République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tébessa –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Appliquée
Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
En : Science biologique
Option : Biochimie Appliquée

Par :
M^elle^. Djedouani Hadjer **M^elle^. Bechiri Wissal**

Intitulée :

Réponses enzymatiques chez *Culiseta longiareolata* exposée au mélange d'huile essentielle de *Ruta graveolens* et de *Ruta montana*

Devant le jury :

M. Bouabida Hayette	Prof	Université de Tébessa	Président
Mm. Dris Djemâa	MCA	Université de Tébessa	Rapporteur
Mm. Seghire Hanane	MCA	Université de Tébessa	Examinateur

Date de soutenance : 04/06/2025

Remerciement

Avant tout, nous remercions profondément **Allah**, Le Tout-Puissant, qui nous a donné le courage, la force et la volonté nécessaires pour mener à bien cette étude et accomplir ce travail.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à notre directrice de mémoire, **Dr. DRIS Djemaa,** pour son accompagnement, ses conseils avisés, ses orientations précieuses, sa bienveillance tout au long de cette période de recherche.

Nos remerciements les plus respectueux vont également aux membres du jury, **Pr. Bouabida Hayatte**, Présidente du jury, et **Dr. Seghier Hanane**, Examinatrice, pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre travail, pour leur temps, leurs observations pertinentes et leurs suggestions enrichissantes.

Nous adressons aussi nos remerciements à **l'ensemble des enseignants** de la Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie de Tébessa, pour la qualité de leur enseignement, leur accompagnement tout au long de notre parcours universitaire.

Nous remercions tout particulièrement Madame **Rania Bendjazia** pour sa soutien constant, sa disponibilité et ses conseils précieux, qui nous ont guidées dans l'élaboration de ce travail, Sa bienveillance tout au long de cette période de recherche.

Enfin, nous n'oublions pas nos **collègues** de **la promotion 2020/2025**, et plus spécialement **Marwa** et **Rafa**, pour les moments de partage, d'entraide et de joie que nous avons vécus ensemble.

À toutes et à tous, nous disons sincèrement merci.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, ***Touhami*** *et* ***Dalila****,*

Aucune dédicace ne saurait exprimer pleinement mes sincères sentiments envers vous. Merci pour votre patience, votre soutien inconditionnel, vos encouragements et les innombrables sacrifices que vous avez consentis pour moi.

À mes frères et sœurs : ***Redouane****,* ***Omar****,* ***Oum El Kheir*** *et* ***Oualid****,*

Pour leur présence, leur soutien moral et leurs encouragements constants.

Que Dieu vous protège, sans oublier le mari de ma sœur, ***Djalel****.*

À mes neveux et nièces, mes rayons de soleil : ***Abd El Moumen****,* ***Rihem****,* ***Houssem****,* ***Liliane****,* ***Afnen*** *et* ***Imed****,*

Merci pour la joie et l'énergie que vous m'apportez.

À ma très chère amie et sœur de cœur, ***Haifa****,*

Je t'aime énormément. Merci d'avoir été là à chaque étape.

À mon binôme et précieuse amie, ***Wissal****,*

Merci pour ta complicité, ton engagement et ton amitié fidèle tout au long de cette aventure.

À ***toutes les bonnes personnes*** *qui m'ont aidée de près ou de loin dans ce travail,*

À toutes les personnes que j'aime*,*

Et enfin, à ***moi-même****, pour avoir persévéré malgré les défis.*

HADJER

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma mère **Sana** et mon père **Daradji**,
Pour votre amour inconditionnel, votre soutien constant, vos sacrifices et vos encouragements tout au long de mes années d'études.
Je vous suis profondément reconnaissant.
Que Dieu vous protège et vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À mon frère **Salah Edin** et ma sœur **Salsabil**,
Je vous souhaite une vie remplie de bonheur, de réussite et d'accomplissements.

À ma chère amie et binôme, Hadjer,
Merci pour ton soutien, ta patience et ta précieuse collaboration tout au long de cette aventure.

À mes amies, **Baya** et **Nour Han**,
Avec qui j'ai partagé des moments inoubliables. Vous resterez à jamais gravées dans ma mémoire.

Et enfin, à **moi-même**,
Pour la persévérance, les efforts et le courage face aux difficultés.

WISSAL

Sommaire :

Remerciements et dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé (arabe-français-anglais)

Introduction

II. Matériel et Méthodes 3

II.1. Matériel animal 3

II.1.1. Présentation de la zone d'élvage 3

II.1.2. Généralité sur les moustiques 3

II.1.3. Présentation de Culicidae 4

II.1.4. Analyse phénologique des Culicidae dans la région de Tébessa 4

II.1.5. Présentation des espèces Culicidiennes dans la région de Tébessa 5

II.1.6. Cycle de vie et développement 6

II.1.7. Présentation de *Culiseta longiareolata* 10

II.1.8. Lutte contre les moustiques 11

II.1.8.1. Lutte chimique 11

II.1.8.2. Lutte biologique 12

II.1.9. Technique d'élevage 12

II.2. Matériel végétal 14

II.2.1. Aperçu de la famille des Rutaceae 14

II.2.2. Propriétés pharmacologiques et usages traditionnels des Rutaceae 14

II.2.3. Classification systématique des Rutaceae 15

II.2.4. Le genre *Ruta* entre diversité botanique et applications thérapeutiques 15

II.2.5. Présentation de l'espèce *Ruta graveolens* 16

II.2.5.1. Définition de *R. graveolens* 16

II.2.5.2. Noms typiques de *R. graveolens* 17

II.2.5.3. Description botanique de *R. graveolens* 17

II.2.6. Présentation de l'espèce *Ruta montana* 18

II.2.6.1. Définition de *Ruta montana* 18

II.2.6.2. Noms typiques de *Ruta montana* 19

II.2.6.3. Description botanique de *R. montana* 19

II.3. Les huiles essentielles 20

II.3.1. Bref historique 20

II.3.2. Composition chimique des huiles essentielles 21
II.3.3. Utilisations des huiles essentielles 23
II.3.4. Propriétés insecticides des huiles essentielles 23
II.3.5. Mode d'action des bioinsecticides des huiles essentielles..... 24
II.3.6. Extraction des huiles essentielles 24
II.3.6.1. Technique d'extractions des huiles essentielles 24
II.3.6.1.1. La distillation..... 24
II.3.6.1.2. Extraction par hydrodistillation 24
II.3.6.2. Procédure 25
II.3.6.3. Rendement en huile essentielle 26
II.4. Dosages des biomarqueurs 27
II.4.1. Dosage de la glutathion S-transférase 27
II.4.2. Dosage de catalase 29
II.4.3. Dosage des protéines 31
II.4.4. Analyse statistique 33
III. Résultats 34
III.1. Rendements des huiles essentielles 34
III.2. Effet du mélange sur les biomarqueurs enzymatiques 34
III.2.1. Effet du mélange sur l'activité spécifique des glutathion S-transférases 34
III.2.2. Effet du mélange sur l'activité spécifique de la catalase 35
III.3. Effet du mélange sur la croissance pondérale de *Culiseta longiareolata*..... 36
III.4. Impact du mélange sur le contenu en protéines totales 37
IV. Discussion 39
IV.1. Rendements des huiles essentielles 39
IV.2. Effet du mélange sur l'activité spécifique des glutathion S-transférases (GST) 39
IV.3. Effet du mélange sur l'activité spécifique de la catalase ……..... 40
IV.4. Effet du mélange sur la croissance pondérale de *Culiseta longiareolata* ……..... 41
IV.5. Impact du mélange sur le contenu en protéines totales ……..…..... 42
Conclusion
Références

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Phénogramme des espèces de culicidae dans le gisement de Tébessa.	5
02	La position systématique de *Culiseta longiareolata.*	11
03	La position systématique des Rutaceae.	15
04	Caractéristiques botaniques de l'espèce *Ruta graveolens.*	17
05	Caractéristiques botaniques de l'espèce *Ruta montana*.	19
06	Détermination des protéines totales chez les moustiques : Gamme d'étalonnage des protéines.	32

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Province de Tébessa, Algérie : sites d'échantillonnage des moustiques Immatures.	3
02	Présentation des espèces culicidiennes dans la région de Tébessa.	5
03	Cycle de développement et de vie de *C. longiareolata* (photo personnelle, 2025).	6
04	Œufs de *C. longiareolata* (Photo personnelle, 2025).	7
05	Larve de *C. longiareolata* (photo personnelle, 2025)	8
06	Nymphe de *C. longiareolata* (Photo personnelle, 2025)	9
07	Les adultes des moustiques (Photo personnelle, 2025)	10
08	Les sites d'élevage (Photo personnel,2025)	13
09	Étapes de préparation des larves de moustiques en laboratoire (Photos personnelles, 2025)	14
10	(A) la plante de *Ruta graveolens* (B) les fleurs (C) les feuilles (Photos personnelles, 2025)	16
11	(A) la plante de *Ruta Montana* (B) les fleurs (C) les feuilles (Photos personnelles, 2025)	18
12	Montage de l'hydrodistillation de type Clevenger (Photo personnelle, 2025).	25
13	Les étapes de l'hydrodistillation (photos personnelles, 2025)	26
14	Le rendement final de l'HE de (A) *R. graveolens* (B) *R. Montana* (Photos personnelles, 2025)	27
15	Dosage de la glutathion S-transférase.	29
16	Test de Catalase (photos personnelles, 2025)	30
17	Analyse de la catalase	31
18	Test de Protéine (photos personnelles, 2025)	32
19	Extraction et dosage des protéines (Bradford, 1967)	33
20	Effet de CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur l'activité spécifique des GSTs (µM/min/mg de protéines) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4).	35
21	Effet de CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur l'activité spécifique de la catalase (µM/min/mg de protéines) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4).	36

22	Effet CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur le poids (mg) des larves du 4éme stades chez *Culiseta longiareolata* (m ± SD, n = 4)	37
23	Effet de CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur le contenu en protéine (µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4)	38

Liste d'abréviation

OMS	L'Organisation mondiale de la santé
C. longiareolata	*Culiseta longiareolata*
R. montana	*Ruta montana*
R. graveolens	*Ruta graveolens*
L1	Les larves de premier stade
L2	Les larves de deuxième stade
L3	Les larves de troisième stade
L4	Les larves du dernier stade
HEs	Les huiles essentielles
HE	Huile essentielle
g	Gramme
ml	Millilitre
R	Rendement en huile en %
PB	Poids de l'huile en g
PA	Poids de la matière sèche de la plante en g
Σ	Total
µL	Microlitre
GSTs	Les glutathion S-transférases
CL_{50}	Concentration Létale mortelle de 50 % de la population
CAT	Catalase
GST	La glutathion S-transférase
GSH	Glutathion
CDNB	1-chloro 2,4-dinitrobenzène
nm	Nanomètre
M	Mole
rpm	Tours par minute
mg	Milligramme
X	Quantité de substrat hydrolysé en millimoles par minute pour chaque mg de protéines
Δ Do	Pente de la ligne de régression déterminée suite à l'hydrolyse du substrat en relation avec le temps
Vt	Volume total dans le récipient
Vs	Volume du surnageant dans le récipient

mg de protéines	Mesure des protéines en mg
min	Minute
UV	Ultraviolet
BBC	Bleu brillant de Coomassie
mg/ml	Milligramme sur millilitre
DO max	Densité optique maximale
DO min	Densité optique minimal
%	Pourcentage
N	Nombre de répétitions
SD	Écart-type
P	Risque
ANOVA	Analyse de la variance

ملخص

تأتي هذه الدراسة في إطار البحث عن بدائل طبيعية لمبيدات الآفات الاصطناعية، استجابةً لتزايد مقاومة الحشرات والمخاوف البيئية .

قمنا بتقييم تأثير مزيج من الزيوت العطرية المستخرجة من أوراق *Ruta graveolens* و *Ruta montana*على العديد من المؤشرات الحيوية الكيميائية الحيوية في يرقات المرحلة الرابعة من بعوضة *Culiseta longiareolata* ، وهي نوع منتشر على نطاق واسع في منطقة تبسة .

تم الحصول على الزيوت عن طريق التقطير المائي، مع إنتاجية 0.45% لزيت *R. graveolens* و0.50% لزيت *R. montana.*كشف تحليل العلامات الحيوية لليرقات المعالجة (CL_{50}) عن اضطراب استقلابي ملحوظ، يتضح من خلال زيادة كبيرة وتدريجية في الأنشطة الأنزيمية ل glutathione S-transferase وcatalase، مما يعكس تحريض الإجهاد التأكسدي. في الوقت نفسه، كان هناك انخفاض كبير جدًا في محتوى البروتين الكلي، بالإضافة إلى انخفاض ملحوظ في وزن جسم اليرقات المعالجة مقارنةً باليرقات الخاضعة للعلاج .

وتسلط هذه النتائج مجتمعة الضوء على التأثير الفسيولوجي لمزيج الزيوت العطرية على استقلاب اليرقات، ولا سيما على مسارات الدفاع المضادة للأكسدة وتنظيم الطاقة، مما يجعلها نهجًا واعدًا لتطوير استراتيجيات مكافحة ناقلات الأمراض الصديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: البعوض*Culiseta longiareolata*، *Ruta graveolens*، *Ruta montana*، الزيوت الأساسية، المؤشرات الحيوية.

Résumé

Cette étude s'inscrit dans un contexte de recherche d'alternatives naturelles aux pesticides synthétiques, en réponse aux phénomènes croissants de résistance chez les insectes et aux préoccupations environnementales.

Nous avons évalué l'effet d'un mélange d'huiles essentielles extraites des feuilles de *Ruta graveolens* et de *Ruta montana* sur plusieurs biomarqueurs biochimiques chez les larves de quatrième stade du moustique *Culiseta longiareolata*, espèce largement répandue dans la région de Tébessa.

Les huiles ont été obtenues par hydrodistillation, avec des rendements respectifs de 0,45% pour *R. graveolens* et 0,50% pour *R. montana*. L'analyse des biomarqueurs déterminée chez les larves traitées (CL_{50}) a révélé une perturbation métabolique marquée, illustrée par une augmentation significative et progressive des activités enzymatiques de la glutathion S-transférase (GST) et de la catalase, traduisant une induction du stress oxydatif. Parallèlement, on a observé une diminution très significative de la teneur en protéines totales, ainsi qu'une réduction notable du poids corporel des larves traitées par rapport aux témoins.

L'ensemble de ces résultats met en évidence l'impact physiologique du mélange d'huiles essentielles sur le métabolisme larvaire, en particulier sur les voies de défense antioxydantes et la régulation énergétique, ce qui en fait une approche prometteuse pour le développement de stratégies de lutte antivectorielle respectueuses de l'environnement.

Mots clés : Moustiques, *Culiseta longiareolata, Ruta graveolens, Ruta montana*, huiles essentielles, Biomarqueurs.

Abstract

This study is part of a search for natural alternatives to synthetic pesticides, in response to growing insect resistance and environmental concerns.

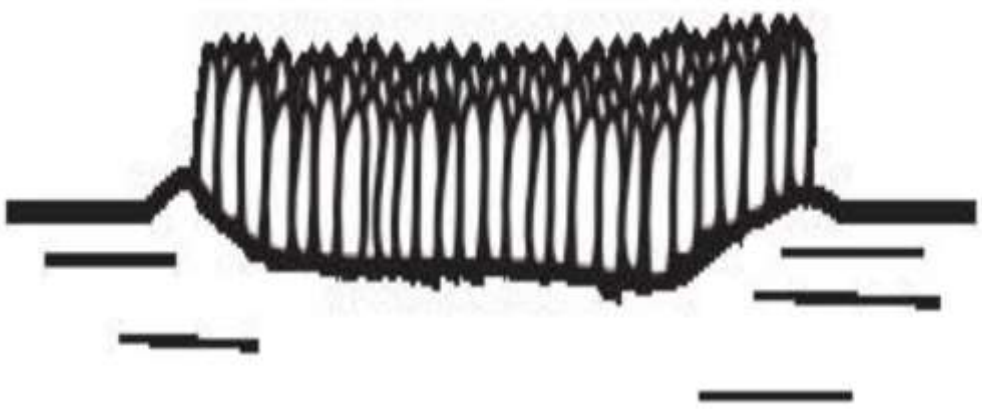
We evaluated the effect of a mixture of essential oils extracted from the leaves of *Ruta graveolens* and *Ruta montana* on several biochemical biomarkers in fourth-stage larvae of the mosquito *Culiseta longiareolata*, a species widely distributed in the Tébessa region.

The oils were obtained by hydrodistillation, with respective yields of 0.45% for *R. graveolens* and 0.50% for *R. montana*. Biomarker analysis of treated larvae (CL_{50}) revealed a marked metabolic disturbance, illustrated by a significant and progressive increase in the enzymatic activities of glutathione. S-transferase (GST) and catalase, reflecting an induction of oxidative stress. At the same time, there was a very significant decrease in total protein content, as well as a marked reduction in body weight of treated larvae compared with controls.

Taken together, these results highlight the physiological impact of the essential oil blend on larval metabolism, in particular on antioxidant defense pathways and energy regulation, making it a promising approach for the development of environmentally-friendly vector control strategies.

Key words: Mosquitoes, *Culiseta longiareolata*, *Ruta graveolens*, *Ruta montana*, essential oils, Biomarkers.

Introdiction



Introduction

Les pesticides sont des substances ou combinaisons de substances conçues pour repousser, éliminer ou contrôler les organismes nuisibles, y compris les vecteurs de maladies humaines et animales (Aloui, 2020). Bien que l'utilisation intermittente de pesticides chimiques soit une méthode de lutte adoptée depuis des décennies, leur usage à grande échelle a rapidement été freiné par divers problèmes (Belkhiri *et al*., 2021), notamment leur impact négatif sur la santé humaine et l'environnement, ainsi que le développement de résistances chez les vecteurs (Bouabida & Dris, 2020). Ces produits ne sont pas biodégradables et tendent à s'accumuler biologiquement, aggravant ainsi leurs effets nocifs (Dris *et al*., 2024). Face à ces défis sanitaires, de nouvelles approches s'imposent (Mouhammadpour *et al*., 2025).

Dans ce contexte, les extraits de plantes et leurs métabolites secondaires apparaissent comme des alternatives viables à la lutte chimique contre les larves de moustiques, en raison de leurs propriétés insecticides, de leur coût abordable et de leur biodégradabilité (Pratheeba *et al*., 2019). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime qu'environ 80 % des populations des pays en développement dépendent des plantes médicinales pour traiter divers problèmes de santé (Zailani *et al*., 2024). Parmi ces plantes, celles de la famille des Rutaceae se distinguent particulièrement. Il s'agit de la plus grande famille de l'ordre des Sapindales, regroupant environ 2 100 espèces réparties en 154 genres (Groppo *et al*., 2022). Ces espèces sont largement présentes dans les régions tropicales et tempérées d'Afrique du Sud, d'Amérique et d'Australasie, où elles occupent une place centrale dans les pharmacopées traditionnelles (Pirani & Groppo, 2020).

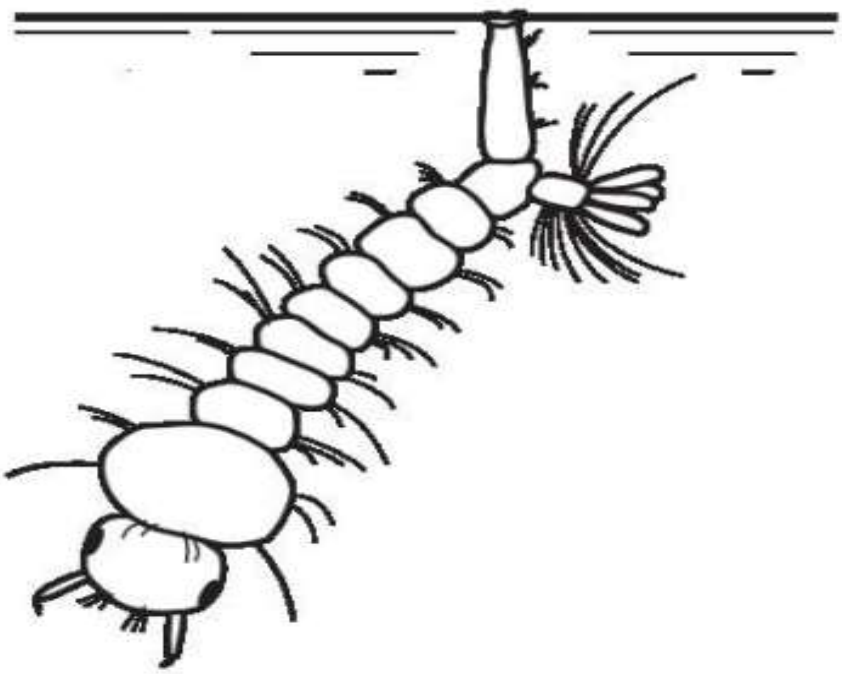
Plusieurs études ont mis en évidence leur efficacité en tant qu'agents neuropharmacologiques puissants, ainsi que dans le traitement de diverses affections, notamment inflammatoires, asthmatiques, virales, endocriniennes et gastro-intestinales (Zhang *et al.*, 2017 ; Coimbra *et al*., 2020 ; Koyiparambath *et al*., 2021). Les plantes du genre Ruta sont également riches en huiles essentielles, ce qui leur confère des qualités agrochimiques, aromatiques et thérapeutiques remarquables (Coimbra *et al*., 2020 ; Nahar *et al*., 2020 ; Majmaie *et al*., 2021). Les composés volatils de ces huiles sont responsables de leurs propriétés aromatiques, antibactériennes et antioxydantes, avec une capacité avérée à neutraliser les radicaux libres et à limiter le processus d'oxydation (Jarin *et al.*, 2024). Par ailleurs, des recherches récentes explorent leur potentiel en tant qu'insecticides, larvicides, nématocides, pesticides et agents phytotoxiques (Nahar *et al*., 2021). En particulier, les huiles essentielles de

Ruta graveolens et *Ruta montana* ont démontré des propriétés insecticides notables (Wang, 2022).

Dans la région de Tébessa, située au nord-est de l'Algérie, l'espèce de moustique la plus couramment rencontrée est *Culiseta longiareolata* (Bouzidi, 2019). Cette espèce appartient à la famille des Culicidae, principale responsable de la réputation de l'ordre des Diptères comme l'un des plus importants vecteurs de maladies (Dris *et al*., 2024). Les Culicidae sont en effet impliqués dans la transmission de nombreuses maladies virales telles que la dengue, la fièvre jaune ou la fièvre de la vallée du Rift, ainsi que de maladies parasitaires comme le paludisme (Abo el Ela, 2024). Ainsi, la lutte contre les moustiques au stade larvaire est essentielle, notamment en raison de leur habitat limité et donc plus facilement ciblable (Dris *et al*., 2017 ; Bouabida & Dris, 2020 ; Dris *et al*., 2021 ; Bouabida & Dris, 2022).

Dans ce contexte, notre étude porte sur l'évaluation des effets d'un nouvel insecticide à base d'un mélange d'huiles essentielles de *Ruta montana* et *Ruta graveolens* sur les populations de *Culiseta longiareolata*. Nous examinerons l'impact de ce mélange sur un biomarqueur de détoxification, la glutathione S-transferase (GST) et un biomarqueur antioxydant la catalase (CAT), chez les larves de quatrième stade de *C. longiareolata*.

Matériel et Méthodes



II. Matériel et Méthodes

II.1. Matériel animal

II.1.1. Présentation de la zone d'élevage

La province de Tébessa, située au nord-est de l'Algérie à une altitude de 867 mètres, est délimitée au nord par la province de Souk Ahras, au sud par celle d'El Oued, à l'ouest par les provinces d'Oum El Bouaghi et de Khenchela, et à l'est par la frontière algéro-tunisienne (voir figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 13 878 km² et comprend 28 districts. Le climat de cette région est de type semi-aride (indice d'aridité de De Martonne = 14,10), caractérisé par des hivers froids et des étés très chauds (Benkhedim *et al*., 2023).

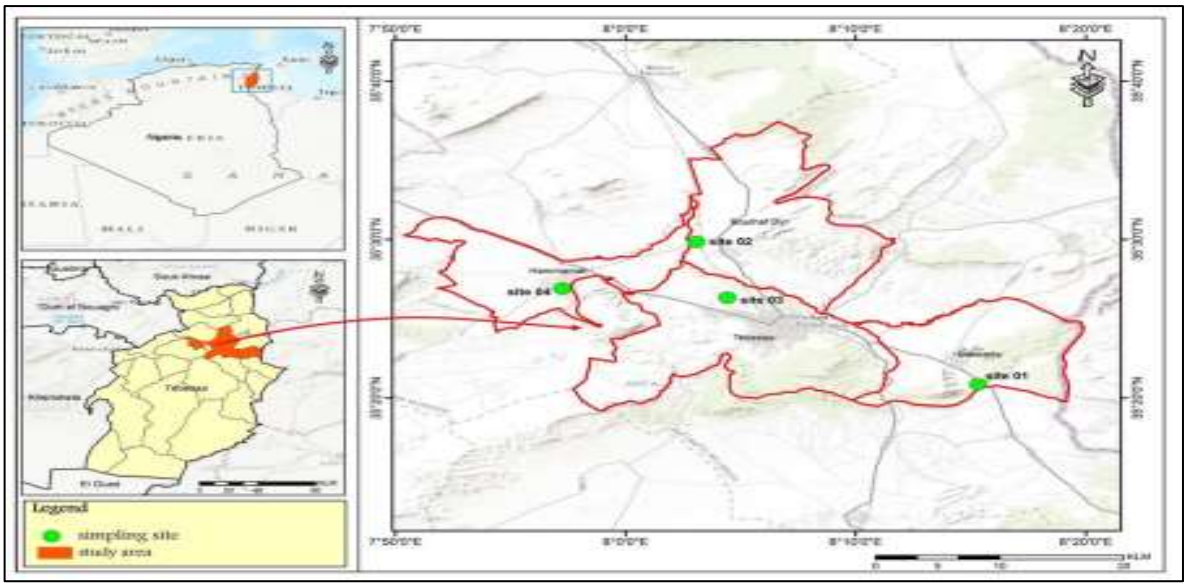


Figure 01. Province de Tébessa, Algérie : sites d'échantillonnage des moustiques Immatures (Benkhedim *et al*., 2023).

II.1.2. Généralité sur les moustiques

Depuis l'Antiquité, les moustiques sont étroitement associés à la transmission de maladies humaines (Foster *et al*., 2019). En tant que principaux vecteurs de pathogènes viraux et parasitaires, ils sont présents sur l'ensemble du globe et représentent un enjeu majeur de santé publique (Yahia *et al*., 2023). Ils sont responsables de la propagation de nombreuses maladies virales, telles que la dengue, la fièvre jaune et la fièvre de la vallée du Rift, ainsi que de maladies parasitaires comme le paludisme (Abo El Ela *et al*., 2024). Par ailleurs, ils contribuent à la transmission d'infections graves telles que le virus du Nil occidental, l'encéphalite, la filariose et le chikungunya.

Face à cette menace, l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 1996) a qualifié les moustiques d'ennemi public numéro un. Chaque année, plus de 700 millions de personnes dans

plus de 100 pays sont touchées par des maladies transmises par ces insectes, soulignant ainsi l'ampleur du danger qu'ils représentent à l'échelle mondiale (Dris *et al*., 2017).

Appartenant à l'ordre des Diptères et à la famille des Culicidae, les moustiques forment l'un des plus vastes groupes d'insectes à deux ailes. Leur distribution est particulièrement marquée dans les régions tropicales et tempérées. À ce jour, environ 3 700 espèces ont été identifiées, réparties en deux sous-familles et 112 genres (Soltani, 2015 ; Kachhawa *et al*., 2021). Cette grande diversité, combinée à leur rôle épidémiologique, a suscité un intérêt scientifique croissant, donnant lieu à de nombreuses études sur leur faune, leur biologie et leur écologie (Jourdain & Paty, 2019).

II.1.3. Présentation de Culicidae

Les Culicidae, communément appelés moustiques, constituent l'une des familles d'insectes les plus importantes et les plus étendues. Ils regroupent de nombreuses espèces vectrices très efficaces dans la transmission d'agents pathogènes (Nabti, 2020). Ces Diptères hématophages, appartenant au sous-ordre des Nématocères, se distinguent par leur capacité à transmettre divers micro-organismes, notamment des virus, des parasites et des bactéries (Hamaidia & Berchi, 2018).

Certaines espèces coexistent avec leur hôte sans provoquer de dommages significatifs. Toutefois, d'autres peuvent transmettre des agents infectieux susceptibles de causer des pathologies graves, voire mortelles (Asloum, 2023).

II.1.4. Analyse phénologique des Culicidae dans la région de Tébessa

L'analyse phénologique des Culicidae dans la région de Tébessa révèle une présence sporadique des différentes espèces. Parmi elles, *Culiseta longiareolata* se distingue par sa persistance sur une période de cinq mois au cours de l'étude, à savoir en novembre, décembre, mars, avril et mai. D'autres espèces, en revanche, n'ont été observées que sur une courte durée de deux à trois mois. C'est le cas de *Aedes coluzzii*, recensé en novembre et décembre, ainsi que de *Culex pipiens*, détecté en décembre, avril et mai. Certaines espèces n'ont été présentes qu'un seul mois, notamment *Culex theileri* et *Culex mimeticus*, apparus en octobre, ainsi que *Culiseta annulata*, observée en mai (tableau 1) (Hamaidia & Berchi, 2018).

Tableau01. Phénogramme des espèces de Culicidae dans le gisement de Tébessa (Hamaidia & Berchi, 2018).

Mois / Espèces	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Culiseta longiareolata								
Aedes coluzzii								
Culex mimitucus								
Culex theileri								
Culex pipiens								
Culiseta annulata								

II.1.5. Présentation des espèces Culicidiennes dans la région de Tébessa

La liste est dominée par la région de Tébessa qui est celle avec la plus grande variété d'espèces de culicidae, avec *C. longiareolata* étant l'espèce la plus abondante (Hamaidia, 2020).

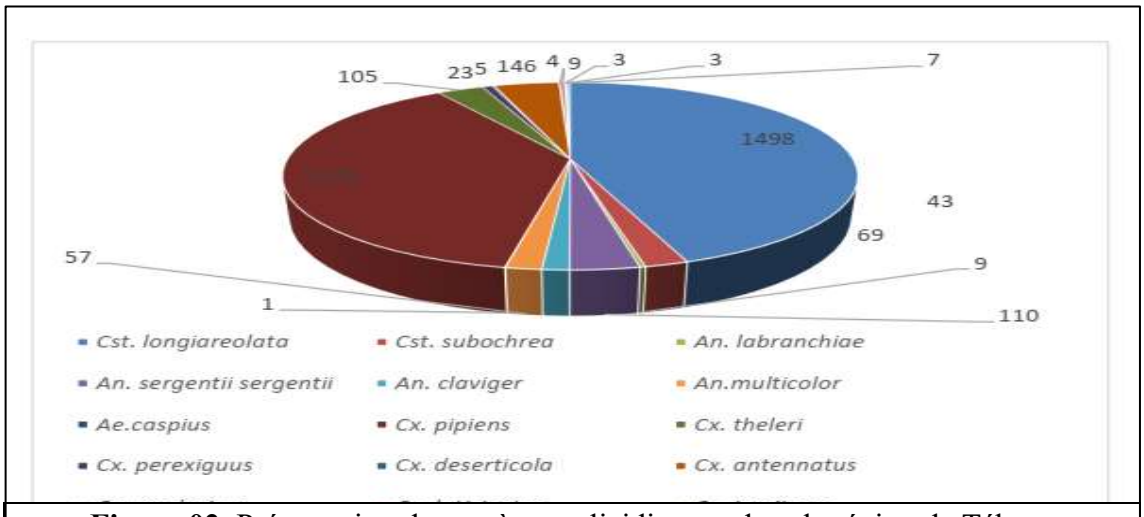


Figure 02. Présentation des espèces culicidiennes dans la région de Tébessa (Hamaidia, 2020).

II.1.6. Cycle de vie et développement

Les moustiques sont des insectes holométaboles, c'est-à-dire qu'ils subissent une métamorphose complète au cours de leur développement (Hall & Tamïr, 2022). Ainsi, la larve

ne présente aucune ressemblance morphologique avec l'adulte. Leur cycle de vie comprend une phase aquatique (les stades immatures) suivie d'une phase aérienne après la métamorphose (le stade adulte). Cette transformation suit un cycle bien défini, débutant par l'œuf, puis passant par les stades larvaire et nymphal, avant d'atteindre le stade adulte (Belkhiri, 2022).

Le cycle débute après une ovogénèse d'environ trois jours durée variable selon les espèces et les conditions environnementales, notamment la température. À l'issue de cette période, les femelles pondent entre 40 et 80 œufs par ponte (Bouaoud, 2024).

Après l'éclosion, les larves aquatiques se nourrissent de matières organiques présentes dans leur environnement et subissent quatre mues successives avant d'atteindre le stade nymphal. La nymphe, quant à elle, cesse de s'alimenter et mobilise ses réserves énergétiques pour achever sa métamorphose. Une fois ce processus terminé, l'adulte ailé émerge, prêt à voler et à se reproduire. Les moustiques adultes présentent un dimorphisme sexuel marqué : les femelles nécessitent un repas de sang pour le développement de leurs œufs, tandis que les mâles se nourrissent exclusivement de nectar et d'autres substances sucrées (Ramirez *et al*., 2024).

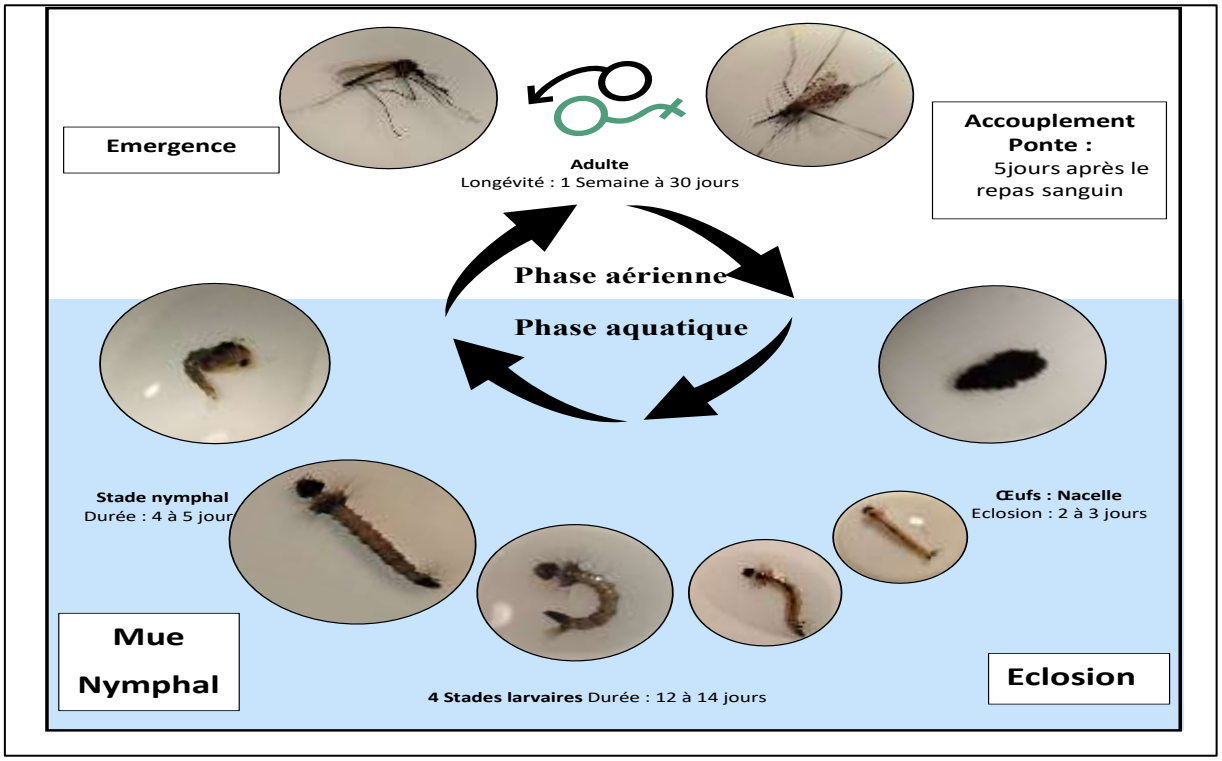


Figure 03. Cycle de développement et de vie de *C. longiareolata* (photo personnelle, 2025).

a. Œufs

À la suite de l'accouplement, qui survient peu après l'émergence des adultes, les femelles fécondées déposent entre 200 et 400 œufs à la surface de l'eau, disposés verticalement. Ces œufs, de forme fusiforme, mesurent environ un millimètre de long. Fraîchement pondus, ils présentent une teinte blanchâtre, qui s'assombrit après quelques heures (Fig. 4). Une couronne est visible au niveau de leur pôle inférieur (Guenez, 2019), et l'éclosion survient dans un délai de 24 à 48 heures (Djeddar, 2021).



Figure 04. Œufs de *C. longiareolata* (Photo personnelle, 2025).

b. Larves

Les larves de moustiques du genre *Culiseta* passent par quatre stades de développement successifs (L1, L2, L3 et L4), séparés par des mues qui leur permettent de croître jusqu'à une taille variante entre 2 mm et 12 mm. Selon l'espèce et les conditions aquatiques, ces larves évoluent soit à la surface de l'eau, soit au fond, ne remontant que ponctuellement pour respirer, voire pas du tout (Dris, 2018).

Le rythme de développement larvaire est relativement rapide. Les trois premiers stades (L1, L2, L3) durent environ une journée chacun, tandis que le quatrième (L4) s'étend sur environ trois jours. Une différence notable entre les sexes a également été observée : les mâles terminent leur développement légèrement plus tôt que les femelles, ces dernières entrant en pupaison environ un jour après eux (Foster, 2019).

Outre cette dynamique de croissance, les larves de *Culiseta* se distinguent par un appareil buccal spécialisé. Bien que tous les stades larvaires (L1 à L4) soient observables, seules les larves du quatrième stade (L4) présentent des caractères morphologiques distinctifs permettant leur identification taxonomique (Aissaoui & Moukher, 2020).

D'un point de vue morphologique, les larves de moustiques se différencient des autres insectes aquatiques par l'absence de pattes (elles sont apodes) et la présence d'un thorax de

forme bulbiforme, plus volumineux que la tête et l'abdomen. Ces particularités anatomiques conditionnent leur mode de vie et leur adaptation au milieu aquatique (Messai, 2017).



Figure 05. Larve de *C. longiareolata* (photo personnelle, 2025)

b.1. Tête de larve

Les larves présentent une tête bien développée, munie d'une paire d'yeux composés et d'une paire de mandibules dotées de dents sur leur bord distal. Ces structures, associées au mentum, constituent l'appareil masticateur. On observe également une paire d'antennes situées aux extrémités antérolatérales de la tête (Messai, 2017). La longueur des antennes, ainsi que le nombre de soies antennaires, varie selon les genres (Chahed, 2022).

b.2. Thorax de larve

Le thorax, plus large que la tête, est composé de trois segments fusionnés : le prothorax, le mésothorax et le métathorax. Sa surface, aussi bien dorsale que ventrale, est ornée de soies dont la forme et la taille varient selon leur localisation. Les soies ventrales diffèrent de celles dorsales, et leur disposition varie selon les espèces (Keffous, 2023). L'ensemble de ces soies est répertorié selon une numérotation spécifique appelée chétotaxie, qui constitue un critère important pour l'identification taxonomique des espèces (Bouaoud, 2024).

b.3. Abdomen de larve

L'abdomen, allongé et légèrement cylindrique, est constitué de neuf segments distincts. Le huitième segment est particulièrement important pour la classification taxonomique, car il porte le siphon respiratoire caractéristique des larves de la sous-famille des Culicinae (Keffous, 2023). Ce siphon, dont la longueur varie selon les espèces, est essentiel à la respiration larvaire. Le neuvième segment comporte un ensemble complexe de soies anales, ainsi que deux appendices hyalins appelés papilles anales, qui encadrent l'orifice anal (Merabti, 2015).

c. Nymphes

La nymphe, reconnaissable à sa posture incurvée évoquant un point d'interrogation, respire à l'aide de trompettes respiratoires situées sur son céphalothorax. Bien qu'elle soit extrêmement réactive et s'immerge rapidement au moindre dérangement, elle ne se nourrit pas durant cette phase (Benseradj, 2015). Cette absence d'alimentation s'explique par le fait que la nymphe utilise les réserves énergétiques accumulées au stade larvaire. D'une durée moyenne de 24 à 48 heures, cette étape nymphale représente une transition cruciale vers le stade adulte (Foster & Walker, 2019).

D'un point de vue morphologique, la nymphe est constituée de huit segments distincts. Le dernier porte deux palmes natatoires, tandis que le neuvième segment est atrophié. Le céphalothorax laisse déjà entrevoir les structures de l'adulte, telles que les yeux, les antennes, le thorax, les pattes et les ailes. Par ailleurs, les trompettes respiratoires prothoraciques, dont la morphologie peut varier selon les espèces, remplissent une fonction analogue à celle du siphon respiratoire des larves, permettant à la nymphe d'assurer sa respiration aérienne (Djabri & Lahmidi, 2021).



Figure 06. Nymphe de *C. longiareolata*
(Photo personnelle, 2025)

d. **Adulte**

Une fois la transformation achevée, l'adulte perce l'enveloppe de la nymphe et émerge à la surface de l'eau. Les mâles atteignent leur maturité sexuelle en fin de journée, tandis que les femelles y parviennent entre un et deux jours plus tard. Ces dernières sont généralement plus grandes que les mâles du même stade de développement (Djabri, 2021).

Ces insectes, minces et de petite taille, mesurent habituellement entre 3 et 6 mm de long (Messai, 2017). Les adultes se distinguent par la possession d'une unique paire d'ailes, correspondant aux ailes antérieures, tandis que les ailes postérieures sont métamorphosées en un organe d'équilibre : le balancier. Leur appareil buccal est de type piqueur (Asloum, 2023).

Leur corps, fin et segmenté, se divise en trois parties distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen (Dris, 2018).

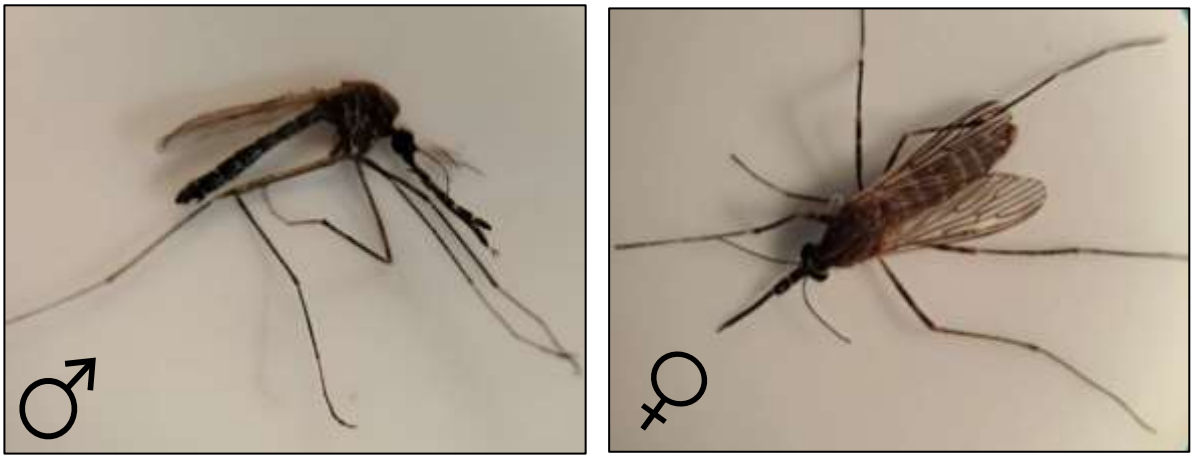


Figure 07. Les adultes des moustiques (Photo personnelle, 2025)

II.1.7. Présentation de *Culiseta longiareolata*

L'espèce *Culiseta longiareolata* appartient à la sous-famille des Culicinae, de la famille des Culicidae (Khaligh *et al*., 2020). De taille variant entre 3 et 5 mm, il s'agit d'une espèce rurale à cycles reproductifs multiples, dans laquelle les femelles sont autogènes et stégames (Dris, 2018). Les bandes blanches et les pointes présentes sur leurs pattes, leur tête et leur thorax permettent de la distinguer des autres espèces du genre Culiseta (Boumaza *et al*., 2022).

Bien que les oiseaux soient leurs principaux hôtes, les adultes peuvent s'infiltrer dans les habitations et piquer les humains (Khaligh *et al*., 2020).

Dans la région de Tébessa, au nord-est de l'Algérie, *C. longiareolata* est l'espèce de moustique la plus répandue (Bouzidi, 2019). Son activité est fortement influencée par la température, qui joue un rôle déterminant dans plusieurs aspects de son cycle de vie : oviposition, durée de vie adulte, incubation et éclosion des œufs, ainsi que d'autres facteurs clés de son développement (Benkhedim, 2023).

Cette espèce s'adapte à divers environnements et a été observée dans une grande variété de gîtes larvaires, allant des récipients en plastique aux rochers d'eau douce et aux piscines (Nebbak *et al*., 2022), ainsi que dans des puits, des seaux de pluie (Zittra, 2014) et même des piscines de fortune (Dahchare, 2016), témoignant ainsi de sa grande capacité d'adaptation aux conditions locales.

Tableau 02. La position systématique de *Culiseta longiareolata* **(Bouzidi, 2021).**

Règne	Animal
Succursale	Invertébré
Classe	Insecte
Sous-classe	Ptérygote
Ordre	Diptère
Sous-ordre	Nématocères
Famille	Culicidae
Sous-famille	Culicinae
Genre	*Culiseta*
Espèces	*Culiseta longiareolata*

II.1.8. Lutte contre les moustiques

En l'absence d'immunisations permettant de prévenir ces maladies (Rìos *et al*., 2017), des efforts ont été déployés pour contrôler les moustiques aux stades larvaire et adulte (Baz *et al*., 2025), en recourant notamment à la lutte chimique et biologique (Dris, 2018).

II.1.8.1. Lutte chimique

L'utilisation de produits chimiques pour lutter contre les moustiques constitue une stratégie efficace à l'échelle mondiale (Bouabida & Dris, 2020). Les pyréthroïdes, les carbamates, les organophosphorés et les pesticides microbiologiques sont quelques exemples d'insecticides chimiques (Baskar *et al.*, 2018). Toutefois, le développement de la résistance aux pesticides synthétiques couramment utilisés pose un problème majeur, car il perturbe les processus écologiques et nuit aux organismes non ciblés (Muturi *et al*., 2020).

Ce phénomène évolutif, connu sous le nom de résistance aux insecticides, désigne la capacité des insectes à survivre à une exposition à des substances qui, auparavant, les tuaient (Naqqash *et al*., 2016). Cette résistance peut se développer en raison de plusieurs mécanismes : insensibilité du site cible, modification des voies métaboliques, ou encore réduction de la pénétration des pesticides.

En réalité, le processus de développement de la résistance chez les moustiques est complexe et influencé par une variété de facteurs génétiques, physiologiques, comportementaux et écologiques (Zhu *et al*., 2016).

Les moustiques possèdent en outre certaines caractéristiques biologiques qui les rendent particulièrement susceptibles de développer une résistance, notamment leur cycle de vie court,

qui favorise des modifications génétiques rapides sur plusieurs générations (Liu, 2015). Par conséquent, ils peuvent acquérir rapidement une résistance aux pesticides fréquemment utilisés. L'élaboration de stratégies efficaces pour gérer les maladies transmises par les moustiques et réduire leurs populations ainsi que leur capacité de transmission nécessite une compréhension approfondie de ces facteurs (Mahyoub *et al*., 2023).

II.1.8.2. Lutte biologique

La lutte biologique présente de nombreux avantages, notamment par rapport aux pesticides chimiques (Kennedy, 2020). Parmi les approches les plus prometteuses figure l'utilisation de pesticides à base d'extraits de plantes. Ces substances, dérivées de composés végétaux, contiennent de nombreux allélochimiques jouant un rôle clé dans les interactions entre les plantes et les insectes (Ilahi *et al*., 2021). Grâce à leurs propriétés naturelles, ces composés offrent une alternative durable aux insecticides synthétiques pour le contrôle des moustiques vecteurs.

De plus, l'exposition des moustiques à ces extraits végétaux réduit significativement la probabilité de développement d'une résistance, renforçant ainsi l'efficacité de cette méthode sur le long terme (Filho, 2024).

En raison de leur sécurité et de leur caractère biodégradable, les produits naturels tels que les huiles essentielles représentent une alternative prometteuse pour la gestion des moustiques (De Souza *et al*., 2019). Ces dernières années, leur utilisation a fortement augmenté, en raison de leur accessibilité et de leurs multiples propriétés biologiques, notamment leur activité larvicide (Dris, 2018). Cette efficacité a été largement démontrée dans diverses études (Bouabida & Dris, 2020 ; Cuthbert *et al*., 2020 ; Baz *et al*., 2021).

Cependant, l'efficacité des extraits de plantes varie selon plusieurs facteurs : le type de plante, l'espèce de moustique ciblée, la diversité géographique, et la partie de la plante utilisée. Elle dépend également de la méthode d'extraction et de la polarité du solvant employé (Dris *et al*., 2017). Par ailleurs, la concentration chimique, le stade larvaire ciblé, ainsi que la durée d'exposition influencent directement le potentiel larvicide de ces extraits, et donc leur efficacité dans la lutte contre les moustiques (Filho, 2024).

II.1.9. Technique d'élevage

Nous avons recueilli les œufs de moustiques et les larves dans différentes parties d'El Hammamet (Ain el Aallaiq, El gaagaa, youkous) et Tébessa ville.

Une explication de cette paragraphe Une expérience de reproduction en masse a été réalisée en laboratoire à partir d'œufs de Culiseta longiareolata recueillis dans des fosses de stockage des eaux usées à Tébessa entre mars, avril et mai 2025.



Figure 08. Les sites d'élevage (Photo personnel,2025)

Les larves ont été élevées dans des récipients contenant 150 mL d'eau déchlorée et nourries avec 0,04 g d'un mélange composé de 75 % de biscuit et de 25 % de levure (Rehimi & Soltani, 1999). L'eau était renouvelée tous les deux jours, à une température ambiante de 25 °C. Le régime alimentaire joue un rôle crucial dans la fertilité, car un apport en protéines permet aux femelles de pondre davantage d'œufs que celles nourries uniquement de sucre (Dris, 2018).

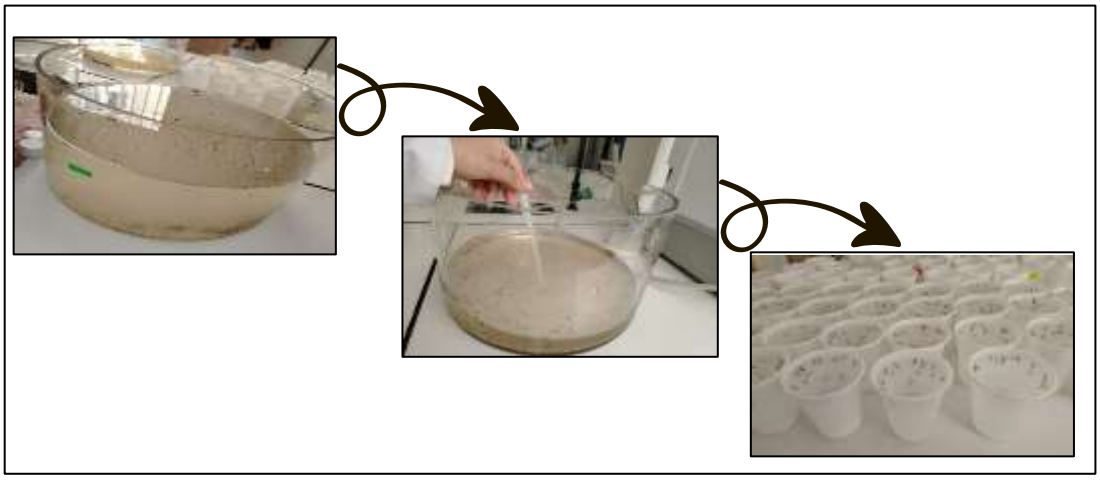


Figure 09. Étapes de préparation des larves de moustiques en laboratoire (Photos personnelles, 2025)

II.2. Matériel végétal

II.2.1. Présentation de la famille des Rutaceae

La famille des Rutaceae, initialement décrite par Durande en 1782 puis formellement caractérisée par Jussieu en 1789, appartient à la division des Magnoliphyta, à la classe des Magnoliopsidae, à la sous-classe des Rosidae et à l'ordre des Sapindales (Appelhans *et al*., 2021 ; Groppo *et al*., 2022). Elle comprend environ 154 genres et 2100 espèces (Pirani & Groppo, 2020), principalement réparties en Afrique du Sud, en Amérique, ainsi que dans les régions tropicales et tempérées de l'Australasie (Junoir *et al*., 2023).

Les Rutaceae se distinguent par leur richesse en composés bioactifs tels que les flavonoïdes, coumarines, alcaloïdes et terpénoïdes (Annuziata *et al*., 2020). Les huiles essentielles de cette famille sont également largement utilisées, notamment en parfumerie ou pour leurs propriétés thérapeutiques.

II.2.2. Propriétés pharmacologiques et usages traditionnels des Rutaceae

Les espèces de la famille des Rutaceae sont reconnues pour leurs effets neuropharmacologiques et leur efficacité dans le traitement de divers troubles : inflammatoires, endocriniens, asthmatiques, viraux et gastro-intestinaux (Ishtiaq *et al*., 2015 ; Coimbra *et al*., 2020).

Des études récentes ont confirmé leurs propriétés antimicrobiennes, antivirales, cicatrisantes et cytotoxiques, ainsi que leur potentiel insecticide (Junoir *et al*., 2023 ; Nahar *et al.*, 2021). Le jus de leurs feuilles, par exemple, est traditionnellement utilisé pour soulager les douleurs dentaires et auriculaires, et traiter les infections helminthiques (Yahia *et al*., 2023).

Ces propriétés thérapeutiques sont en grande partie attribuées aux huiles essentielles contenues dans les chambres sécrétoires visibles sous forme de taches translucides sur les feuilles, mais aussi présentes dans les fleurs, le péricarpe et les jeunes axes (Groppo *et al*., 2022).

II.2.3. Classification systématique des Rutaceae

Tableau03. La position systématique des Rutaceae (Bonnier, 1999).

Règne	Végétaux
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Rutales
Sous-classe	Dialypétales
Ordre	Dicotylédones
Famille	Rutaceae
Genre	*Ruta*
Espèce	*R.montana R.graveolens*

II.2.4. Le genre *Ruta* entre diversité botanique et applications thérapeutiques

Le genre *Ruta*, appartenant à la tribu Ruteae et représentant le genre type de la sous-famille Rutoideae, constitue l'un des genres les plus emblématiques de la famille des Rutaceae (Coimbra *et al*., 2020). Il est largement répandu dans les régions tempérées et méditerranéennes, notamment en Europe, en Afrique du Nord, en Asie, et a également été introduit en Amérique du Nord et du Sud (Nahar *et al*., 2021).

Bien que certaines sources rapportent environ 1800 espèces (Slougui *et al*., 2023), c'est surtout dans le bassin méditerranéen que les espèces du genre *Ruta* sont les plus abondantes. En Algérie, cinq espèces sont recensées : *R. graveolens*, *R. montana*, *R. chalepensis*, *R. angustifolia* et *R. tuberculata*, illustrant la richesse floristique et le potentiel médicinal du pays (Mohammedi *et al.*, 2019).

Ruta est utilisée depuis longtemps en médecine traditionnelle pour ses nombreuses propriétés thérapeutiques. En Algérie, elle est préparée sous forme de poudre et appliquée pour ses effets échauffants, antispasmodiques, rubéfiants et emménagogues (Merghem & Dahamna, 2020). Elle est particulièrement utilisée dans le traitement des rhumatismes, des varices, des dislocations, des tensions tendineuses, des affections oculaires, ainsi que de certaines maladies dermatologiques comme le psoriasis et l'eczéma (Monari *et al*., 2022).

L'intérêt croissant des chercheurs pour ce genre repose sur son large spectre d'activités biologiques et son potentiel médicinal encore insuffisamment exploité. Les recherches actuelles visent à approfondir la connaissance de ses composés bioactifs et à élargir ses applications thérapeutiques (Slougui *et al*., 2023).

II.2.5. Présentation de l'espèce *Ruta graveolens*

II.2.5.1. Définition de *R. graveolens*

La plante médicinale et aromatique *Ruta graveolens* appartient à la famille des Rutaceae (Bouabida & Dris, 2022). Reconnaissable à ses petites feuilles épaisses, vert foncé et dépourvues de poils, elle se distingue par son goût âpre et amer. Sa hauteur varie de 30 à 80 cm, et ses fleurs jaunes présentent généralement trois pétales (Mohammadpour *et al*., 2025). Originaire principalement de la région méditerranéenne, *R. graveolens* s'est largement répandue à travers le monde grâce à ses propriétés thérapeutiques. Elle a ainsi été introduite en Amérique, en Afrique du Nord, dans plusieurs pays d'Asie, en Europe du Sud-Est et au Brésil, où elle est exploitée pour ses nombreuses vertus médicinales (Coimbra *et al*., 2018 ; Al-Mufti *et al*., 2021).

Les composés isolés dans les différentes parties de *R. graveolens* comprennent les flavonoïdes, les coumarines, les composés volatils, les alcaloïdes, les terpénoïdes, les glycosides, les diterpènes, les triterpènes et les furanoquinolines (Mohammadpour *et al*., 2025). Outre son activité antimicrobienne, il a été démontré que *R. graveolens* possède des effets protecteurs contre les anomalies génétiques, notamment les mutations et certains types de cancer (Reddy & Al-Rajab, 2016 ; Al-Mufti *et al*., 2021).

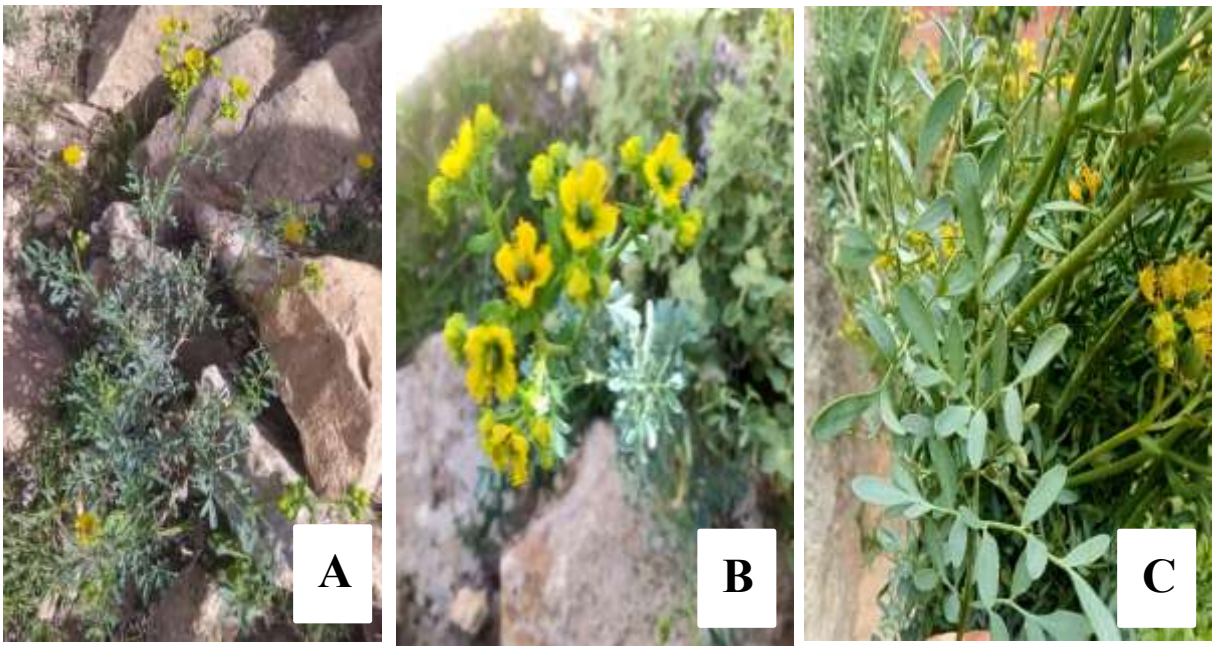


Figure10. (A) la plante de *Ruta graveolens* (B) les fleurs (C) les feuilles (Photos personnelles, 2025)

II.2.5.2. Noms typiques de *R. graveolens*

Ruta graveolens est connue sous différents noms selon les langues et les régions :

- En français : rue officinale, rue puante, rue fétide, rue des jardins, herbe à la belle-fille, rue des murailles (Bonnier, 1999).
- En anglais : rue, herbygrass (Chaouche, 2015).
- En arabe : السذاب الأذقر (Chaouche, 2015).
- Nom vernaculaire en Algérie: *Fidjel* (الفيجل) (Chaouche, 2015).

II.2.5.3. Description botanique de *R. graveolens*

Ruta graveolens est une plante pérenne semi-arbustive, atteignant généralement une hauteur de 65 à 70 cm. Elle appartient à la famille des Rutaceae et se caractérise par une odeur âcre et désagréable (Reza *et al*., 2020 ; Badhusha *et al*., 2020).

Tableau 04. Caractéristiques botaniques de l'espèce *Ruta graveolens* (Deorper, 2008 ; Merghache *et al*., 2009 ; Attou, 2011 ; Hazzit *et al*., 2015 ; Sharifi *et al*., 2019 ; Eman *et al*., 2020).

Espèce Botanique	Caractéristiques	Ecologie	Propriétés biologique et thérapeutiques
R. graveolens L.	-Tige : ramifiée et ligneuse à la base - Feuilles : Vertes, semi-pérennes, alternes, à texture légèrement charnue -Fleurs : Réunies en inflorescences corymbes, 4-5 pétales jaune verdâtre soudés à la base, le même nombre de sépales, 8-10 étamines.	-Répartition géographique : Régions tropicales et tempérées du monde entier, notamment Amérique du Sud et Europe du Sud. -Origine possible : région méditerranéenne. - Exigences du sol : Sol léger, sec, calcaire, avec un bon ensoleillement.	-Utilisations traditionnelles : . Traitement des troubles menstruels. . Traitement des maux de tête et des maux d'oreilles. -Valeur pharmacologique. Il a des propriétés anti-inflammatoires.

II.2.6. Présentation de l'espèce *Ruta montana*

II.2.6.1. Définition de *Ruta montana*

Appartenant à la famille des Rutaceae, *R. montana*, connue sous le nom vernaculaire Fidjel, est l'une des trois espèces les plus étudiées et répandues de ce genre (Allouni, 2018). Dès l'Antiquité grecque, elle était déjà connue sous le nom de « herbe de la grâce » (Benkhaira *et al*., 2022).

Ruta montana constitue une source importante de composés phytochimiques, notamment des alcaloïdes, coumarines, flavonoïdes, tanins et substances volatiles (Zeraib *et al.*, 2021). Ses huiles essentielles, reconnaissables à leur forte odeur nauséabonde, sont principalement composées de 2-cétones, telles que la 2-undécanone et la 2-décanone (Benkhaira *et al.*, 2022). La composition chimique des extraits de *R. montana* varie toutefois de manière significative selon plusieurs facteurs, notamment la saison de récolte, la partie de la plante utilisée et son origine géographique (Zeraib *et al*., 2021). De nombreuses études in vitro et in vivo ont démontré que *R. montana*, en particulier ses huiles essentielles (HEs), possède une large gamme d'activités biologiques. Ces propriétés incluent notamment des effets antibactériens et antifongiques (Mouhamedi *et al*., 2020 ; Benali *et al*., 2020 ; Hammami *et al*., 2015), antioxydants (Mouhamedi *et al*., 2020 ; Benali *et al*., 2020 ; Merghem et al., 2020 ; Khadhri *et al*., 2017), antidiabétiques (Farid *et al*., 2017), anticancéreux (Ali *et al*., 2016), antifertilité (Merghem *et al*., 2017), ainsi que des activités antihypertensives (El-Ouadi *et al*., 2020), insecticides et larvicides (Bouzeraa *et al*., 2019).

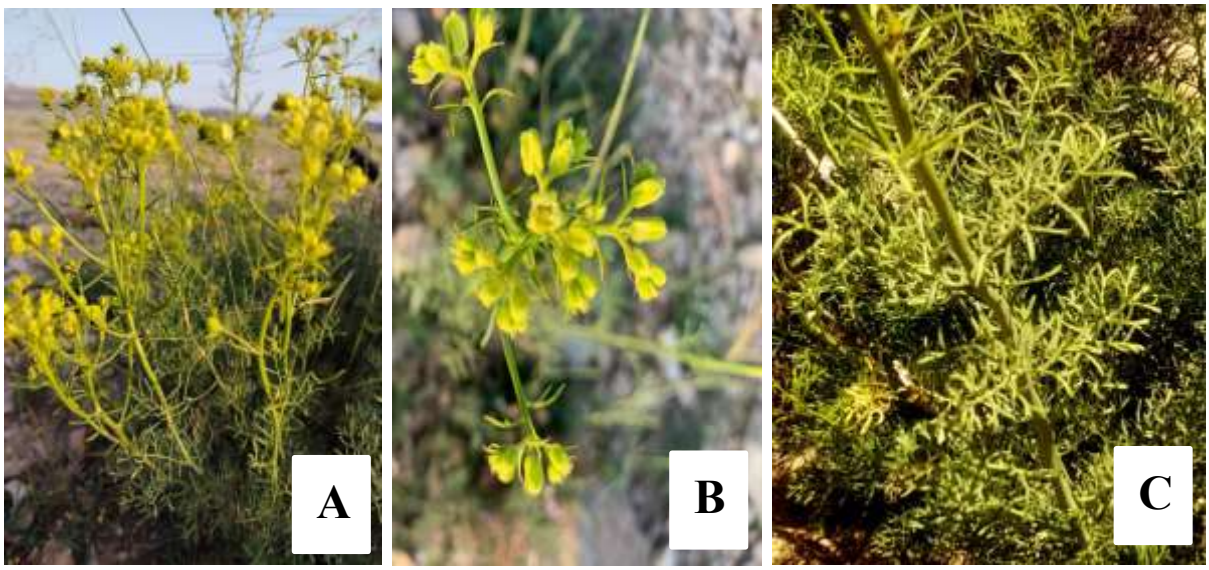


Figure 11. (A) la plante de *Ruta Montana* (B) les fleurs (C) les feuilles (Photos personnelles, 2025)

II.2.6.2. Noms typiques de *R. montana*

Ruta montana est désignée par divers noms selon les langues et les régions (Hazzit *et al*., 2015) :

- Nom français : *Rue* de montagne.
- Nom latin *: Ruta Montana*
- Nom populaire : Fidjl el djbel
- En anglais : Mountain rue.
- En arabe fidjel, fidjel el jabel ou fidjela.

II.2.6.3. Description botanique de *R. montana*

R. montana est un arbuste à feuillage fin, mesurant entre 20 et 60 cm de hauteur. Ses feuilles sont allongées, tandis que ses fleurs bisexuées, de petite taille, sont de couleur jaune et présentent deux verticilles d'étamines. Ses fruits, de type capsule, possèdent quatre lobes arrondis. La plante est réputée pour son odeur forte et désagréable, souvent qualifiée de nauséabonde, due à la présence d'une huile essentielle localisée dans de grandes poches sécrétrices contenant des glandes spécifiques (Kara Ali & Abidli, 2017 ; Benkhaira *et al*., 2022).

Tableau 05. Caractéristiques botaniques de l'espèce *Ruta montana* (Deorper, 2008 ; Merghache *et al*., 2009 ; Attou, 2011 ; Hazzit *et al*., 2015 : Sharifi *et al*., 2019 : Eman *et al*., 2020).

Espèce Botanique	Caractéristiques	Ecologie	Propriétés biologique et thérapeutiques
Ruta montana L.	-Feuilles : Finement divisées en segments linéaires, de couleur vert bleuté. -Capsules (fruits secs) : de forme sphérique, mesurant 3,5 x 4 mm, contenant quatre chambres obtuses à col très petit (très légèrement pédicellées). -Fleurs : Petites (5-6 mm), pétales aux bords dentelés.	-Type : Une herbe médicinale méditerranéenne populaire. -Sites de culture : Rochers et prairies en zone de collines. -Habitat : Commun en montagne, s'étendant jusqu'à l'Atlas saharien.	-Améliore la digestion en petites quantités. -Infection et inflammation interne. -Affections respiratoires graves. -Troubles digestifs. -Troubles neurologiques. - Répulsif contre les insectes.

II.3. Les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des substances naturelles, volatiles et odorantes, produites par certaines plantes afin de favoriser leur défense, leur croissance et leur reproduction. Elles sont constituées d'un mélange complexe de composés organiques volatils (Stevanovic *et al*., 2020 ; Falleh *et al*., 2020).

Outre leur rôle écologique, les huiles essentielles sont largement utilisées dans les domaines de la parfumerie, de l'alimentation, de la cosmétique et de la médecine douce, notamment en aromathérapie (Udourioh *et al*., 2025). Elles possèdent des propriétés calmantes, antidépressives et antivirales, qui renforcent leur intérêt thérapeutique (Hosnaroodi & Ghavam, 2025).

Les huiles essentielles présentent également une grande diversité d'activités biologiques, dont des effets antimicrobiens, antifongiques, antitoxiques, insecticides et antioxydants (Bolouri *et al*., 2022). Ces propriétés sont principalement dues aux composés volatils qu'elles contiennent, capables de neutraliser les radicaux libres et de protéger les cellules contre l'oxydation (Jarin *et al*., 2024).

Leur efficacité et leur composition varient selon plusieurs facteurs comme la génétique de la plante, les conditions climatiques, le lieu de croissance, ou encore la partie utilisée pour l'extraction. Généralement obtenues par distillation à la vapeur, les HE contiennent principalement des composés classés en deux groupes : les terpènes (ou terpénoïdes), issus d'unités isoprène et représentant une famille très diverse de plus de 50 000 molécules, et les non-terpénoïdes (phénylpropanoïdes), présents en moindre quantité (Sousa *et al*., 2023).

Grâce à leurs propriétés multiples et à leur origine naturelle, les huiles essentielles apparaissent aujourd'hui comme une alternative prometteuse aux antibiotiques, avec un potentiel croissant dans la prévention et le traitement de nombreuses pathologies (Ashayerizadeh *et al*., 2025).

II.3.1. Bref historique

L'utilisation des huiles essentielles remonte à des millénaires et a été documentée dans plusieurs civilisations anciennes. Les premières traces connues de leur usage proviennent des hiéroglyphes de l'Égypte antique, où les huiles essentielles étaient employées à des fins religieuses, cosmétiques et médicinales (Heshelow, 2023). Des textes historiques indiquent également que les médecins et botanistes de l'Égypte, de la Chine et de l'Inde utilisaient ces extraits végétaux pour traiter diverses affections et dans le cadre de rituels spirituels (Palla & Russo, 2023).

Le terme « huile essentielle » est apparu au XVIe siècle, en lien avec la théorie de la « Quinta essentia », développée par le médecin et alchimiste germano-suisse Paracelsus (1493–

1541). Il considérait que les huiles extraites des plantes représentaient l'essence même de la nature, concentrant leurs vertus curatives les plus puissantes. Cette vision a jeté les bases de l'utilisation médicinale des extraits végétaux dans la tradition alchimique et thérapeutique (Sousa *et al*., 2023).

L'utilisation moderne des huiles essentielles a connu un renouveau au XXe siècle, grâce aux travaux du chimiste français René-Maurice Gattefossé. Après avoir observé les propriétés cicatrisantes de l'huile essentielle de lavande, il a développé le concept de l'aromathérapie, défini comme l'usage thérapeutique des huiles essentielles dans le traitement des affections physiques et émotionnelles (Heshelow, 2023).

II.3.2. Composition chimique des huiles essentielles

Les plantes présentes dans l'environnement ont été utilisées par l'homme depuis des millénaires pour traiter et guérir une grande variété de maladies. Elles représentent une source importante de composés bioactifs, caractérisés par une grande diversité de structures chimiques (Fenghour *et al*., 2021). Cette diversité, tant en nombre qu'en forme, complique leur identification et leur classification (Baptista-Silva *et al*., 2020).

Les huiles essentielles peuvent contenir plus de 300 substances chimiques différentes. En général, une HE est composée de 20 à 60 composants en proportions variables. Parmi ces composants, deux ou trois sont généralement présents en quantités significatives, représentant entre 20 % et 70 % de la composition totale (Sousa *et al*., 2023). Cette particularité illustre à la fois la richesse et la complexité chimique des plantes médicinales (Baptista-Silva *et al*., 2020).

Les principales catégories chimiques présentes dans les huiles essentielles sont les terpènes et les phénylpropanoïdes, qui constituent la majorité des composés bioactifs responsables de leurs propriétés (Sousa *et al*., 2022).

a. **Les terpénoïdes**

Les terpénoïdes sont des métabolites secondaires volatils présents dans les plantes, où ils jouent un rôle fondamental dans plusieurs processus biologiques. Ils interviennent notamment dans la formation des parfums, la défense contre les maladies, la résistance au stress, l'allélopathie et les interactions symbiotiques avec diverses communautés biologiques (Hu *et al*., 2024).

Ces composés sont extraits d'une grande variété de plantes aromatiques, principalement situées dans les régions à climat doux ou chaud. Ils constituent une part importante de la pharmacopée traditionnelle en raison de leurs nombreuses propriétés thérapeutiques (Meena *et al*., 2022). Sur le plan physique, ce sont des substances lipidiques, fluides, transparentes, rarement colorées, solubles dans des solvants naturels et dont la densité est généralement

inférieure à celle de l'eau. La biosynthèse des terpénoïdes conduit à la production de métabolites essentiels comme les acides gibbérelliques, les stérols ou encore les composés chimiques abscisiques, qui sont indispensables à la croissance et au développement des plantes (Hu *et al*., 2024).

Les terpènes forment l'une des familles les plus vastes et variées de composés naturels présents dans le règne végétal. Ils sont classés en fonction du nombre d'unités d'isoprène les constituant : les monoterpènes (C10), les sesquiterpènes (C15), les diterpènes (C20) et les triterpènes (C30) sont les plus courants (Xavier *et al*., 2023). En plus de leur rôle dans les plantes, les terpénoïdes sont également largement utilisés dans de nombreux domaines de la vie quotidienne, notamment dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire (Hu *et al*., 2024).

b. **Les Phénylpropanoïdes**

Les phénylpropanoïdes sont des composés organiques naturels largement répandus dans le règne végétal. Ils se caractérisent par une structure de base formée d'un noyau aromatique à six atomes de carbone, lié à une chaîne latérale de trois carbones contenant une double liaison. Leur biosynthèse repose sur la voie du shikimate, avec comme précurseur biogénétique l'acide aminé aromatique L-phénylalanine. Il s'agit d'une voie métabolique secondaire majeure chez les plantes, à l'origine de plus de 8 000 métabolites différents (Wang *et al*., 2024).

Parmi ces métabolites, les acides cinnamique et p-coumarique jouent un rôle central en tant que précurseurs des phénylpropanoïdes. Une fois produits, ils subissent diverses modifications enzymatiques, telles que l'acétylation, la méthylation ou encore la décarboxylation, qui leur confèrent une diversité structurelle et fonctionnelle remarquable. L'oxydation de ces composés, accompagnée de la dégradation de leur chaîne latérale, donne notamment naissance à des aldéhydes aromatiques (Bednarczyk *et al*., 2025).

Cette richesse chimique se traduit par une grande variété de familles de composés dérivés, comme les flavonoïdes, les stilbènes, les monolignols, les acides phénoliques et certains terpénoïdes. Ces molécules jouent un rôle essentiel dans la biologie végétale, en participant à la protection contre les rayonnements ultraviolets, à la signalisation moléculaire, ou encore au renforcement des parois cellulaires (Anwar *et al*., 2021).

Enfin, certains dérivés des phénylpropanoïdes, tels que les phytoalexines et les caroténoïdes, sont directement impliqués dans les mécanismes de défense des plantes face aux stress biotiques et abiotiques. Grâce à cette diversité fonctionnelle, les phénylpropanoïdes apparaissent comme des métabolites secondaires indispensables au développement, à l'adaptation et à la survie des plantes (Sousa *et al*., 2022 ; Sousa *et al*., 2023).

II.3.3. Utilisations des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HEs) jouent un rôle fondamental dans l'interaction des plantes avec leur environnement. Elles participent à l'attraction des pollinisateurs tout en constituant un moyen de défense naturel contre divers parasites (Zukowska & Duczynska, 2024). Cette double fonction illustre leur richesse en composés physiologiquement actifs, dotés de propriétés anti-inflammatoires, nématicides, fongicides, antibactériennes et herbicides (Raveau *et al*., 2020).

Grâce à ces propriétés bioactives, les HEs trouvent de nombreuses applications dans différents secteurs. En agroalimentaire, leurs effets antimicrobiens en font des agents de conservation naturels particulièrement efficaces pour prolonger la durée de vie des denrées périssables (Da Silva *et al*., 2022). En dehors du secteur alimentaire, elles sont également utilisées dans des contextes culturels et spirituels : leurs arômes sont prisés dans les rituels religieux pour leur valeur symbolique et apaisante (Zukowska & Duczynska, 2024).

Leur potentiel insecticide est un autre domaine d'intérêt. Les huiles essentielles sont utilisées dans la fabrication d'insecticides botaniques, qui se sont révélés efficaces contre des vecteurs de maladies tels que les moustiques (Spinozzi *et al*., 2021). Enfin, en médecine qu'elle soit traditionnelle ou moderne leurs effets thérapeutiques continuent de susciter l'attention des chercheurs, qui s'intéressent à mieux comprendre leurs mécanismes d'action (Zukowska & Duczynska, 2024).

II.3.4. Propriétés insecticides des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HEs), en raison de leur nature lipophile, sont capables de perturber le métabolisme des insectes, entraînant divers effets toxiques. Cette toxicité dépend à la fois de la composition chimique des HEs, de leur poids moléculaire et du mode de pénétration dans l'organisme cible (Sahyoun, 2022).

Les voies d'exposition aux huiles essentielles sont variées : elles peuvent agir par contact cutané, inhalation ou ingestion. Cette multiplicité de modes d'entrée dans l'organisme renforce leur efficacité toxique contre les insectes (Mossa, 2016).

Par ailleurs, les extraits de plantes et leurs métabolites secondaires apparaissent comme une alternative écologique et économique aux insecticides chimiques. Grâce à leur biodégradabilité et à leurs propriétés insecticides, ces composés permettent un contrôle efficace des larves de moustiques, tout en présentant un risque moindre pour les organismes non ciblés. Cette approche durable constitue ainsi une solution prometteuse dans la lutte contre les vecteurs de maladies, en particulier dans les contextes où les produits chimiques posent des problèmes de sécurité environnementale (Dris *et al*., 2024).

II.3.5. Mode d'action des bioinsecticides à base d'huiles essentielles

Les bioinsecticides dérivés des huiles essentielles agissent sur le système nerveux des insectes, provoquant une paralysie en perturbant la transmission des signaux neuronaux. Elles altèrent également la respiration cellulaire, empêchant l'absorption normale de l'oxygène. De plus, elles bloquent le processus de mue, essentiel au développement de l'insecte, et perturbent la formation de la cuticule, rendant l'insecte plus sensible aux agressions extérieures (Dris, 2018).

II.3.6. Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles est une opération délicate et complexe qui nécessite une grande rigueur (Mohamed Nadjib *et al*., 2019). Elle débute par la récolte des plantes aromatiques (feuilles, fleurs, écorce, graines ou fruits) à des stades précis de maturité. Ces matières végétales sont ensuite soumises à des conditions strictement contrôlées de lumière, température et humidité, afin de préserver la qualité des composés volatils.

II.3.6.1. Techniques d'extraction des huiles essentielles

Les techniques d'extraction sont classées en méthodes classiques et approches innovantes (Sousa *et al*., 2022). Leur objectif commun est d'isoler les composants les plus sensibles et volatils de la plante tout en conservant leur intégrité chimique et leurs propriétés biologiques (Mohamed Nadjib *et al*., 2019).

II.3.6.1.1. La distillation

La plus ancienne mention écrite de la distillation comme méthode d'extraction ou de séparation remonte à l'an 79 après J.-C. La distillation est définie comme un processus permettant d'extraire des huiles essentielles à partir de matières végétales, en plus des alcools (Uhl, 2024). La récolte d'une huile essentielle constitue donc une tâche à la fois complexe et délicate. En effet, son objectif est de capturer et de recueillir les composés les plus volatils, subtils et fragiles produits par le végétal, tout en préservant leur qualité (Boukhatem *et al*., 2019).

II.3.6.1.2. Extraction par hydrodistillation

La méthode traditionnelle d'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation est largement utilisée (Rassem *et al*., 2016). Elle consiste à immerger la matière végétale dans un bain d'eau, puis à porter l'ensemble à ébullition. Ce procédé repose sur l'évaporation des composés aromatiques sous l'effet de la chaleur, appliquée à un mélange de matières végétales et d'eau ou d'un solvant (Boukhatem *et al.*, 2019).

Les vapeurs générées sont ensuite dirigées vers un condenseur, où elles sont refroidies et liquéfiées. Un décanteur est ensuite utilisé pour séparer les huiles essentielles de l'eau (Rassem *et al*., 2016). Une fois collectées, les huiles sont traitées à l'aide de sulfate de sodium anhydre

(Na_2SO_4) pour éliminer les traces d'eau, puis conservées à 4 °C, à l'abri de la lumière et de l'air, dans un flacon en verre hermétiquement fermé et enveloppé de papier aluminium. Enfin, le rendement est déterminé en pesant la quantité d'huile essentielle obtenue (Dris, 2018).

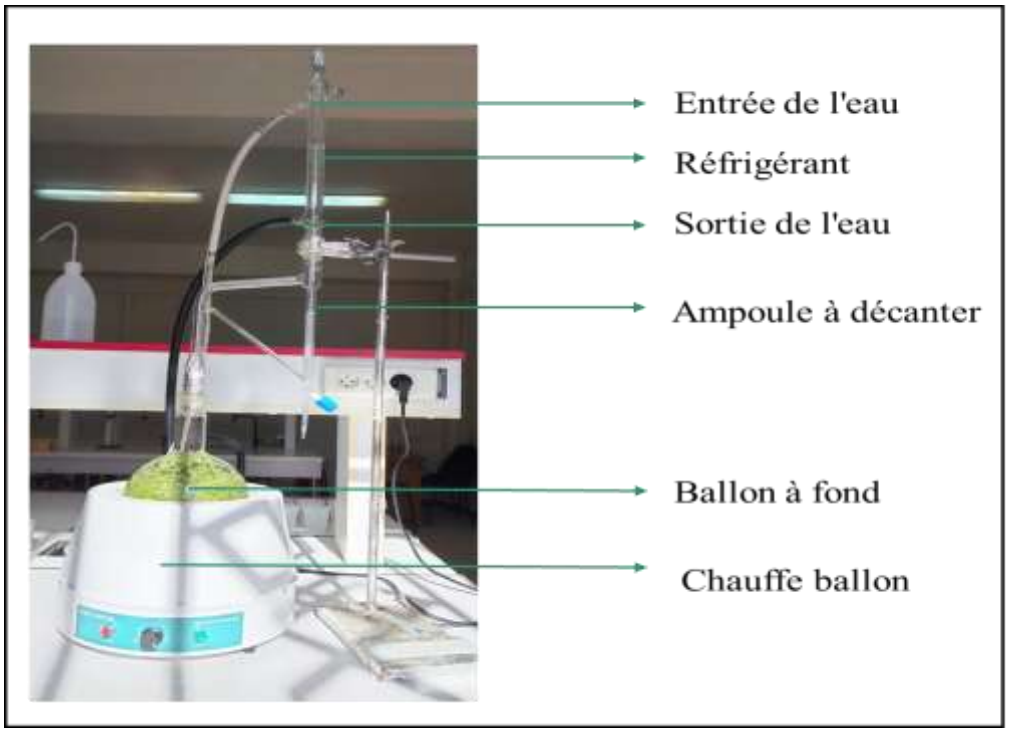


Figure 12. Montage de l'hydrodistillation de type Clevenger (Photo personnelle, 2025).

II.3.6.2. Procédure

Dans notre étude, nous avons exploité les feuilles de deux plantes aromatiques (*R. graveolens* et *R. montana*), récoltées dans la wilaya de Tébessa.

L'extraction des huiles essentielles (HEs) a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Pour ce faire, 150 g de feuilles sèches ont été prélevés et introduits dans un ballon, auxquels ont été ajoutés 1500 mL d'eau distillée. Le mélange est ensuite porté à ébullition, entraînant la libération de vapeurs chargées en composés volatils.

Ces vapeurs traversent un tube vertical avant d'être refroidies dans un condenseur, où s'opère la condensation des gouttelettes d'huile. L'essence obtenue s'accumule dans un tube collecteur préalablement rempli d'eau distillée, permettant la séparation des phases.

L'extraction se poursuit pendant trois heures à partir du début de l'ébullition, conduisant à la formation de deux phases distinctes :

- Une phase aqueuse, correspondant à l'hydrolat (ou eau aromatique),
- Une phase organique, constituée de l'huile essentielle pure.

L'huile essentielle est ensuite recueillie avec précaution, conservée dans des flacons en verre hermétiques et stockée à 4 °C, à l'abri de la lumière, afin de préserver ses propriétés physico-chimiques et aromatiques.



Figure 13. Les étapes de l'hydrodistillation (photos personnelles, 2025)

II.3.6.3. Rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle est le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids de la matière sèche de la plante, ce rendement est évalué sur la base de trois extractions (Dris, 2018), Il est exprimé en pourcentage et déterminé par la formule suivante :

$$R = P_B / P_A \times 100 \quad \text{où} \quad R = [\Sigma P_B / \Sigma P_A] \times 100$$

R : Rendement en huile en %

P_B : Poids de l'huile en g

P_A : Poids de la matière sèche de la plante en g

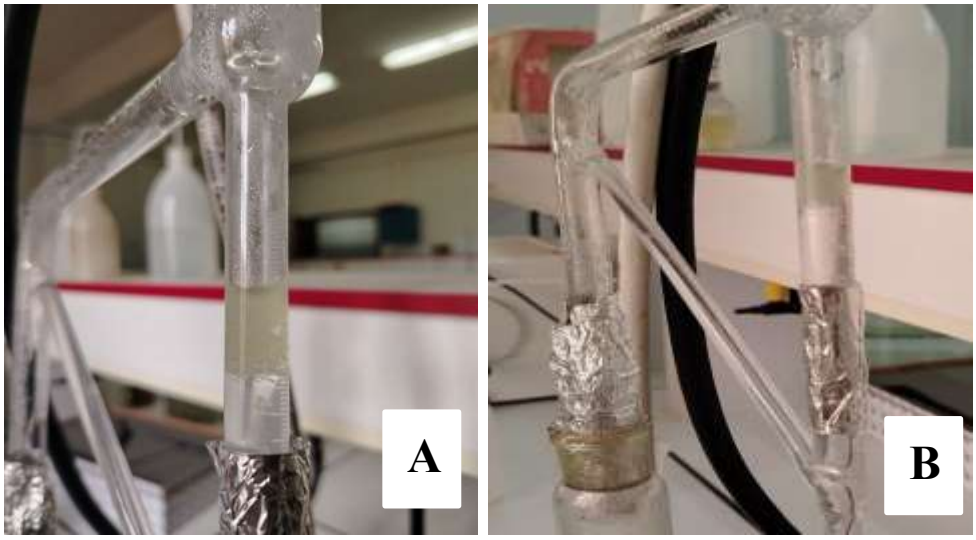


Figure 14. Le rendement final de l'HE de (A) *R. graveolens* (B) *R. Montana* (Photos personnelles, 2025)

II.4. Dosages des biomarqueurs

Des gobelets en plastique contenant 150 mL d'eau déchlorée ont été préparés, chacun recevant 20 larves de quatrième stade réparties en deux groupes : un groupe témoin non traité et un groupe exposé à une huile essentielle (HE) mélangée à parts égales de Ruta montana et Ruta graveolens, utilisée à la concentration létale CL_{50} déterminée précédemment par Grabsi & Brakni (2024). Le traitement consistait en l'application de 2,5 µL de ce mélange d'HE dissous dans 1 mL d'éthanol. Les activités des glutathion S-transférases (GST) et de la catalase (CAT), ainsi que la teneur en protéines totales, ont été mesurées à 24, 48 et 72 heures post-exposition pour évaluer les effets de cette HE combinée.

II.4.1. Dosage de la glutathion S-transférase

Les glutathion S-transférases (GST) sont des enzymes polyvalentes présentes chez de nombreux organismes et particulièrement actives dans divers organes, notamment le foie. Ces enzymes jouent un rôle essentiel dans plusieurs processus biologiques, incluant la détoxification des xénobiotiques, le transport des protéines et la dégradation des composés toxiques. Leur fonction principale consiste à catalyser la conjugaison du glutathion (GSH) avec des substances électrophiles toxiques, qu'elles soient d'origine endogène ou exogène. Cette réaction augmente l'hydrophilie des composés, facilitant ainsi leur excrétion et participant activement aux mécanismes de détoxification cellulaire (Zhou *et al*., 2021).

L'activité de glutathion S-transférase (GST) a été mesurée selon la méthode de Habig *et al*. (1974), basée sur la conjugaison du substrat CDNB (1-chloro-2,4-dinitrobenzène) avec le glutathion réduit (GSH), catalysée par le GST. La cinétique de la réaction a été suivie par

spectrophotométrie à 340 nm. Pour chaque série (témoins et traités), les échantillons ont été homogénéisés dans 1 mL de tampon phosphate (0,1 M, pH 6,0), puis centrifugés à 14 000 tr/min pendant 30 min à 4°C. Le surnageant obtenu a été utilisé comme source enzymatique pour le dosage.

L'activité GST a été mesurée en incubant 200 µL de surnageant avec 1,2 mL de mélange réactionnel contenant du CDNB (1 mM ; préparé avec 20,26 mg dans 1 mL d'éthanol) et du GSH (5 mM ; 153,65 mg) dans du tampon phosphate (0,1 M, pH 6,0 ; volume final 100 mL), Le protocole comprenait trois répétitions biologiques indépendantes de 20 individus chacune, incluant des témoins parallèles. La cinétique enzymatique a été enregistrée à 340 nm avec des lectures toutes les minutes pendant 5 minutes, utilisant comme blanc 200 µL d'eau distillée substituée au surnageant.

La formule suivante est utilisée pour déterminer l'activité spécifique :

$$x = \frac{\Delta Do/\text{mn}}{9.6} \times \frac{Vt}{Vs} mg\ de\ proténes$$

X : millimoles de substrat hydrolysé par minute et par mg de protéines (mM/min/mg de protéines).
Δ Do : pente de la droite de régression obtenue après hydrolyse du substrat en fonction du temps.
9,6 : coefficient d'extinction molaire du CDNB (mM^{-1} cm^{-1}).
Vt : volume total dans la cuve : 1,4 ml [0,2 ml surnageant + 1,2 ml du mélange CDNB/GSH].
Vs : volume du surnageant dans la cuve : 0,2 ml.
mg de protéines : quantité de protéines exprimée en mg.

L'échantillon est homogénéisé dans 1 ml de tampon phosphate (0,1 M. pH 6)
Avec le saccharose.

↓

Centrifugation à 14000 rpm pendant 30 min.

↓

Le surnageant est récupéré et utilisé comme source d'enzyme.



Pour le blanc :
1,2 ml de mélange
(CDNB 1 mM + GSH 5 mM)
+
200 µl d'H_2O distillée

Pour l'échantillon :
1,2 ml de mélange
(CDNB 1 mM + GSH5mM)
+
200 µl de surnageant

Lectures de l'absorbance du spectrophotomètre UV toutes les 1 min
Pendant 5 min à une longueur d'onde de 340 nm

Figure 15. Dosage de la glutathion S-transférase.

II.4.2. Dosage de catalase

L'activité de la catalase (CAT) est déterminée selon la méthode de Claiborne (1985), qui repose sur une analyse spectrophotométrique. Cette technique permet de mesurer la dégradation du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en oxygène (O_2) et en eau (H_2O) sous l'action de la catalase. L'absorbance est enregistrée à une longueur d'onde de 240 nm dans l'UV, selon la réaction suivante :

$$H_2O_2 \xrightarrow{\text{Catalase}} 2\,H_2O + O_2$$

Des larves de quatrième stade de *C. longiareolata* (témoins et traitées) ont été prélevées à différents temps d'exposition (24, 48 et 72 heures). L'expérience a été conduite avec trois répétitions biologiques indépendantes, chaque répétition comprenant 20 individus. Après prélèvement, les larves ont été homogénéisées dans 1 mL de tampon phosphate froid (100 mM, pH 7,4) puis centrifugées à 15 000 tr/min pendant 10 minutes à 4°C. Le surnageant, soigneusement récupéré après centrifugation, a servi de source enzymatique pour les dosages ultérieurs.

L'activité de la catalase est mesurée à 25°C dans une cuve en quartz à l'aide d'un spectrophotomètre. L'analyse est réalisée sur une fraction aliquote de 50µl du surnageant, préalablement dilué pour obtenir une concentration en protéines comprise entre 1 et 1,5mg/ml, soit une quantité de 0,05 à 0,75mg dans la cuve. À cette fraction, 750µl de tampon phosphate (100mM, pH 7,4) sont ajoutés. Après agitation, la mesure d'absorbance est effectuée toutes les 5 secondes pendant 30 secondes à une longueur d'onde de 240nm. Un blanc est utilisé comme référence, constitué de 800µl de tampon phosphate (100mM, pH 7,4) et 200µl de H_2O_2.

L'activité spécifique est calculée selon la formule suivante :

$$\mathbf{X} = \frac{\text{Domax} - \text{Domin}}{0{,}04} \text{ mg de protéines}$$

X : micromole de substrat réduit par minute et par mg de protéines (µM/mn/mg de protéines).
D0 max : densité optique maximum obtenue.
D0 min : densité optique minimum obtenue.
0,04 : coefficient d'extinction molaire du H_2O_2 (cm^{-1}. mM^{-1})**.**
mg de protéines : quantité de protéines exprimée en mg**.**



Figure16. Test de Catalase (photos personnelles, 2025)

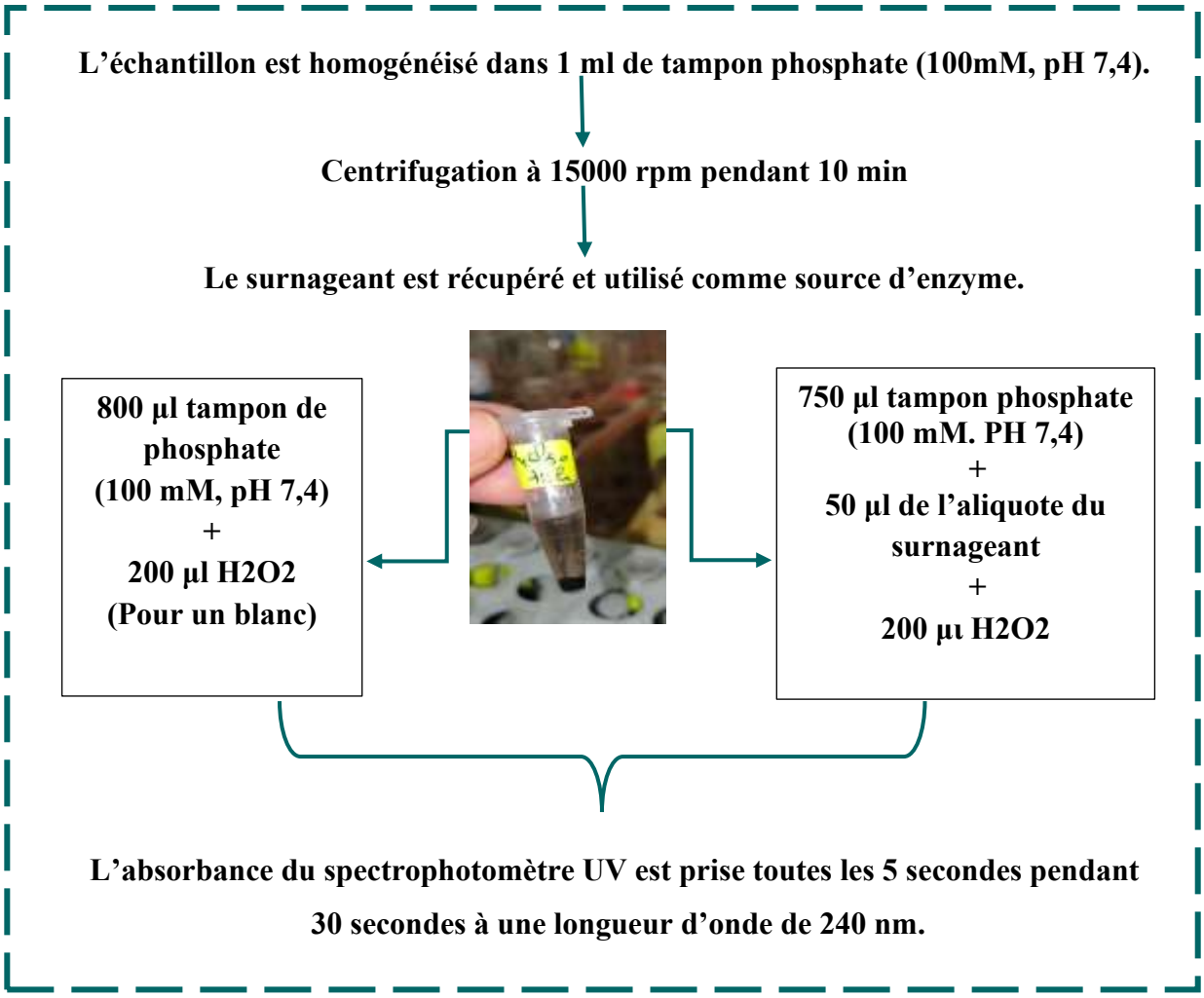


Figure 17. Analyse de la catalase

II.4.3. Dosage des protéines

Le dosage des protéines est effectué à l'aide d'une aliquote de 100µl, à laquelle on ajoute 4ml de réactif du bleu brillant de Coomassie (BBC) G-250 (Merck), selon la méthode de Bradford (1976). Le réactif BBC est préparé en dissolvant 100mg de BBC dans 50ml d'éthanol à 95%, puis en ajoutant 100ml d'acide orthophosphorique à 85% et en réglant finalement le volume à 1000ml avec de l'eau distillée. Le réactif reste stable à 4°C pendant 2 à 3 semaines. La présence de protéines est indiquée par l'apparition d'une coloration bleu.

L'absorbance est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595nm. La gamme d'étalonnage étant déterminée sur la base d'une solution d'albumine sérique bovine à une concentration de 1 mg/mL (tableau 06).

Tableau 06. Détermination des protéines totales chez les moustiques : Gamme d'étalonnage des protéines

Tube	1	2	3	4	5	6
Solution mère De BSA (µl)	0	20	40	60	80	100
Eau distillé (µl)	100	80	60	40	20	0
Réactif BBC (ml)	4	4	4	4	4	4



Figure18. Test de Protéines (photos personnelles, 2025)

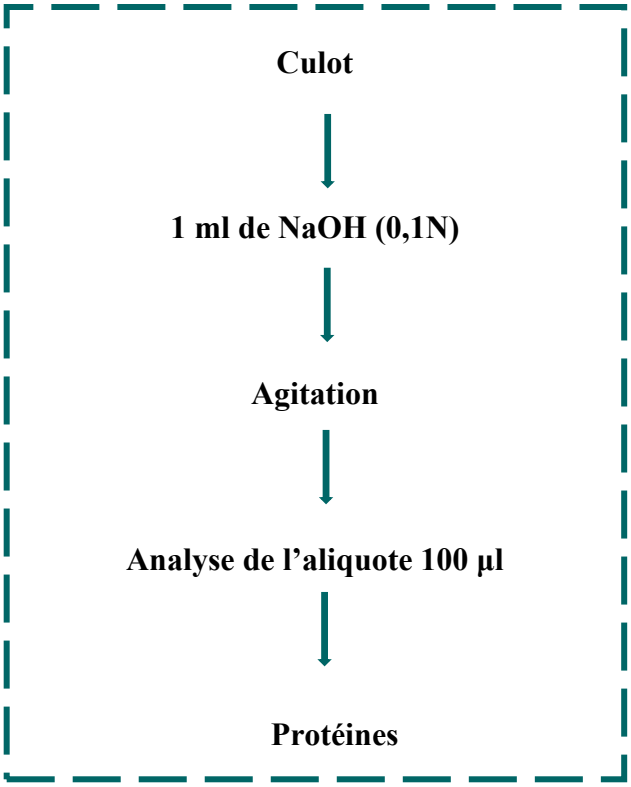
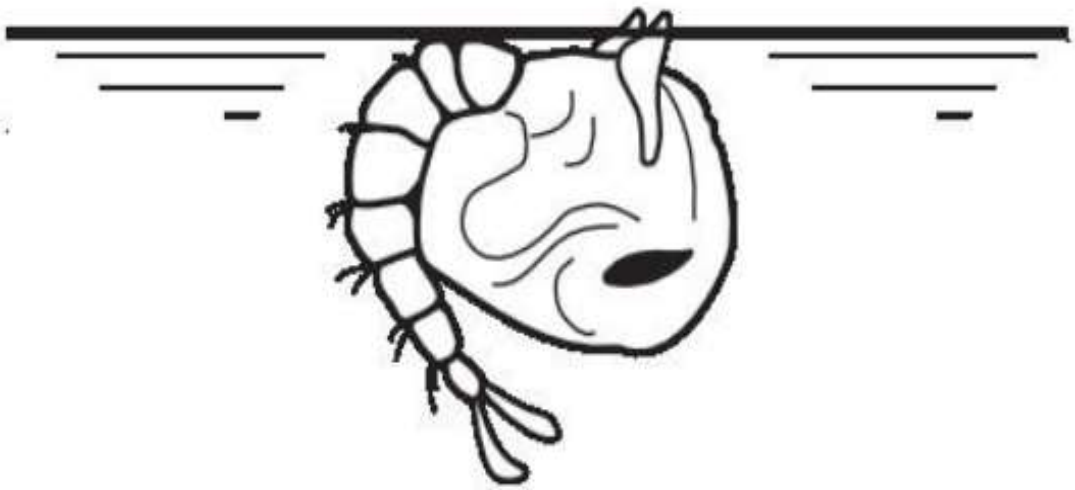


Figure 19. Extraction et dosage des protéines (Bradford, 1967)

II.4.4. Analyse statistique

Les données sont présentées sous forme de moyenne ± écart-type. Les comparaisons entre groupes ont été réalisées à l'aide de tests t de Student (logiciel GraphPad Prism 7, GraphPad Software, USA). La significativité statistique a été établie à *p* < 0,05.

Résultat



III. Résultats

III.1. Rendements des huiles essentielles

L'hydrodistillation des feuilles séchées de deux espèces de *Ruta*, *Ruta montana* et *Ruta graveolens*, a permis d'obtenir des rendements en huiles essentielles respectifs de **0,50 %** et **0,45 %**, calculés par rapport au poids sec total de la matière végétale.

III.2. Effet du mélange sur les biomarqueurs enzymatiques

La concentration CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) a été appliquée sur le stade larvaire L4 nouvellement exuvies de *C. longiareolata* avec des séries témoins. L'effet de cet extrait a été évalué à différentes périodes (24, 48 et 72 heures après traitement).

Il a été testé sur un biomarqueur de détoxification, les glutathion S-transférases (GSTs) et un biomarqueur de stress oxydatif, la catalase. Les résultats ont été exprimés par rapport à la quantité de protéines (mg) obtenue à partir d'une courbe de référence.

III.2.1. Effet du mélange sur l'activité spécifique des glutathion S-transférases

L'activité spécifique des GSTs (µM/min/mg de protéines) chez les larves L4 de *C. longiareolata* témoins et traitées (CL_{50}) est enregistrée à 24, 48 et 72 heures après traitement.

La comparaison des moyennes par le test de student montre une augmentation hautement significative (p=0,002), très hautement significative (p=0,000) et non significative (p=0,069) entre les séries témoins et les séries traitées de l'activité spécifique des GSTs à 24, 48 et 72H de traitement respectivement (Figure 20).

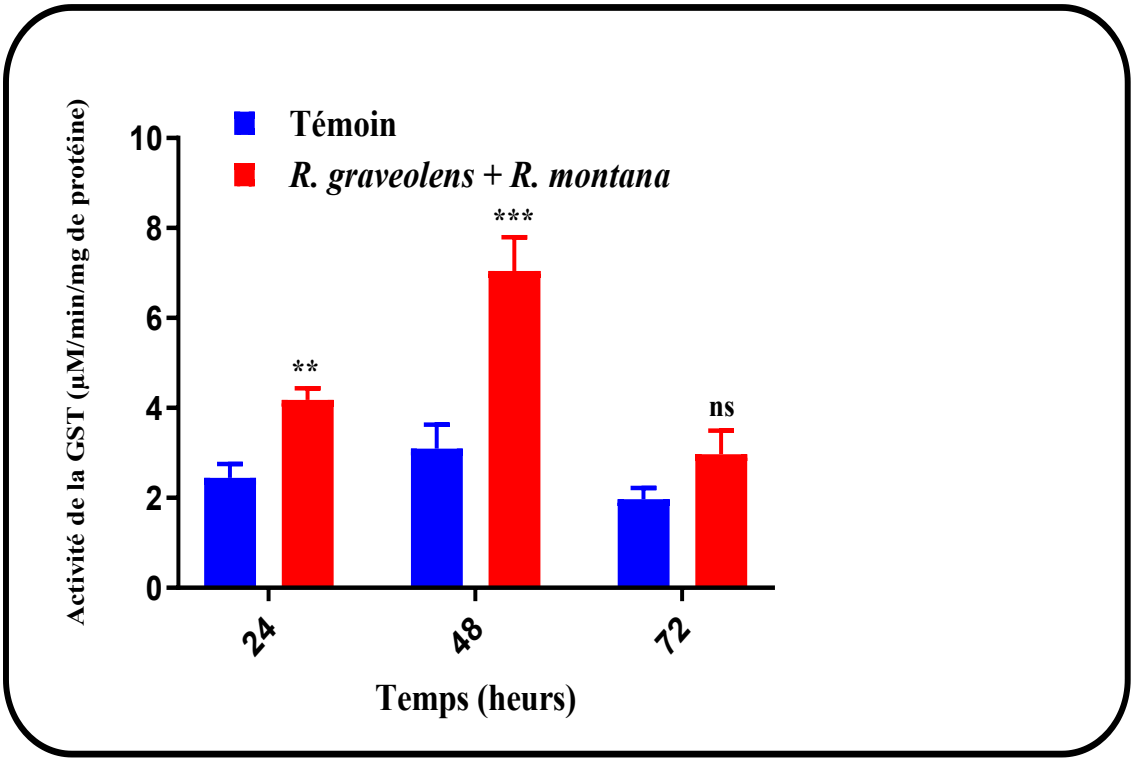


Figure 20. Effet de CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur l'activité spécifique des GSTs (µM/min/mg de protéines) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4).

III.2.2. Effet du mélange sur l'activité spécifique de la catalase

L'activité spécifique de la catalase a été estimée chez les séries témoins et traitées. Les résultats obtenus marquent une augmentation très hautement significative (p=0,000) de l'activité de catalase après 24h, 48h et 72h (p=0,000) après comparativement aux séries témoins par le test de student.

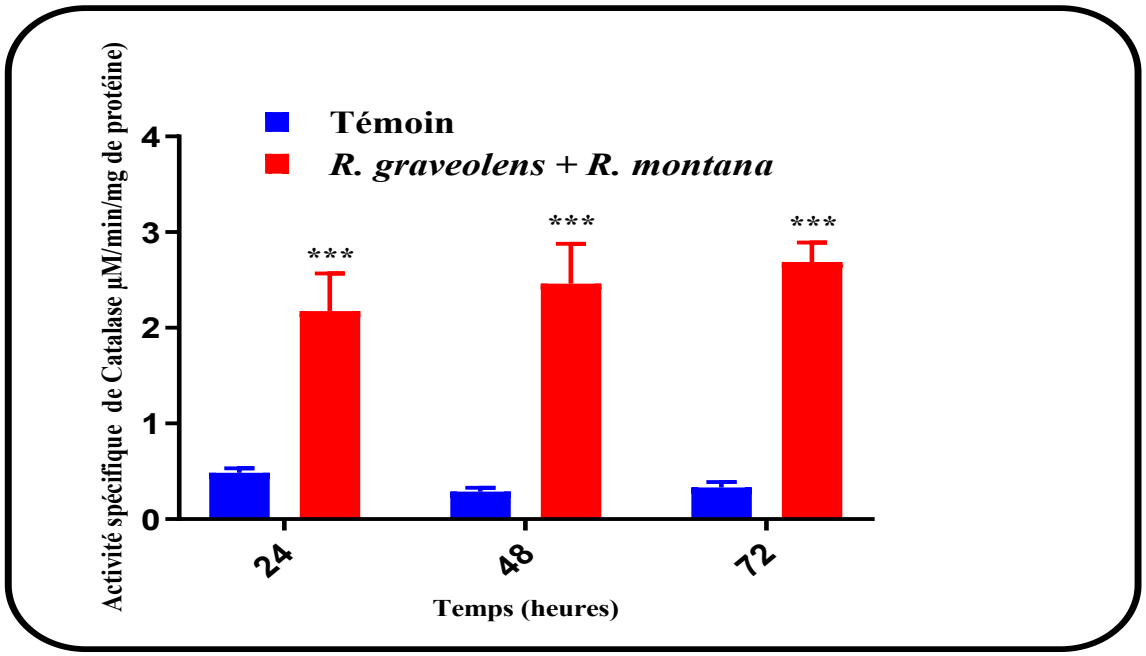


Figure 21. Effet de CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur l'activité spécifique de la catalase (µM/min/mg de protéines) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4).

III.3. Effet du mélange sur la croissance pondérale de *Culiseta longiareolata*

L'effet du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) (CL_{50}) a été testé sur les larves du quatrième stade nouvellement exuviées de *Culiseta longiareolata*.

Les résultats de l'évolution du poids corporel des individus au cours du quatrième stade larvaire étudié sont mentionnés dans la figure (22).

La comparaison des moyennes entre les séries témoins et traitées montre que cet extrait diminue le poids corporel des larves L4 d'une manière significative à 24 h (p= 0,044) et hautement significative à 48 h et 72 h (p= 0,002 ; p=0,007) respectivement.

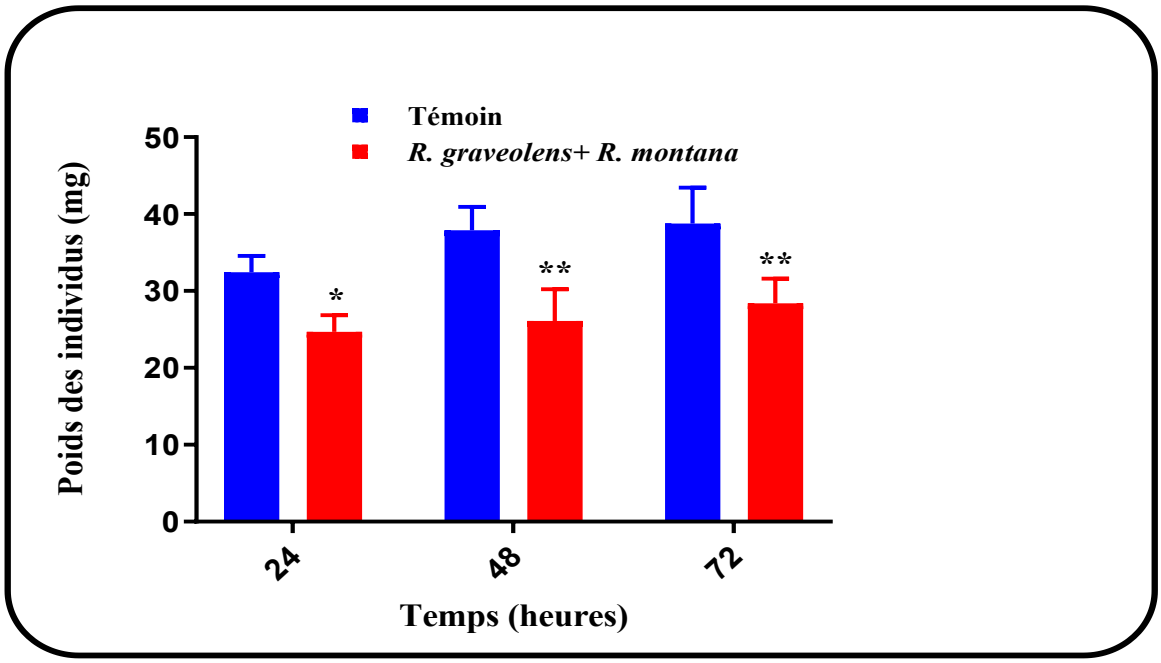


Figure 22. Effet CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur le poids (mg) des larves du 4éme stades chez *Culiseta longiareolata* (m ± SD, n = 4)

III.4. Impact du mélange sur le contenu en protéines totales

Le contenu en protéines totales a été déterminé chez les larves 4 témoins et traités de *C. longiareolata* à différentes périodes (24, 48 et 72 heures après traitement).

La comparaison des valeurs moyennes par le test de student montre que la CL_{50} du mélange *R. graveolens* et *R. montana* induise une diminution très hautement significative du contenu en protéines totales des larves 4 (p=0,000) à 24, 48 et 72 heures comparativement au témoin (Figure 23).

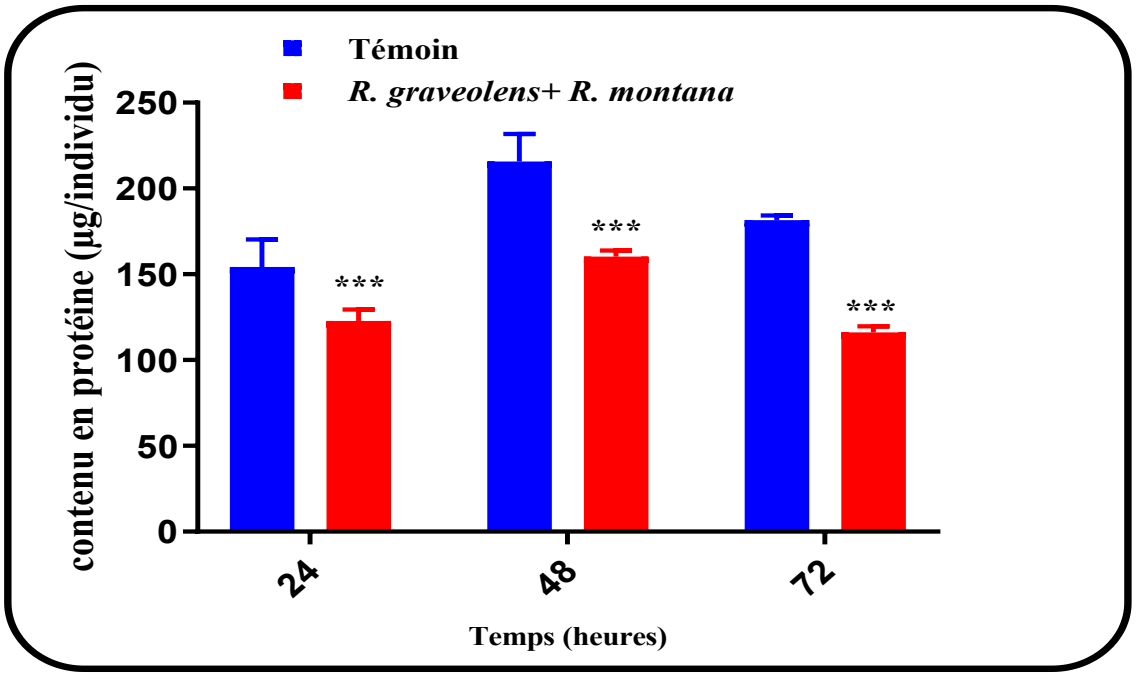
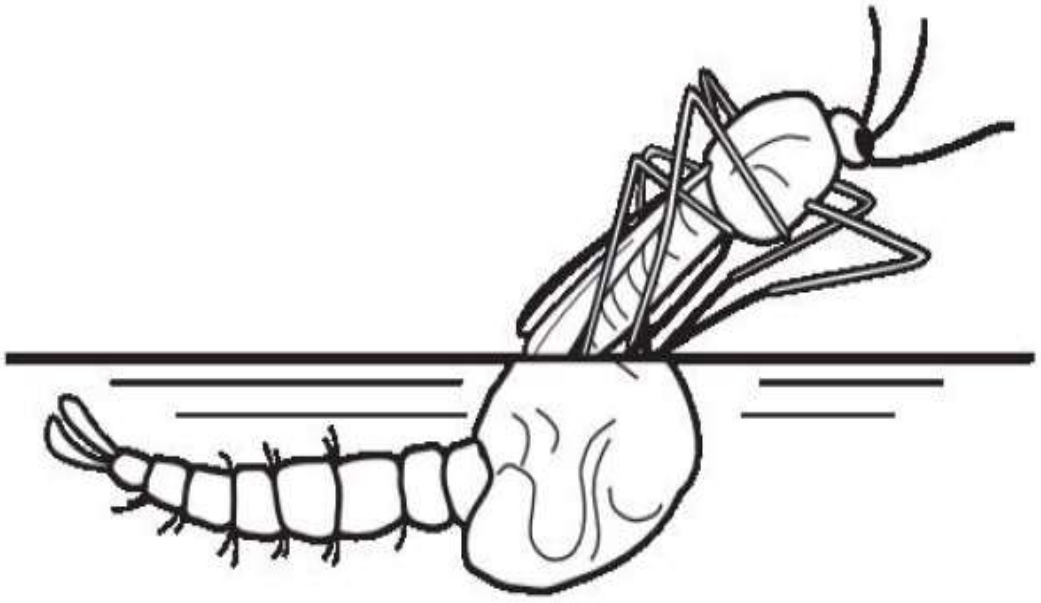


Figure 23. Effet de CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) sur le contenu en protéine (µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4)

Discussion



IV. Discussion

IV.1. Rendements des huiles essentielles

L'hydrodistillation des feuilles séchées de deux espèces de Ruta, *Ruta montana* et *Ruta graveolens*, a permis d'obtenir des rendements en huiles essentielles respectifs de 0,50 % et 0,45 %, exprimés par rapport au poids sec de la matière végétale totale.

Concernant *Ruta montana*, les rendements obtenus dans cette étude apparaissent globalement inférieurs à ceux rapportés dans la littérature utilisant des méthodes similaires. Ils restent toutefois proches de ceux observés par Mohammadi et al. (2020) et Barbosa et al. (2012), qui ont également rapporté des valeurs modestes. À l'inverse, plusieurs études ont mentionné des rendements nettement plus élevés, comme ceux présentés par Bendjazia et al. (2025), Bouabida et Dris (2020), Kambouche et al. (2008), José Fábio et Adenilde (2021) et Mannes et Khediri (2018), illustrant ainsi une forte variabilité en fonction des conditions expérimentales et des origines botaniques.

Pour *Ruta graveolens*, le rendement obtenu dans cette étude est comparable à ceux rapportés par Attia et al. (2018), Soleimani et al. (2009) et Semerdjieva et al. (2019). Il reste toutefois inférieur aux valeurs obtenues dans d'autres travaux, notamment ceux de Bendjazia et al. (2025) et de França Orlanda et Nascimento (2015), qui ont rapporté des rendements plus élevés.

La variabilité des rendements peut s'expliquer par divers facteurs géoclimatiques et techniques, notamment la composition du sol, le climat, la période de récolte, les conditions de séchage, la méthode d'extraction et la partie de la plante utilisée (Ndomo et al., 2009 ; Fadil et al., 2015). Des pertes peuvent aussi survenir lors de la distillation, l'hydrolysat contenant encore des gouttelettes d'huile non récupérées. La température, la durée de distillation et le séchage influencent également le rendement final (Ghasemian, 2019).

IV.2. Effet du mélange sur l'activité spécifique des glutathion S-transférases (GST)

Les glutathion S-transférases (GST) constituent une famille d'enzymes aux fonctions diversifiées, jouant un rôle clé dans la protection cellulaire et les mécanismes de défense (Bendjazia *et al*., 2025). Leur activité principale réside dans la détoxification, où elles catalysent la conjugaison du glutathion réduit avec des composés toxiques, favorisant ainsi leur élimination. Ces enzymes sont également impliquées dans la défense des insectes contre les stress environnementaux, notamment les pesticides (Vivekanandhan *et al*., 2024), mais aussi dans la synthèse d'hormones et la résistance au stress oxydatif (Bendjazia *et al*., 2025).

Le glutathion, quant à lui, est essentiel à la conversion des composés lipophiles en molécules hydrosolubles, facilitant leur excrétion (Meyer, 2018). Par ailleurs, des études ont révélé le rôle des GST dans la pigmentation des plantes, influençant la couleur des fleurs, des feuilles et des tiges (Cao, 2021).

Dans notre étude, Les résultats obtenus montrent une augmentation significative de l'activité spécifique des GST chez les larves de *C. longiareolata* traitées avec un mélange d'huiles essentielles de *Ruta montana* et *Ruta graveolens* à différentes périodes, par rapport aux témoins.

Ces résultats concordent avec ceux de Bendjazia *et al*. (2025), qui ont observé une induction de l'activité des GST chez des larves de quatrième stade de *C. longiareolata* exposées à des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens*. De même, Dris et Bouabida (2023) ont rapporté une activation des GST chez *C. longiareolata* et *C. pipiens* après traitement à l'huile de *Mentha piperita*, corroborant les travaux antérieurs de Bouabida et Dris (2020) sur l'effet létal d'extraits végétaux. Guenez (2019) a également noté une stimulation de l'activité GST chez *C. pipiens*, *Ae. caspius* et *C. longiareolata* avec des huiles de menthe et de laurier, tandis que Dris *et al*. (2017) ont observé des effets similaires avec *Ocimum basilicum*.

L'élévation de l'activité GST reflète l'activation des voies de détoxification en réponse aux huiles essentielles (Yezli *et al*., 2024). Ce phénomène pourrait résulter de modifications des gènes régulateurs ou d'une amplification des gènes codant ces enzymes (Dris, 2019).

IV.3. Effet du mélange sur l'activité spécifique de la catalase

La catalase (CAT) est une enzyme ubiquitaire, présente chez les procaryotes et les eucaryotes (Singh *et al*., 2022). Principalement localisée dans les peroxysomes, elle joue un rôle crucial dans la neutralisation du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en le convertissant en eau et en oxygène, protégeant ainsi les cellules contre le stress oxydatif induit par les espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Brahmi *et al*., 2021). Chez les plantes, une altération de son activité peut perturber la croissance et le développement (Singh *et al*., 2022).

Dans notre étude, l'activité spécifique de la catalase a été évaluée chez les larves de *Culiseta longiareolata* exposées à la CL_{50} d'un mélange d'huiles essentielles de *Ruta graveolens* et *Ruta montana*. L'analyse des résultats obtenus révèle une augmentation de l'activité enzymatique chez les séries traitées, comparativement au groupe témoin. Cette induction de la CAT est un mécanisme bien documenté dans la résistance des moustiques aux insecticides (Ward & Fallon, 2024).

Nos résultats concordent avec ceux de Bendjazia *et al*. (2025), qui ont observé une stimulation significative de la catalase chez des larves (L4) de *C. longiareolata* traitées avec des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens*. De même, Brahmi *et al*. (2021) ont rapporté une augmentation de l'activité CAT chez des pupes de la même espèce exposées à l'huile essentielle de *Lavandula dentata*. Ces observations sont corroborées par les travaux de Chintalchere *et al*. (2020), qui ont démontré une activation de la catalase chez *Musca domestica* après traitement avec des huiles de *Laurus nobilis*, *Cymbopogon citratus* et *Melaleuca alternifolia*. Par ailleurs, Thapa *et al*. (2019) ont noté une élévation similaire chez *Callosobruchus chinensis* et *Callosobruchus maculatus* sous l'effet de l'huile de *Boswellia carteri*, tandis que Dris (2018) a confirmé ce phénomène avec des extraits de *L. dentata, Mentha piperita* et *Ocimum basilicum*.

L'augmentation de l'activité catalase reflète une réponse cellulaire adaptative aux niveaux élevés de ROS générés par les huiles essentielles, soulignant son rôle protecteur contre le stress oxydatif chez les larves d'insectes (Chintalchere *et al*., 2020).

IV.4. Effet du mélange sur la croissance pondérale de *Culiseta longiareolata*

Notre analyse révèle une réduction significative du poids corporel des larves de *Culiseta longiareolata* traitées avec la CL_{50} du mélange d'huiles essentielles de *Ruta graveolens* et *Ruta montana*.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Dris (2018), qui a observé que les huiles essentielles d'*Ocimum basilicum*, *Lavandula dentata* et *Mentha piperita* provoquaient une diminution des paramètres biométriques, notamment du poids des larves de *C. longiareolata*, par rapport aux témoins. De nombreuses autres études confirment également cette tendance en mettant en évidence l'effet réducteur de différentes huiles essentielles sur le poids larvaire. Ainsi, Dris *et al*. (2017) ont montré que l'huile essentielle *d'Ocimum basilicum* entraînait une diminution significative du poids des larves de *Culex pipiens*. De leur côté, Bouzidi *et al*. (2020) ont rapporté une réduction marquée du poids des larves de *C. longiareolata* après traitement à l'huile essentielle de *Laurus nobilis*. Des résultats similaires ont été obtenus par Seghier *et al*. (2020) avec l'huile de *Petroselinum crispum*, qui a entraîné une baisse notable du poids larvaire chez *C. pipiens* et *C. longiareolata*. Par ailleurs, Bouabida *et al*. (2022) ont mis en évidence que la CL50 de l'huile essentielle de *R. graveolens* induisait une perte de poids significative chez plusieurs espèces de diptères, y compris *C. longiareolata*. De façon concordante, Yahia *et al*. (2023) ont observé une diminution du poids larvaire en fonction de la dose (CL25 et CL50) chez des larves traitées avec l'huile essentielle *d'Eucalyptus*

globulus. Guenez *et al*. (2020) ont démontré que les huiles essentielles de *Laurus nobilis* et *Mentha pulegium* avaient un effet réducteur sur le poids et le volume corporels des larves de *C. longiareolata*, *C. pipiens* et *Aedes caspius*.

Une hypothèse plausible pour expliquer la réduction du poids et de la taille des larves est l'altération de l'absorption des nutriments, due à l'effet des huiles essentielles sur l'épithélium digestif (Procópio *et al*., 2015). De plus, plusieurs études montrent que ces substances peuvent inhiber l'activité des enzymes digestives, essentielles à la dégradation des aliments et à la croissance larvaire (Sahayaraj *et al*., 2014).

IV.5. Impact du mélange sur le contenu en protéines totales

Les protéines, macromolécules tridimensionnelles constituées d'acides aminés, jouent un rôle fondamental dans les processus biologiques (Bouchagra, 2018). Essentielles au fonctionnement cellulaire, elles interviennent dans des fonctions aussi diverses que la catalyse enzymatique, la signalisation cellulaire et le maintien des structures tissulaires (Defresne, 2023). Avec les glucides et les lipides, elles forment les principaux composants structuraux et fonctionnels des cellules (Sugumaran *et al*., 2010). Des études récentes ont démontré que les huiles essentielles d'origine végétale peuvent perturber l'homéostasie métabolique en modifiant significativement les concentrations de ces biomolécules clés, notamment les protéines (Bouguerra, 2019).

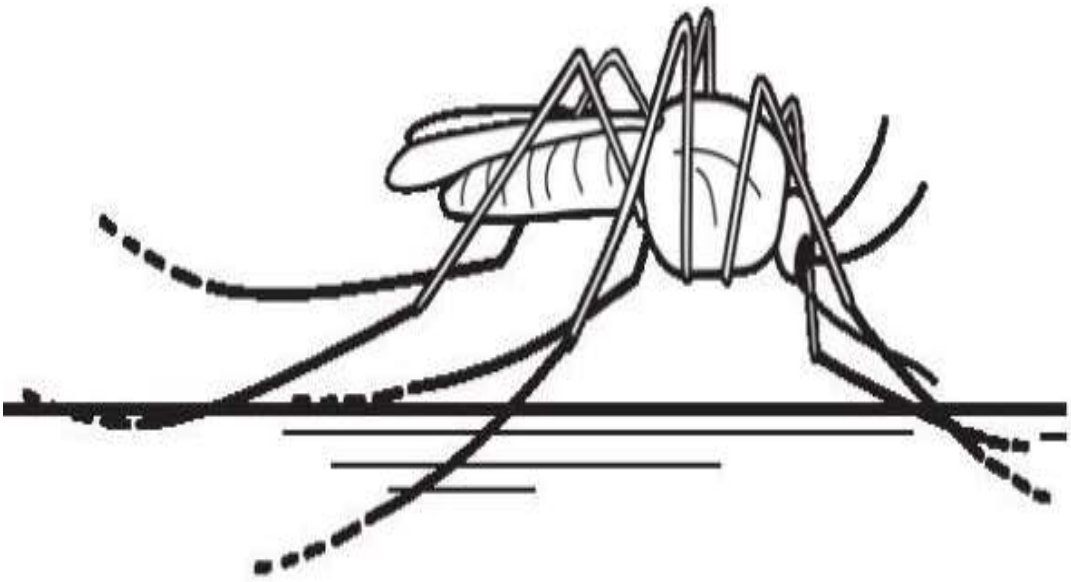
Dans cette étude, nous avons quantifié les protéines totales chez des larves de *C. longiareolata* exposées à la CL_{50} d'un mélange d'huiles essentielles de *R. graveolens* et *R. montana*, avec des mesures effectuées aux temps d'exposition de 24, 48 et 72 heures. L'analyse comparative révèle une réduction hautement significative des concentrations protéiques chez les larves traitées à tous les temps d'observation comparativement au groupe témoin.

Nos résultats concordent avec les données récentes de la littérature scientifique concernant l'effet perturbateur des huiles essentielles sur le métabolisme protéique des insectes. Dris et Bouabida (2023) ont démontré une diminution significative des teneurs en protéines chez *Culiseta longiareolata* et *Culex pipiens* exposés à l'huile essentielle de *Mentha piperita*. Cette diminution a également été observée chez des larves de troisième stade de ces deux espèces ainsi que chez *Drosophila melanogaster* (Bouabida et Dris, 2022). De manière similaire, Bouguerra et Boukoucha (2021) ont rapporté une réduction marquée des concentrations protéiques chez *Culex pipiens* après traitement à l'huile essentielle *d'Origanum glandulosum*. Une revue approfondie de la littérature montre par ailleurs que cet effet n'est pas limité aux espèces mentionnées, mais s'observe également chez divers moustiques exposés à

différentes huiles essentielles (lavande, basilic, thym, origan, menthe verte, laurier), comme l'ont rapporté Dris (2019), Bouguerra (2019), Guenez (2020) et Bouzidi (2020).

La diminution des protéines suggère une réorientation métabolique vers la production d'énergie, au détriment de la synthèse protéique, en réponse au stress induit par les huiles essentielles (Bendjazia *et al*., 2025).

Conclusion



Conclusion et perspectives

Les effets nocifs des pesticides chimiques sur la santé humaine et sur l'environnement, ainsi que le développement croissant de la résistance des moustiques à ces produits, soulignent l'urgence de recourir à des alternatives naturelles. Parmi celles-ci, l'utilisation de répulsifs d'origine végétale, riches en composés bioactifs variés, représente une stratégie prometteuse. En effet, cette diversité chimique rend difficile l'apparition d'une résistance croisée chez les moustiques, offrant ainsi une solution plus durable et efficace pour leur contrôle.

Dans ce contexte, notre étude a évalué l'impact du mélange des huiles essentielles de *Ruta montana* (rendement de 0,50 %) et de *Ruta graveolens* (rendement de 0,45 %) sur le système de détoxification des larves au quatrième stade (L4) de *Culiseta longiareolata*, espèce prédominante dans la région de Tébessa. Les analyses ont porté sur l'activité enzymatique de la glutathion S-transférase (GST) et de la catalase, ainsi que sur la teneur totale en protéines.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une augmentation de l'activité de la GST et une élévation très significative de celle de la catalase chez les larves traitées. Par ailleurs, ces dernières ont présenté une diminution significative de leur poids corporel et une réduction marquée de leur teneur totale en protéines, comparativement aux larves témoins non traitées.

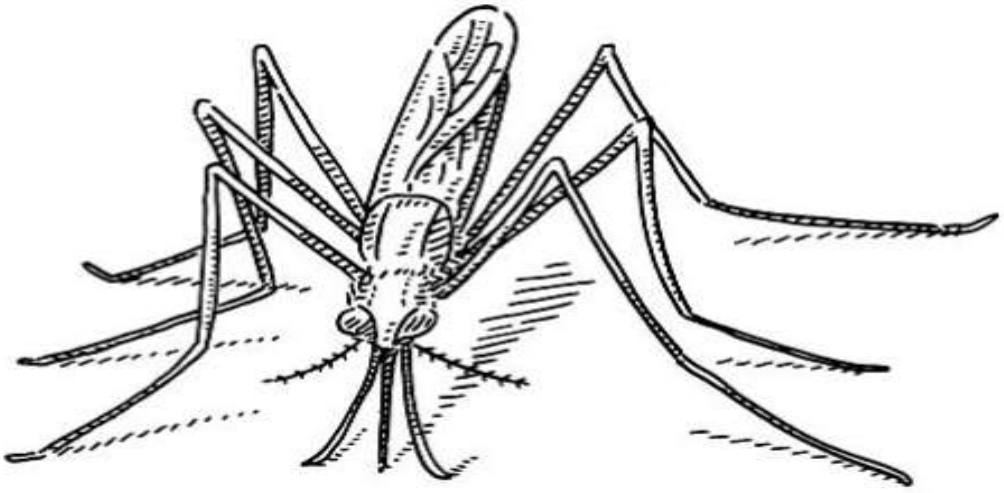
Ces observations confirment le potentiel prometteur des huiles essentielles de *Ruta montana* et de *Ruta graveolens* comme agents naturels dans la lutte contre les moustiques, en particulier *Culiseta longiareolata*. Elles pourraient constituer une alternative efficace et écologique aux insecticides chimiques, contribuant ainsi à un meilleur équilibre entre santé publique et protection de l'environnement.

Afin de compléter les résultats de cette étude, plusieurs axes de recherche peuvent être envisagés. Il serait pertinent d'approfondir l'étude des mécanismes d'action des huiles essentielles en analysant l'effet sur d'autres enzymes clés impliquées dans la détoxification et la neurotransmission, notamment l'acétylcholinestérase (AChE), la superoxyde dismutase (SOD), ou encore la peroxydase (POD). Ces analyses permettraient de mieux comprendre les perturbations métaboliques induites chez les larves.

Par ailleurs, l'extension des tests à d'autres espèces de moustiques vecteurs, telles que *Culex pipiens*, *Aedes aegypti* ou *Anopheles gambiae*, offrirait une meilleure évaluation du spectre d'efficacité des huiles de *Ruta*. Ces études comparatives contribueraient à adapter les stratégies de lutte en fonction des contextes épidémiologiques locaux.

Il serait également essentiel de réaliser une analyse chimique détaillée des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM), afin d'identifier et quantifier les composés bioactifs responsables de l'activité observée. Ces données permettraient de cibler les molécules les plus prometteuses pour une utilisation en lutte antivectorielle.

Références bibliographiques



Références bibliographiques

A

Abo El Ela, A. A., Mostafa, A., Ahmed, E. A., Khalil, A., Ghonaim, M., Ahmed, A. M. (2024). Mosquito abundance and physicochemical characteristics of their breeding water in El-Fayoum Governorate, Egypt. Journal of King Saud University - Science, 36(2), 103040. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.103040

Aissaoui, Y., Moukher, N. (2020). Activité biologique et screening phytochimique de deux plante médicinale *Artemisia absinthium* et *Ruta montana* activité biologique sur *Culiseta longiareolata*. Mémoire de master, université Tébessa. 60P.

Allouni, R., (2018). Phytochimiques et pharmaco- toxicologiques de la plante *Ruta montana*. Thèse Doctorat en Sciences Etude des aspects morphologiques.

Al-Majmaie, S., Nahar, L., Rahman, M. M., Nath, S., Saha, P., Talukdar, A. D., Sharples, G. P., Sarker, S. D. (2021). Anti-MRSA Constituents from *Ruta chalepensis* (Rutaceae*)* Grown in Iraq, and In Silico Studies on Two of Most Active Compounds, *Chalepensin* and 6-Hydroxy-rutin 3′,7-Dimethyl ether. Molecules, 26(4), 1114. https://doi.org/10.3390/molecules26041114

Al-muffti, A.S., Abdulaziz, M.B., Khalid, V.A., Omer, O.A., (2021). Investigating the antibacterial activity of ethanol extract of the medicinal plant *Ruta graveolens*. The Journal of University of Duhok, 24(1), 130-135. https://doi.org/10.26682/sjuod.2021.24.1.14

Annunziata, F., Pinna, C., Dallavalle, S., Tamborini, L., Pinto, A. (2020). An Overview of *Coumarin* as a Versatile and Readily Accessible Scaffold with Broad-Ranging Biological Activities. International Journal of Molecular Sciences, 21(13), 4618. https://doi.org/10.3390/ijms21134618

Appelhans, M. S., Bayly, M. J., Heslewood, M. M., Groppo, M., Verboom, G. A., Forster, P. I., Duretto, M. F. (2021). A new subfamily classification of the Citrus family (Rutaceae*)* based on six nuclear and plastid markers. Taxon, 70(5), 1035-1061

Asloum, A, Y, (2023). Contribution Contribution à l'étude des moustiques (Diptera *; Culicidae)* dans les steppes algériennes. Inventaire et lutte biologique. Doctoral dissertation.Biologie et Ecologie Animal.Université de Badji Mokhtar,Annaba.

B

Badhusha, S., Kumar, R., Ajay, A., Baby, B., Abhishek, K., Gowda, S. K., Ramesh, B. (2020). Traditional uses, phytochemistry and ethanopharmacology of *Ruta graveolens* Linn: A review. International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis, 1-4.

Baptista-Silva, S., Borges, S., Ramos, O. L., Pintado, M., & Sarmento, B. (2020). The progress of essential oils as potential therapeutic agents: a review. In Journal of Essential Oil Research (Vol. 32, Issue 4, pp. 279-295). Taylor and Francis Inc. https://doi.org/10.1080/10412905.2020.1746698

Barbosa, P., Faria, J. M. S., Mendes, M. D., Dias, L. S., Tinoco, M. T., Barroso, J. G., Pedro, L. G., Figueiredo, A. C., & Mota, M. (2012). Bioassays Against *Pinewood Nematode*: Assessment of a Suitable Dilution Agent and Screening for Bioactive Essential Oils. Molecules, 17(10), 12312-12329. https://doi.org/10.3390/molecules171012312

Baskar, K., Sudha, V., Nattudurai, V.G., Ignacimuthu, S., Duraipandiyan, V., Jayakumar, M., Al-Dhabi Naif, A., Benelli, G., 2018. Larvicidal and repellent activity of the essential oil from *Atalantia monophylla* on three mosquito vectors of public health importance, with limited impact on non-target zebra fish. Physiological and Molecular Plant Pathology,101, 197-201.

Bejaoui, Y., Abderrabba, M., Ayadi, S., 2019. Biological study from *Ruta* plant extracts growing in Tunisia. Iranian J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE) 38 (2), 85-89. https://www.ijcce.ac.ir/journal/article.

Belkhiri, N. (2022). Etude des Culicidae des aurès: inventaire et lutte, thèse du Doctorat, Université de Batna 1-Hadj Lakhder.

Belkhiri, N., Habbachi, W., Benhissen, S., Frah, N., Asloum, A. Y. (2021). Inventory and Distribution of Mosquitoes (Diptera, Culicidae) in the Aures Region (Batna, Algeria). Journal of Bioresource Management, 8(4), 55-66. https://doi.org/10.35691/JBM.1202.0202

Benali, T., Habbadi, K., Khabbach, A., Marmouzi, I., Zengin, G., Bouyahya, A., Chamkhi, I., Chtibi, H., Aanniz, T., Achbani, E. H., Hammani, K. (2020). GC–MS Analysis, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Achillea Odorata* S*ubsp*. *Pectinata* and *Ruta Montana* Essential Oils and Their Potential Use as Food Preservatives. Foods, 9(5), 668. https://doi.org/10.3390/foods9050668

Bendjazia, R., Dris, D., Seghier, H., Essid, R., Jallouli, S., Tabbene, O., Bouabida, H. (2025). Analysis of the chemical properties and larvicidal activity of essential oils from *Ruta graveolens* and *Ruta montana* against *Culiseta longiareolata:* Toxicity, enzymatic and biochemical alterations. South African Journal of Botany, 180, 512-519. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.03.029

Benkhaira, N., Ibnsouda Koraichi, S., & Fikri-Benbrahim,K. (2022). *Ruta montana* (L.) L.: An insight into its medicinal value, phytochemistry, biological properties, and toxicity. Journal of Herbmed Pharmacology, 11(3), 305-319. https://doi.org/10.34172/jhp.2022.36

Benkhedim, K., Tine-Djebbar, F., Hamaidia, K., Barour, C., Soltani, N. (2023). Distribution and Abundance of Mosquitoes in Tébessa Province, Algeria: Correlation with Climatic Factors and Physicochemical Properties of Water. Journal of Agricultural and Urban Entomology, 39(1). https://doi.org/10.3954/1523-5475-39.1.73

Benserradj, O.(2015). Evaluation de *Metarhizium anisopliae* à titre d'agent de Lutte biologique contre les larves de moustiques. Thèse du doctorat. Biotechnologies, Biologie et Environnement, Université Constantine 1, Constantine.

Berchi,S.(2000). Bioécologie de *Culex pipiens* L. (*Diptera: Culicidae*) dans la région de Constantine et perspectives de lutte. Doctorat dissertation. Entomologie. Université Mentouri, Constantine.

Bolouri, P., Salami, R., Kouhi, S., Kordi, M., Asgari Lajayer, B., Hadian, J., Astatkie, T. (2022). Applications of Essential Oils and Plant Extracts in Different Industries. Molecules, 27(24), 8999.
https://doi.org/10.3390/molecules27248999

Bonnier, G. (1999). La Grande Flore en Couleur, Ed : BELIN, Tome 3, 205-206.

Bouabida, H., Dris, D. (2020). Effect of rue (*Ruta graveolens*) essential oil on mortality, development, biochemical and biomarkers of *Culiseta longiareolata*. South African Journal of Botany, 133, 139-143.
https://doi.org/10.1016/saib.2020.07.005

Bouabida, H., Dris, D. (2020). Effect of rue (*Ruta graveolens*) essential oil on mortality, development, biochemical and biomarkers of *Culiseta longiareolata*. S. A. Journal of Botany 139-143.

Bouabida, H., Dris, D. (2022). Biological toxicity of *Ruta graveolens* essential oil against three species of diptera Drosophila melanogaster, Culex pipiens and *Culiseta longiareolata*. Journal of Vector Borne Diseases, 59(4), 320-326.
https://doi.org/10.4103/0972-9062.353272

Bouaoud, L. (2024). Etude bioécologique et systématique des Culicidae vecteurs
Dans la région de Sétif et essais de lutte.thése de doctorat. Parasitologie.Université Ferhat Abbas 1, Sétif.

Bouchagra, S.(2018). Modélisation des interactions protéine-petites molécules : étude de la relation structure –Fonction dans le cas des lipases. Thèse du doctorat. Chimie Organique et Bio organique. Université Badji Mokhtar, Annaba.

Bouguerra, N. (2019). Efficacité comparée des extraits de deux plantes. *Thymus vulgaris* et *Origanum vulgare* à l'égard d'une espèce de moustique, *Culex pipiens*: Composition chimique, Toxicité, Biochimie et Biomarqueurs. Thèse de doctorat, Université de Tébessa. 158.

Boumaza, M., Merabti, B., Adjami, Y., Ouakid, M.L., Carvajal, T.M. (2022). Geometric Morphometric Wing Analysis if Avian Malaria Vector, *Culiseta longiareolata*, from Two Locations in Algeria. Insects, journal on entomology, 13,1031. https://doi.org/10.3390/insects 13111031

Bouzidi, O. (2021). Efficacité comparée d'une plante médicinale, *Laurus nobilis* à l'égard de deux espèces de moustiques, *Culiseta longiareolata* et *Culex pipiens*.these de doctorat.biologie Animale.UniversitÈ Larbi Tèbessi, Tèbessa.

Bouzidi, O., Tine, S., Hamaidia, K., Tine-Djebbar, F. Soltani, N. (2020). Chemical Composition and Bioefficacy of Essential Oil from Bay *Laurel Shrub* (Laurales: Lauraceae) against *Culiseta longiareolata* (Macquart) (Diptera: *Culicidae*) Larvae. Journal of Entomological Science. 55 (2), 262-272.

Bouzidi, O., Tine, S., Hamaidia, K., Tine-Djebbar, F., Soltani, N. (2020). Chemical Composition and Bioefficacy of Essential Oil from Bay *Laurel Shrub* (Laurales: *Lauraceae*) against *Culiseta longiareolata* (Macquart) (Diptera: *Culicidae*) Larvae. Journal of Entomological Science, 55(2), 262-272. https://doi.org/10.18474/0749-8004-55.2.262

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Brahim, M., Malika, D., Laid, O. M. (2021). Survival and development time of immature stages of the avian malaria vector *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae) under different PH and temperature gradients. Journal of Entomological Research, 45(2), 361-366.

C

Chahed., S. (2022). Biodiversité des moustiques (Diptera: Culicidae*)* de la région de Tizi-Ouzou (Nord d'Algérie. Thèse du doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algerie, 304.

Coimbra, R., Edwards, S., Kurihara, H. (2020). European Society of Trauma and Emergency Surgery (ESTES) recommendations for trauma and emergency surgery preparation during times of COVID-19 infection. Eur J Trauma Emerg Surg 46, 505–510 (2020). https://doi.org/10.1007/s00068-020-01364-7

Coimbra, A. T., Ferreira, S., Duarte, A. P. (2020). Genus *Ruta*: A natural source of high value products with biological and pharmacological properties. Journal of Ethnopharmacology, 260, 113076. https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113076

Cao, R., Chen, L., Chen, Z., Zhao, Y., Zhu, S., & Yu, K. (2021). LGESQL: Line Graph Enhanced Text-to-SQL Model with Mixed Local and Non-Local Relations (Version 3). arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2106.01093

Cuthbert, M., Ripley, N., McMahon, J.J. (2020). The Effect of Nordic Hamstring Exercise Intervention Volume on Eccentric Strength and Muscle Architecture Adaptations: A Systematic Review and Meta-analyses. Sports Med 50, 83–99. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01178-7

D

Da Silva, B. D., Do Rosário, D. K. A., Weitz, D. A., Conte-Junior, C. A. (2022). Essential oil nano emulsions : Properties, development, and application in meat and meat products. Trends in Food Science & Technology, 121, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.026

Dahchar, Z., Bendali-Saoudi, F., Soltani, N. (2016). Larvicidal activity of some plant extracts against two mosquito species *Culex pipiens* and *Culiseta longiareolata*. Journal of Entomology and Zoology Studies,4(4), 346-350

De Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., De Castro, R. D., Bezerra, D. P., Nunes, V. R. V., Gomes, R. C., Lima, T. C. (2023). Essential Oils: Chemistry and Pharmacological Activities. Biomolecules, 13(7), 1144. https://doi.org/10.3390/biom13071144

De Souza, M.A., Da Silva, L, Macédo, M.J.F., Lacerda-Neto, LJ, dos Santos, M.A.C. Coutinho, H.D.M., Cunha, F.A.B., 2019. Adulticide and repellent activity of essential oils against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) a review. South African Journal of Botany 124, 160-165.

Defresne, M.(2023). Le design de protéines par apprentissage profond et raisonnement automatique. Thèse du doctorat. Biotechnologies, Biologie et Environnement, École doctorale Sciences écologiques, vétérinaires, agronomiques et bio ingénieries (Toulouse)

Djabri, C., lahmidi, S. (2021). Effet pupicide et ovocide d'huile Essentielle *D'Ocimum basilicum* chez *Culiseta longiareolata*, Doctorat dissertation, Universite laarbi Tébessi, Tébessa.

Djeddar, H.(2019). Faune culicidienne dans le Nord-Est algérien : Inventaire, corrélation avec les facteurs écologiques et essais de lutte. Thèse du doctorat. Physiologie et environnement. Université Badji Mokhtar, Annaba

Drioiche, A., Amine, S., Boutahiri, S., Saidi, S., Ailli, A., Rhafouri, R., Zair, T. (2020). Antioxidant and antimicrobial activity of essential oils and phenolic extracts from the aerial parts of *Ruta montana L*. of the middle Atlas Mountains-Morocco. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 23(5), 902-917.

Dris, D. (2018). Etude de l'activité larvicide des extraits de trois plantes : *Mentha piperita*, *Lavandula dentata* et *Ocimum basilicum* sur les larves de deux espèces de moustiques *Culex pipiens* (Linné) et *Culiseta longiareolata* (Aitken), Thése de Doctorat en sciences. Biologie Animale. Universite Badji Mokhtar, Annaba.

Dris, D., Bouabida, H. (2023). Assessement of larvicidal and pupicidal activities of *Mentha piperita* essential oil and effects in biomarkers and morphometric aspects against two mosquito species (*Culiseta longiareolata* and *Culex pipiens*). International Journal of Tropical Insect Science, 43(6), 1897-1909.
https://doi.org/10.1007/s42690-023-01067-7

Dris, D., Bouabida, H., Seghier, H., Gheraibia, S. (2024). Larvicidal activity of methanolic and aqueous extracts of *Lavandula dentata* and *Nerium oleander* flowers against the vector of avian malaria *Culiseta longiareolata*. Tropical Biomedicine, 41(4), 441-449. https://doi.org/10.47665/tb.41.4.004

Dris, D., Boussekine, S., Bouabida, H. (2021). Phytochemical screening and mosquito larvicidal activity of an Algerian *Ruta graveolens* hydro-methanolic extracts against *Culiseta longiareolata*. Journal of Entomological Research, 45(1), 13-18. https://doi.org/10.5958/0974-4576.2021.00002.5

Dris, D., Tine-Djebbar, F., Soltani, N. (2017). *Lavandula dentata* Essential Oils: Chemical Composition and Larvicidal Activity Against *Culiseta longiareolata* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). African Entomology, 25(2), 387-394. https://doi.org/10.4001/003.025.0387

E

El-Ouady, F., Eddouks, M. (2021). *Ruta Montana* Evokes Antihypertensive Activity Through an Increase of Prostaglandins Release in L-NAME-Induced Hypertensive Rats. Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets, 21(2), 305-314. https://doi.org/10.2174/1871530320666200628025430

F

Falleh, H., Jemaa, M. B., Saada, M., Ksouri, R. (2020). Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. Food chemistry, 330, 127268.

Farid, O., Hebi, M., Ajebli, M., Hidani, A. E., & Eddouks, M. (2017). Antidiabetic effect of *Ruta montana L*. in streptozotocin-induced diabetic rats. Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology, 28(3), 275-282. https://doi.org/10.1515/jbcpp-2016-0030

Fenghour, H., Bouabida, H., Dris, D., & Houhamdi, M. (2021). Antibacterial effect of essential oils of two plants *Eucalyptus camal dulensis* and *Artemisia herba alba* on some bacterial strains. Biosystems Diversity, 29(2), 73-77, doi :10.15421/4012110

Foster, W. A., Walker, E. D. (2019). mosquitoes (Culicidae). In Medical and veterinary entomology 261-325. Academic press.

França Orlanda, J. F., Nascimento, A. R. (2015). Chemical composition and antibacterial activity of *Ruta graveolens L*. (Rutaceae) volatile oils, from São Luís, Maranhão, Brazil. South African Journal of Botany, 99, 103-106.
https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.03.198

G

Groppo, M., Afonso, L. F., & Pirani, J. R. (2022). A review of systematics studies in the Citrus family (Rutaceae, Sapindales), with emphasis on American groups. Brazilian Journal of Botany, 45(1), 181-200.
https://doi.org/10.1007/s40415-021-00784-y

Guenez, R.(2019). Contribution à l'étude de l'activité larvicide des extraits de certaines plantes sur les larves de trois espèces des moustiques *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas) et *Culiseta longiareolata* (Aitken). Thèse du doctorat. Biologie Animale. Université Badji Mokhtar, Annaba.

H

Habig, W. H., Pabst, M. J., & Jakoby, W. B. (1974). Glutathione S-Transferases. Journal of Biological Chemistry, 249(22), 7130-7139.
https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)42083-8

Hall, M., Tamïr, D. (2022). Mosquitopia : The Place of Pests in a Healthy World (1re éd.). Routledge.
https://doi.org/10.4324/9781003056034

Hamaidia, H.(2020). Etude de la bioecologie de la structure du Peuplement culicidien et biotypologie des gîtes Larvaires des moustiques (diptera-*culicidae*) dans la Region nord – est de l'algerie. Thèse du doctorat. Biotechnologies, Application Agronomique et Médicale, Université des Frères Mentouri Constantine1, Constantine.

Hamaidia, H., Berchi, S. (2018). Biosystematic study of culicidae (Diptera, Nematocera) nuisance source in Tébessa (Algeria). Journal of Entomology and Zoology Studies. 6(4), 1226-1231.

Hammami, I., Smaoui, S., Hsouna, A. B., Hamdi, N., Triki, M. A. (2014). *Ruta montana L.* Leaf essential oil and extracts: characterization of bioactive compounds and suppression of crown gall disease. Excli journal. 83-94. doi: 10.17179/excli2014-655.

Hazzit, M., Benchabane, A., Baaliouamer, A., Alloun, K., Kaci, M. (2015). Composition chimique et activité antimicrobienne de l'extrait non volatil et des huiles essentielles (*Ruta montana L.*), Recherche agronomique,27 ,118-129.

Hemanga, H., Varun, T., Harshita, K., Sumit, K., Sanjeev, K., Bhattacharyya, D.R. Kamaruz, Z, Pronobesh, C., 2018. Toxicity of essential oils on *Aedes aegypti*: a vec-tor of chikungunya and dengue fever. Int. J. Mosq. Res. 5 (3), 51-57

Heshelow, E. (2023). Livre D'huiles Essentielles Pour Les Débutants. 270.ISBN: 9781088220511 https://www.google.dz/search?sa=X&sca_esv=1b9e1d36071de626&hl=fr&sxsrf=AE3TifPUaUhR5nUk9dYa9HRB6TdQhTSccQ:1748693689257&q=inauthor:%22Emma+Heshelow%22&udm=36

Hosnaroodi, V.G., Ghavam, M. (2025). Evaluation of the effect of soil and irrigation water characteristics on the chemical composition and antimicrobial activity of *Mentha spicata L.* essential oil: A plant used in traditional medicine of Kashan people.journal homepage,Gestion de l'eau agricole 309 -109331.

Hu, Y., Zheng, T., Dong, J., Li, W., Ma, X., Li, J., Fang, Y., Chen, K., Zhang, K. (2024). Regulation of the main terpenoids biosynthesis and accumulation in fruit trees. Horticultural Plant Journal, S2468014124002024. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.08.002

I

Ilahi, I., Yousafzai, A.M., Attaullah, M., Haq, T.U., Rahim, A., Khan, W., Khan, A., Ullah, S., Jan, T., Khan, M., Rahim, G., Zaman, N., 2021. Mosquitocidal activities of *Chenopodium* botrys whole plant n-hexane extract against *Culex quinquefasciatus*. Braz. J. Biol. 83. https://doi.org/10.1590/1519-6984.240842.

Ishtiaq, M., Mahmood, A., Maqbool, M. (2015). Indigenous knowledge of medicinal plants from Sudhanoti district (AJK), Pakistan. Journal of Ethnopharmacology, 168, 201-207. https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.01.054

J

Jarin, M., Wang, T. Xie, X. (2024). Operando investigation of the synergistic effect of electric field treatment and copper for bacteria inactivation. Nat Commun 15, 1345. https://doi.org/10.1038/s41467-024-45587-3

Jourdain, F., & Paty, M. C. (2019). Impact des changements climatiques sur les vecteurs et les maladies à transmission vectorielle en France. Les Tribunes de la sante, 61(3), 41-51.

Junior, C.M.S., Silva, S.M.C., Sales, E.M., Velozo, E.D.S., Santos, E.K.P.D., Canuto, G.A.B., Azeredo, F.J., Barros, T.F., Biegelmeyer, R. (2023). Coumarins from Rutaceae*:* Chemical diversity and biological activities.Fitoterapia. 168-105489. http://doi.org/10.1016/J.fitote.2023.105489

K

Kachhawa, G., Charan, SK., Chouhan,B.(2021). Comparative study of species composition diversity of mosquitoes [Diptera: *Culicidea* (Meigen, 1818)] in the Eastern and Western regions of India.international Journal of research p105-106.

Kambouche, N.,Merah, B., Bellahouel, S., Bouayed, J., Dicko, A., Derdour, A., Younos, C., Soulimani, R. (2008). Chemical composition and antioxidant potential of *Ruta montana L.* essential oil from Algeria.Organic Synthesis Laboratory, Chemistry Department, Sciences Faculty, Essenia University, Oran, Algeria.doi: 10.1089/jmf.2007.0515

Kara Ali, W., Abidli, N. (2017). Effet des extraits de la plante médicinale *Ruta montana* sur la cardiotoxicité induite par la doxorubicine et sur la multi-drug résistances (MDR) des cellules cancéreuses ovarien.Thèse de doctorat, Université Frères Mentouri-Constantine 1.

Keffous, B.S.(2023). Lutte biologique contre le moustique *Aedes caspius* (Pallas, 1771) : Aspect toxicologique, biochimique et histologique. Thèse du doctorat. Parasitologie. Université Ferhat Abbas Sétif 1, Sétif.

Kendie, F. A. (2020). Potential biological control agents against mosquito vector in the case of larvae stage: A review. World News of Natural Sciences, 28.

Khadhri, A, Bouali, L., Belkhir, S., El Mokni, R., Smiti, S., Almeida, C., Nogueira, J.M.F., Araújo, M.E.M.(2014). Chemical variability of two essential oils of Tunisian rue: *Ruta montana* and *Ruta chalepensis*. J. Essential Oil Bear. Plants 17 (3), 445-451. https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.914001.

Khadhri, A., Bouali, I., Belkhir, S., Mokded, R., Smiti, S., Falé, P., Araújo, M. E. M., Serralheiro, M. L. M. (2017). In vitro digestion, antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of two species of *Ruta*: *Ruta chalepensis* and *Ruta montana*. Pharmaceutical Biology, 55(1), 101-107. https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1230634

Khaligh, F. G., Naghian, A., Soltanbeiglou, S., Gholizadeh, S. (2020). Autogeny in *Culiseta longiareolata* (Culicidae: Diptera) mosquitoes in laboratory conditions in Iran. BMC Research Notes, 13(1), 81. https://doi.org/10.1186/s13104-020-04942-5

Khaligh, F.G., Vahedi, M., Chavshin, A.Z. (2020). Identifcation of symbiotic bacteria in the midgut of the medically important mosquito, *Culiseta longiareolata (*Diptera:Culicidae). BMC Res Notes 13 :378 https://doi.org/10.1186/s13104-020-05220-0

Koyiparambath, V. P., Prayaga Rajappan, K., Rangarajan, T. M., Al-Sehemi, A. G., Pannipara, M., Bhaskar, V., Nair, A. S., Sudevan, S. T., Kumar, S., Mathew, B. (2021). Deciphering the

detailed structure–activity relationship of coumarins as Monoamine oxidase enzyme inhibitors—An updated review. Chemical Biology & Drug Design, 98(4), 655-673. https://doi.org/10.1111/cbdd.13919

Koyiparambath, V. P., Prayaga Rajappan, K., Rangarajan, T. M., Al-Sehemi, A. G., Pannipara, M., Bhaskar, V., Nair, A. S., Sudevan, S. T., Kumar, S., Mathew, B. (2021). Deciphering the detailed structure–activity relationship of coumarins as Monoamine oxidase enzyme inhibitors. An updated review. Chemical Biology & Drug Design, 98(4), 655-673. https://doi.org/10.1111/cbdd.13919

L

Lee, S.-W., Lim, J.-M., Mohan, H., Seralathan, K.-K., Park, Y.-J., Lee, J.-H., & Oh, B.-T. (2020). Enhanced bioactivity of *Zanthoxylum schinifolium* fermented extract: Anti-inflammatory, anti-bacterial, and anti-melanogenic activity. Journal of Bioscience and Bioengineering, 129(5), 638-645. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2019.12.003

Liu, N. (2015). Insecticide resistance in mosquitoes: impact, mechanisms, and research directions. Ann. Rev. Entomol. 60, 537-559.

Liu, Y.-P., Yan, G., Xie, Y.-T., Lin, T.-C., Zhang, W., Li, J., Wu, Y.-J., Zhou, J.-Y., Fu, Y.-H. (2020). Bioactive prenylated coumarins as potential anti-inflammatory and anti-HIV agents from *Clausena lenis*. Bioorganic Chemistry, 97, 103699. https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.103699

Lu, Z., Cao, H., Pan, L., Niu, L., Wei, B., Cui, G., Wang, L., Yao, J., Zeng, W., Wang, Z. (2021). Two loss-of-function alleles of the glutathione S-transferase (GST) gene cause anthocyanin deficiency in flower and fruit skin of peach (*Prunus persica*). The Plant Journal, 107(5), 1320-1331. https://doi.org/10.1111/tpj.15312

M

Mahyoub, J. A., Algamdi, A. G., Aljameeli, M. M. (2023). Resistance development to bioinsecticides in *Aedes aegypti* (Culicidae: Diptera), the vector of dengue fever in Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences, 30(9), 103776. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103776

Merabti, B. (2016). Identification, composition et structure des populations des facteurs écologiques sur l'abondance saisonnière. Essais *Culicidiénne* de la région de Biskra (Sud-est Algérien). Effets de lutte.doctorat dissertation.Écologie Animale.Université Kasdi Merbah,Ouargla

Merghache, S., Hamza, M., Tabti, B. (2009). Etude physicochimique de l'huile essentielle de *Ruta Chalepensis L.* de Tlemcen, Algérie. Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie, 5(1),67 - 81. https://doi.org/10.4314/afsci.v5i1.61708

Merghem, M., Dahamna, S. (2020). In-Vitro Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of *Ruta montana L.* Extracts. Journal of Drug Delivery and Therapeutics, 10(2), 69-75. https://doi.org/10.22270/jddt.v10i2.3919

Merghem, M., Dahamna, S., Samira, K., Khennouf, S. (2017). Effect of Chronic Oral Administration of *Ruta montana L.* Areal Part Extract on Fertility Potential in Albino Rats. Annual Research & Review in Biology, 21(4), 1-8. https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/38608

Messai, N. (2017). Étude de la bioecologie et de la structure du peuplement des Moustiques (diptera : culicidae) dans les zones humides des hautes plaines du sud Constantinois, thèse du doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine,11.

Meyer-Rochow, V. B., Hakko, H. (2018). Can edible grasshoppers and silkworm pupae be tasted by humans when prevented to see and smell these insects. Journal of Asia-Pacific Entomology, 21(2), 616-619.

Mohamed, N, B., Ferhat, A., kameli, A. (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles. Revue de litterature. Agrobiologia, **9**(2), 1653-1659.

Mohammadpour, S., Khodaparast, Z., Mohammadpour, H., Issazadeh, K. (2025). Potential of *Ruta graveolens* extract in healing burn infections caused by *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. The Microbe, 6, 100266. https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100266

Mohammedi, H., Mecherara-Idjeri, S., Hassani, A. (2020). Variability in essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Ruta montana L*. collected from different geographical regions in Algeria. Journal of Essential Oil Research, 32(1), 88-101. https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1660238

Monari, S., Ferri, M., Salinitro, M., Tassoni, A. (2022). Ethnobotanical review and dataset compiling on wild and cultivated plants traditionally used as medicinal remedies in Italy. Plants, 11(15), 2041.

Mossa, A. T. H. (2016). Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest man agement. Journal of environmental science and technology, 9(5), 354.

Muturi, E.J., Selling, G.W., Doll, K.M., Hay, W.T., Ramirez, J.L., 2020. *Leptospermum scoparium* essential oil is a promising source of mosquito larvicide and its toxicity is enhanced by a biobased emulsifier. PLoS One 15 (2), e0229076. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229076

N

Nabti, I. (2020). Inventory, Biology and Ecology of Culicidae (Diptera) of Setif region and con trol tests using plant extracts doctoral thesis Université Ferhat Abbas Sétif 1. Sétif.

Nahar, L., El-Seedi, H.R., Khalifa, S.A.M., Mohammadhosseini, M., Sarker, S.D. (2021). *Ruta* Essential Oils Composition and Bioactivities. Molecules, 26, 4766. https://doi.org/10.3390/molecules26164766

Nahar, K. J., Rawson, R. V., Ahmed, T., Tattersall, S., Sandanayake, N., Kiely, C. J., Lo, S., Carlino, M., Palendira, U., Scolyer, R. A., Long, G. V., & Menzies, A. M. (2020). Clinicopathological characteristics and management of colitis with anti-PD1 immunotherapy

alone or in combination with ipilimumab. Journal for ImmunoTherapy of Cancer, 8(2), e001488.
https://doi.org/10.1136/jitc-2020-001488

Naqqash, M.N., Gökçe, A., Bakhsh, A., Salim, M., 2016. Insecticide resistance and its molecular basis in urban insect pests. Parasitol. 115, 1363-1373.

Ndomo, A.F., Tapondjou, A.L., Tendonkeng, F., Tchouanguep, F.M.(2009). Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'Aconthoscelides obtectus (Say) (Coleoptera ; Bruchidae). Tropicultura 27.

Nebbak, A. Almeras, L: Parola, P. Bitam, 1. (2022). Mosquito Vectors (Diptera: Culicidae) and Mosquito Borne Diseases in North Africa. Insects, 13, 962.
https://doi.org/10.3390/insects13100962

P

Palla, F., Russo, R. (2023). Plant Essential Oils as Biocides in Sustainable Strategies for the Conservation of Cultural Heritage. Sustainability, 15(11), 8522.
https://doi.org/10.3390/su15118522

Pirani, J.R., Groppo, M. (2020). Rutaceae in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB212

Poonkodi, K., Karthika, J., Tamilselvi, V., Anitha, R., Vasanthamani, S. (2017). Chemical composition of essential oil of *Hyptis suaveolens* (L.) POIT and its in vitro anticancer activity. Journal of Pharmacy Research. 11: 410-413.

Poonsri, W., Pengsook, A., Pluempanupat, W., Yooboon, T., Bullangpoti, V. (2019). Evaluation of *Alpinia galanga* (Zingiberaceae) extracts and isolated trans-cinnamic acid on some mosquitoes larvae. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 6(1), 17.
https://doi.org/10.1186/s40538-019-0157-0

Pratheeba, T., Taranath, V., Sai Gopal, D., Natarajan, D. (2019). Antidengue potential of leaf extracts of *Pavetta tomentosa* and *Tarenna asiatica* (Rubiaceae) against dengue virus and its vector *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). Heliyon, 5(11), e02732. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02732

Procopio, F. A., Fromentin, R., Kulpa, D. A., Brehm, J. H., Bebin, A.-G., Strain, M. C., Richman, D. D., O'Doherty, U., Palmer, S., Hecht, F. M., Hoh, R., Barnard, R. J. O., Miller, M. D., Hazuda, D. J., Deeks, S. G., Sékaly, R.-P., Chomont, N. (2015). A Novel Assay to Measure the Magnitude of the Inducible Viral Reservoir in HIV-infected Individuals. EBioMedicine, 2(8), 874-883. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2015.06.019

Q

Quezel, P., et Santa, S. (1963). Nouvelle Flore de l'Algérie et de ses régions désertiques méridionales. Tome II. Paris, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique Revue d'Écologie (La Terre et La Vie),18-2, p238.

R

Ramirez, G., Broeckling, C., Herndon, M., Stoltz, M., Ebel, G. D., Dobos, K. M. (2024). Investigating the lipid profile of *Anopheles stephensi* mosquitoes across developmental life stages. Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics, 52, 101312. https://doi.org/10.1016/j.cbd.2024.101312

Rassem, H. H., Nour, A. H., & Yunus, R. M. Techniques for extraction of essential oils from plants: a review. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 10(16), 117-127, 2016.
Reddy, D. N., Al-Rajab, A. J. (2016). Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of *Ruta graveolens L.* Volatile oils. Cogent Chemistry, 2(1), 1220055. https://doi.org/10.1080/23312009.2016.1220055

Rehimi, N., Soltani, N. (1999). Laboratory evaluation of Alsystin, a chitin synthesis inhibitor, against *Culex pipiens L.* (Dip., Culicidae): effects on development and cuticle secretion. Journal of Applied Entomology. 123(7), 437-441.

Reza, S., Ahmad, R., Rahman, N., Alam, T. (2020). Suddab (*Ruta graveolens Linn*.) the Blessed Medicinal plant of Unani System of medicine: Literature Review. American Journal of Pharmacy and Health Research, 8(8), 52-57. https://doi.org/10.46624/ajphr.2020.v8.i8.005

Ríos, N., Stashenko, E. E., Duque, J. E. (2017). Evaluation of the insecticidal activity of essential oils and their mixtures against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). Revista Brasileira de Entomologia, 61(4), 307-311. https://doi.org/10.1016/j.rbe.2017.08.005

Russo, R., & Palla, F. (2023). Plant Essential Oils as Biocides in Sustainable Strategies for the Conservation of Cultural Heritage. Sustainability, 15(11), 8522. https://doi.org/10.3390/su15118522

S

Santos Junior, C. M., Silva, S. M. C., Sales, E. M., Velozo, E. D. S., Dos Santos, E. K. P., Canuto, G. A. B., Azeredo, F. J., Barros, T. F., & Biegelmeyer, R. (2023). Coumarins from Rutaceae*:* Chemical diversity and biological activities. Fitoterapia, 168, 105489. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105489

Semerdjieva, I., Zheljazkov, V. D., Radoukova, T., Radanović, D., Marković, T., Dincheva, I., Stoyanova, A., Astatkie, T., & Kačániová, M. (2019). Essential oil yield, composition, bioactivity and leaf morphology of *Juniperus oxycedrus L.* from Bulgaria and Serbia. Biochemical Systematics and Ecology, 84, 55-63. https://doi.org/10.1016/j.bse.2019.04.001

Singh, P, K., Dubey, S., Shri, M., Dwivedi, S., Chakrabarty, D.,Tripathi, R, D. (2022). New Paradigms in Environmental Biomonitoring Using Plants.Chapter 10 - Biomarkers of arsenic stress in plants. 245-270.
https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824351-0.00014-6

Seghier, M., Keshtegar, B., Tee, K. F., Zayed, T., Abbassi, R., & Trung, N. T. (2020). Prediction of maximum pitting corrosion depth in oil and gas pipelines. Engineering Failure Analysis, 112, 104505.
https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104505

Slougui, N., Rabhi, N.L., Achouri, R., Bensonici, C. (2023). Evaluation of the Antioxidant Antifungal and Anticholinesterase activity of the Extracts of *Ruta Montana L*., Harvested from Souk-Ahras (North-East of Algeria) and Composition of its Extracts by GC-MS.Tropical Journal of Natural Product Research (TJNPR), 7(7), 3452-3461.
https://doi.org/10.26538/tnpr/v717.25

Soleimani, M., Azar, P. A., Saber-Tehrani, M., & Rustaiyan, A. (2009). Volatile Composition of *Ruta graveolens L.* of North of Iran. World Applied Sciences Journal 7 (1) ,124-126.
Sugumaran, M. (2010). Chemistry of Cuticular Sclerotization. In Advances in Insect Physiology. (Ed., S.J. Simpson). Academic Press, London. 39, 151-209. Elsevier.
https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381387-9.00005-1

Soltani, N., Bahrami, A., Pech-Canul, M. I., González, L. A. (2015). Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. Chemical Engineering Journal, 264, 899-935.
https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.11.056

Sousa, T. R., Schietti, J., Ribeiro, I. O., Emílio, T., Fernández, R. H., Ter Steege, H., Castilho, C. V., Esquivel-Muelbert, A., Baker, T., Pontes-Lopes, A., Silva, C. V. J., Silveira, J. M., Derroire, G., Castro, W., Mendoza, A. M., Ruschel, A., Prieto, A., Lima, A. J. N., Rudas, A., Costa, F. R. C. (2022). Water table depth modulates productivity and biomass across Amazonian forests. Global Ecology and Biogeography, 31(8), 1571-1588.
https://doi.org/10.1111/geb.13531

Spinozzi, E., Maggi, F., Bonacucina, G., Pavela, R., Boukouvala, M. C., Kavallieratos, N. G., Canale, A., Romano, D., Desneux, N., Wilke, A. B. B., Beier, J. C., & Benelli, G. (2021). *Apiaceae* essential oils and their constituents as insecticides against mosquitoes—A review. Industrial Crops and Products, 171, 113892. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113892

Stefanovic, S., Laforest, B., Desvignes, J.-P., Lescroart, F., Argiro, L., Maurel-Zaffran, C., Salgado, D., Plaindoux, E., De Bono, C., Pazur, K., Théveniau-Ruissy, M., Béroud, C., Puceat, M., Gavalas, A., Kelly, R. G., Zaffran, S. (2020). Hox-dependent coordination of mouse cardiac progenitor cell patterning and differentiation. eLife, 9, e55124. https://doi.org/10.7554/eLife.55124

U

Uhl, A., Knierim, L., Höß, T., Flemming, M., Schmidt, A., & Strube, J. (2024). *Autonomous* Hydrodistillation with a Digital Twin for Efficient and Climate Neutral Manufacturing of Phytochemicals. Processes, 12(1). https://doi.org/10.3390/pr12010217

Udourioh.G. A., Bazza.B.M., Pilani.M. P., Solomon.M.(2025). Therapeutic Characteristics of Essential Oils: Historical and Scientific Considerations. Journal of Applied Sciences and Environmental Managemen, 29(2). https://www.ajol.info/index.php/jasem/issue/view/25322

V

Vacus, G. (2012). Expansion géographique *d'Aedes albopictus*.Quel risque de maladies émergentes en France métropolitaine ? diplome de medecine.medecine agricole.institut national de medecine agricole, France.

Vivekanandhan, P., Alharbi, S. A., Ansari, M. J. (2024). Toxicity, biochemical and molecular docking studies of Acacia nilotica L., essential oils against insect pests.Toxicon, 243, 107737. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2024.107737

W

Wang, M., Wang, Y., Li, X., Zhang, Y., Chen, X., Liu, J., Qiua, Y., Wang, A. (2024). Integration of metabolomics and transcriptomics reveals the regulation mechanism of the phenylpropanoid biosynthesis pathway in insect resistance traits in *Solanum habrochaites*. Horticulture Research, 11(2), uhad277. https://doi.org/10.1093/hr/uhad277

Wang, S., Li, S. C., Cheng, F. S., Ren, T., Mei, D. H., Gao, K., Song, Q. Y. (2022). Antifungal, repellency, and insecticidal activities of *Cymbopogon distans* and Ruta graveolens essential oils and their main chemical constituents. Chemistry & Biodiversity, 19(10), e202200351.

Ward, C, E., Fallon, A, M., (2024). A rapid and simple micro-assay to assess catalase activity in individual mosquito tissues. Experimental Parasitology. 267, 108862. https://doi.org/10.1016/j.exppara.2024.108862.

X

Xavier, L. H., Ottoni, M., Abreu, L. P. P. (2023). A comprehensive review of urban mining and the value recovery from e-waste materials. Resources, Conservation and Recycling, 190, 106840. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106840

Y

Yahia, H., Djebbar, F., Mahdi, D., & Soltani, N. (2023). Insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* (Labill) essential oil against *Culiseta longiareolata* (M., 1838) (Diptera: *Culicidae*). Allelopathy Journal. 59(1), 81-94. https://doi.org/10.26651/allelo.j/2023-59-1-1433

Yezli, A., Boudjelida, H., Arroussi, D.E.R..(2024). Components and toxicological effects of *Myrtus comunis L.* (Myrtales: *Myrtaceae)* essential oil against mosquito *Culex pipiens L.*

(Diptera: *Culicidae*). Appl. Ecol. Environ. Res. 22, 2149-2164, https://doi.org/10.15666/aeer/2203_21492164

Z

Zailani, S.B., Shuiabu, Y.U., Adamu, M.B., Mudathir, Q., Zakari, N.D., Lawal, A.S., Muhammad, L. (2024). Assessment of Antimicrobial Activities of Some Selected Medicinal Plants Used in the Treatment of Skin and Wound Infections in Bauchi Town, Bauchi State Nigeria. European Journal of Medicinal Plants, 35(4), 42-56. https://doi.org/10.9734/ejmp/2024/v35i41197

Zeraib, A., Boudjedjou, L., Suici, N., Benmeddour, T., Rahal, K., Fercha, A. (2021). Synergistic effects of *Ruta montana (Clus.) L.* essential oil and antibiotics against some pathogenic bacteria. Journal of Phytology, 101-107. https://doi.org/10.25081/jp.2021.v13.7088

Zhang, M., Wang, J., Zhu, L., Li, T., Jiang, W., Zhou, J., Peng, W., Wu, C. (2017). *Zanthoxylum bungeanum Maxim*. (Rutaceae): A Systematic Review of Its Traditional Uses, Botany, Phytochemistry, Pharmacology, Pharmacokinetics, and Toxicology. International Journal of Molecular Sciences, 18(10), 2172. https://doi.org/10.3390/ijms18102172

Zhou, X., Wang, M., Su, X. (2021). Sensitive glutathione S-transferase assay based on Fe-doped hollow carbon nanospheres with oxidase-like activity. Sensors and Actuators B: Chemical, 338, 129777. https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129777

Zhu, F., Lavine, L., O'Neal, S., Lavine, M., Foss, C., Walsh, D., 2016. Insecticide resistance and management strategies in urban ecosystems. Insects 7, 1-26. https://doi.org/10.3390/insects7010002

Zittra, C., Waringer, J., Werblow, A., Melaun, C., Fuehrer, H.-P. (2014). Reconfirmation of *Culiseta* (Allotheobaldia) *longiareolata* (Macquart 1838) (Diptera: *Culicidae*) in Austria. The

first sequence-confirmed findings in northeastern Austria. Acta ZooBot Austria, 150/151, 17–24.

Żukowska, G., Durczyńska, Z. (2024). Properties and Applications of Essential Oils: A Review. Journal of Ecological Engineering, 25(2), 333-340. https://doi.org/10.12911/22998993/177404