G. P. (2011). Methods for total antioxidant activity determination: A review. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, 1, 1–10.
- Poinsot, D. (2001). *Méthodes d'échantillonnage en écologie*. Éditions Quae.
- Popovici, C., Saykova, I., & Tylkowski, B. (2009). Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts. *Central European Journal of Chemistry*, 7, 594–602.
- Quézel, P., & Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. CNRS.
- Raguraman, S., & Singh, R. P. (2002). Biological activity of selected plant materials against stored-product pests. *Journal of Applied Entomology*, 126, 465–471.
- Rates, S. M. K. (2001). Plants as source of drugs. *Toxicon*, 39, 603–613.
- Rees, D. (2004). *Insects of stored products*. CSIRO Publishing.
- Richards, S., Gibbs, R. A., Weinstock, G. M., Brown, S. J., Denell, R., Beeman, R. W., ... & Lorenzen, M. D. (2008). The genome of the model beetle and pest *Tribolium castaneum*. *Nature*, 452(7190), 949–955.
- Rimjhim, M., Vikas, M., & Anamika, D. (2014). Phytochemical screening and antimicrobial activity of some medicinal plants. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5, 1774–1779.

- Sahoo, N., Manchikanti, P., & Dey, S. (2010). Herbal drugs: Standards and regulation. *Fitoterapia*, 81, 462–471.
- Shakya, A. K. (2016). Medicinal plants: Future source of new drugs. *International Journal of Herbal Medicine*, 4, 59–64.
- Singh, A., Kumari, S., & Rana, V. (2015). Halophytes: Tolerance, exploitation and remediation potential. *Plant Science Today*, 2, 22–30.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Sochor, J., Ryvolova, M., Krystofova, O., Salas, P., Hubalek, J., Adam, V., ... & Kizek, R. (2010). Fully automated spectrometric protocols for determination of antioxidant activity: Advantages and disadvantages. *Molecules*, 15, 8618–8640.
- Sofowora, A. (2010). *Medicinal Plants and Traditional Medicine in Africa* (3rd ed.). Spectrum Books.
- Sokoloff, A. (1972). *The Biology of Tribolium with Special Emphasis on Genetic Aspects*. Vol. 1. Oxford University Press.
- Solfo, R. (1973). *Recherche des composés phytochimiques dans les plantes médicinales*. Techniques analytiques, Université de Dakar.
- Trotognon, T., & Felloni, P. (2009). Guide pratique de récolte et de séchage des plantes médicinales. Editions Médicinales d'Afrique.
- Zaporozhets, O., Bespalov, V., & Lipina, T. (2004). Antioxidant activity of medicinal plants. *Biochemistry (Moscow)*, 69, 93–99.
- Zerriouh, A. (2015). Étude phytochimique et évaluation des activités biologiques de *Hammada scoparia* [Thèse de Magister]. Université d'Oran.