République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tebessi –Tebessa-
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^. Mebarkia Maroua **&** **M^elle^. Douib Rafa**

Intitulée :

Altérations biochimiques du mélange des huiles essentielles de *Ruta graveolens* et de *Ruta montana* (Rutacées) Contre *Culiseta longiareolata*

Devant le jury :

M. Bouabida Hayette	Prof	Université de Tébessa	Président
Mm. Dris Djemaa	MCA	Université de Tébessa	Rapporteur
Mm. Segheir Hanane	MCA	Université de Tébessa	Examinateur

Date de soutenance : 04 / 06 / 2025


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

*Nous rendons tout d'abord grâce à **Allah**, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, la patience et la force nécessaires à l'accomplissement de ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Dr. Dris Djemaa** pour son encadrement précieux, son soutien constant et ses conseils éclairés tout au long de ce travail.*

Nous exprimons notre profonde gratitude aux membres du jury pour le temps et l'expertise consacrés à notre travail.

*Une reconnaissance particulière va au **Professeur Bouabida Hayette**, présidente du jury, dont les remarques constructives ont été précieuses. Nous adressons également nos sincères remerciements à la **Dr. Seghier Hanane** pour son évaluation rigoureuse et ses pertinentes suggestions.*

*Nous adressons également nos remerciements à la doctorante **Bendjazia Rania** pour ses précieux conseils et son accompagnement durant cette recherche, Sans oublier de remercier **Bechiri Wissal** et **Djedouani Hadjer** pour les bons moments partagés et leur esprit d'équipe.*

Dédicaces

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

Je dédie ce modeste travail

À mon père, pour son accompagnement permanent, son soutien indéfectible et ses précieux conseils qui ont guidé chaque étape de mon parcours académique.

À ma mère, dont le dévouement, la patience et les sacrifices ont été déterminants dans l'accomplissement de mes études

À mes frères et sœurs : ***Aziz*** *et* ***Louay***, ***Aryem***, *pour leur présence réconfortante et leurs encouragements constants.*

À mes cousines : ***Inès***, ***Lamis***, ***Chaïma*** *et* ***Abir*** *pour leur appui précieux, leur soutien moral et leur aide tout au long de ce travail.*

E*t à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire*

Avec toute ma gratitude.

Marwa

Dédicaces

﴿ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَ اللَّهُ بِما تَعْمَلُونَ خَبيرٌ ﴾

Avec tout le respect que je leur dois et toute la gratitude qui m'anime, je dédie ce diplôme et ma joie :

À mon paradis sur terre, à celle qui illumine ma vie, ma force, mon refuge et mon sourire , ***maman***

À mon père (رحمهُ الله) , ton absence laisse un vide, mais ton amour guide chacun de mes pas.

À mes frères ***Rochdi , Rafik , Hamza*** *,et mes sœurs* ***Hanane , Chaima ,*** *merci pour votre amour, votre présence rassurante à chaque étape de ma vie, vous êtes le plus beau cadeau que la vie m'ait offert.*

À mes tantes, ainsi qu'à mes cousins et ma cousine ***Ritedj****, merci pour votre affection, votre soutien, et pour les liens si chers qui nous unissent.*

À mes petits anges, les petits joyaux de ma famille, vous êtes ma joie et ceux qui remplissent mes journées de bonheur.

À mes amis, pour la chaleur de vos paroles, et pour votre présence, qui rend mes journées plus légères.

Merci à vous tous d'être toujours présents, dans les bons comme dans les mauvais moments.

Rafa

Sommaire

Remerciements et dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé (arabe, français, anglais)

I. Introduction…… **1**

II. Matériel et méthodes ……... **3**

II.1. Matériel animale ……. **3**

II.1.1. Généralité sur les moustiques …….. **3**

II.1.2. Généralité du Culicidae ……... **3**

II.1.3. Présentation de *Culiseta longiareolata* …… **4**

II.1.3.1. Position Systématique …….. **4**

II.1.3.2. Cycle de vie ……. **5**

II.1.3.3. Caractères morphologiques …….. **6**

II.1.3.4. Technique d'élevage …… **10**

II.2. Matériel végétale …… **12**

II.2.1. Présentation de la famille des Rutacées …….. **12**

II.2.2. Présentation de genre *Ruta* …….. **12**

II.2.3. Présentation de *Ruta montana* ……. **13**

II.2.3.1. Définition de *R. montana* ……. **13**

II.2.3.2. Nomenclature …… **14**

II.2.3.3. Caractéristiques botaniques …….. **14**

II.2.3.4. Composition chimique du *R. montana* ……. **14**

II.2.3.5. Activités biologiques de *R. montana* …… **15**

II.2.3.6. Toxicité de *R. montana* ……..... **16**

II.2.4. Présentation de *Ruta graveolens* …… **16**

II.2.4.1. Définition de *R. graveolens* …….. **16**

II.2.4.2. Nomenclature …… **17**

II.2.4.3. Caractéristiques botaniques …….. **17**

II.2.4.4. Composition chimique de *R. graveolens* ……. **18**

II.2.4.5. Activitées biologiques de *R. graveolens* ……. **18**

II.2.4.6. Toxicité de *R. graveolens* ……. **19**

II.3. Huiles essentielles…… **19**

II.3.1. Définition des huiles essentielles ……. **19**
II.3.2. Origine des huiles essentielles …….. **20**
II.3.3. Composition chimique des huiles essentielles ……. **21**
II.3.4. Activités liées aux huiles essentielles ……..…… **22**
II.3.5. Toxicité des huiles essentielles …… **23**
II.3.6. Extraction des huiles essentielles …… **23**
II.3.7. Principes de l'hydrodistillation …… **23**
II.3.8. Récolte de la plante et élaboration de son huile essentielle ……. **24**
II.3.9. Rendement des huiles essentielles ……... **25**
II.3.10. Extraction et dosage des constituants biochimiques …….. **25**
II.3.10.1. Dosage des glucides totaux ……. **25**
II.3.10.2. Dosage des lipides totaux ……... **26**
II.3.10.3. Dosage des protéines totales ……... **26**
II.3.11. Analyse statistique …… **28**
III. Résultats ……. **29**
III.1. Détermination du rendement d'extraction …… **29**
III.2. Impact du mélange sur la composition biochimique des moustiques ……... **29**
III.2.1. Effet du mélange sur le contenu en protéines totales ……. **29**
III.2.2. Effet du mélange sur le contenu en glucides totaux ……... **30**
III.2.3. Effet du mélange sur le contenu en lipides totaux …….. **30**
IV. Discussion ……... **32**
IV.1. Rendement des huiles essentielles de *Ruta graveolens* et *Ruta montana* ……. **32**
IV.2. Impact du mélange sur la composition biochimique des moustiques …….. **32**
IV.2.1. Effet sur le contenu en protéines …… **32**
IV.2.2. Effet sur le contenu en glucides ……. **33**
IV.2.3. Effet sur le contenu en lipides …… **33**
V. Conclusion et perspective ……... **35**
VI. References bibliographiques …… **37**

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
Tableau. 1	Étude systématique de la position des moustiques *C. longiareolata*…	**4**
Tableau. 2	Classification systématique de genre *Ruta*…….	**13**
Tableau. 3	Dosage des glucides totaux chez les moustiques : Réalisation de la gamme d'étalonnage des glucides……..	**26**
Tableau. 4	Dosage des lipides totaux chez les moustiques : Réalisation de la gamme d'étalonnage des lipides…….	**26**
Tableau. 5	Dosage des protéines totales chez les moustiques : Réalisation de la gamme d'étalonnage des protéines…….	**27**

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Figure. 1	Cycle de développement de *C. longiareolata*…….	**6**
Figure. 2	Œuf de *C. longiareolata*…….....	**7**
Figure. 3	Larve de *C. longiareolata*……...	**8**
Figure. 4	Nymphe de *C. longiareolata*……...	**9**
Figure. 5	Adulte de *C. longiareolata*……..	**10**
Figure. 6	Sites des collectes des moustiques……...	**11**
Figure. 7	Étapes de la préparation des moustiques en laboratoire……..	**11**
Figure. 8	(A) la plante de *R. montana* (B) les feuilles (C) les fleurs (photos personnelles,2025) …….....	**14**
Figure. 9	(A) la plante de *R. graveolens* (B) les feuilles (C) les fleurs (photos personnelles,2025) …….....	**17**
Figure. 10	Huiles essentielles issues de différentes parties de la plante……...	**21**
Figure. 11	Représentation schématique de l'hydrodistillation……..	**24**
Figure. 12	Hydrodistillation…….……..	**24**
Figure. 13	L'extraction des glucides, protéines et lipides totaux est effectuée de cette manière …….....	**28**
Figure. 14	Effet de l'huile essentielle de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) (CL_{50}) sur le contenu en protéine (µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4). (** Différence hautement significative (p<0,01) ; *** Différence très hautement significative (p<0,001) entre les séries témoins et traitées) ……	**29**
Figure. 15	Effet de l'huile essentielle de CL_{50} sur le contenu en glucide (µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4). (ns Différence non significative (p>0,05) ; *** Différence très hautement significative (p<0,001) entre les séries témoins et traitées)……	**30**
Figure. 16	Effet de l'huile essentielle de CL_{50} sur le contenu en lipide	

(µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4). (*** Différence très hautement significative (p<0,001) entre les séries témoins et traitées) …… **31**

Liste des abréviations

AchE	Acétylcholinestérase
BBC	Bleu de Coomassie brillant
BSA	Albumine de sérum bovin
C. longiareolata	*Culiseta longiareolata*
C. pipens	*Culex pipens*
CPG-SM	Chromatographie phase gazeuse - spectrométrie de masse
CL_{50}	Concentration létale pour 50 % de la population
E.coli	Escherichia coli
G	Gramme
HE	Huile essentielle
L	Larve
M	Moyenne
Mm	Millimetre
Ml	Millilitre
Mg	Milligramme
µg	microgramme
Na_2so_4	Sulfate de sodium
Nm	Nanometre
Naoh	Hydroxyde de sodium
P	Probabilité
R.graveolens	*Ruta graveolens*
R.montana	*Ruta montana*
Sd	Écart type

TCA	Acide trichloracétique
Trs	Tours
V/V	Voulume sur voulume
µl	Microlitre
N	Normalité

ملخص

تُقيّم هذه الدراسة تأثير مزيج من الزيوت العطرية المستخلصة من أوراق نباتي *Ruta montana* و *Ruta graveolens* على التركيب الكيميائي الحيوي ليرقات الطور الرابع من بعوض *Culiseta longiareolata* تم الحصول على الزيوت العطرية عن طريق التقطير المائي باستخدام جهاز Clevenger، حيث بلغت نسبة الاستخلاص 0.52% و0.47% على التوالي.

أظهر التحليل الكيميائي الحيوي لليرقات المعالجة بالتركيز القاتل الوسيط (CL_{50}) اضطرابات أيضية ملحوظة. فقد سُجّل انخفاض معنوي في محتوى البروتينات الكلية بعد 24 ساعة من المعالجة، وازداد هذا الانخفاض تدريجياً ليُصبح عالي الدلالة الإحصائية بعد 72 ساعة. كما أظهرت مستويات الكربوهيدرات انخفاضاً غير معنوي خلال أول 24 و48 ساعة، أعقبه انخفاض عالي الدلالة في الساعة 72. أما الدهون، فقد شهدت انخفاضاً ذا دلالة إحصائية عالية في جميع الفترات الزمنية المدروسة.

تشير هذه النتائج إلى أن مزيج الزيوت العطرية لكلٍّ من *R. montana* و *R. graveolens* يمتلك فعالية واعدة كمبيد حشري ضد *C. longiareolata* ، من خلال آلية تأثير متعددة الأهداف تطال مختلف مسارات استقلاب الطاقة لدى اليرقات.

الكلمات المفتاحية : *Culiseta longiareolata* , *Ruta graveolens* , *Ruta montana* ,CL50 و التركيب البيوكيميائي .

Résumé

Cette étude évalue l'impact d'un mélange d'huiles essentielles extraites des feuilles de *Ruta montana* et *Ruta graveolens* sur la composition biochimique des larves de quatrième stade du moustique *Culiseta longiareolata*. L'extraction, réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de Clevenger, a permis d'obtenir des rendements respectifs de 0,52 % et 0,47 %.

L'analyse biochimique des larves traitées à la concentration létale médiane (CL_{50}) a révélé d'importantes perturbations métaboliques. Une diminution significative des protéines totales a été observée dès 24 heures de traitement, s'accentuant progressivement pour devenir très hautement significative après 72 heures. Les teneurs en glucides ont montré une baisse non significative aux premières 24 et 48 heures, suivie d'une chute très hautement significative à 72 heures. Quant aux lipides, leur concentration a diminué de manière très hautement significative à tous les intervalles de temps étudiés.

Ces résultats suggèrent que le mélange des huiles essentielles de R. montana et R. graveolens présente un potentiel insecticide prometteur contre *C. longiareolata*, avec un mode d'action multi-cibles affectant différents métabolismes énergétiques.

Mots-clés : *Ruta montana*, *Ruta graveolens*, *Culiseta longiareolata*, CL_{50}, Composition biochimique.

Abstract

This study evaluates the effect of a blend of essential oils extracted from *Ruta montana* and *Ruta graveolens* leaves on the biochemical composition of fourth-instar *Culiseta longiareolata* larvae. Extraction by hydrodistillation using a Clevenger apparatus yielded 0.52% and 0.47% essential oils, respectively.

Biochemical analysis of larvae treated at the median lethal concentration (CL_{50}) revealed significant metabolic disturbances. A significant decrease in total protein was observed as early as 24 hours of treatment, gradually increasing to become very highly significant after 72 hours. Carbohydrate levels showed a non-significant drop at 24 and 48 hours, followed by a highly significant fall at 72 hours. As for lipids, their concentration decreased very significantly at all time intervals studied.

These results suggest that the *R. montana* and *R. graveolens* essential oil blend has promising insecticidal potential against *C. longiareolata*, with a multi-target mode of action affecting different energy metabolism pathways.

Keywords: *Ruta montana*, *Ruta graveolens*, *Culiseta longiareolata*, CL_{50}, Biochemical composition.

Introduction

I. Introduction

Les moustiques sont reconnus comme les insectes les plus importants en matière de santé publique. En effet, ils jouent un rôle majeur dans la transmission de nombreuses maladies (Santana da Costa *et al*., 2019 ; Dris & Bouabida, 2023), telles que le paludisme, la filariose, la fièvre jaune, la fièvre du Nil occidental, l'encéphalite japonaise et la fièvre de la vallée du Rift (Bisanzio *et al*., 2011 ; Schoener *et al*., 2017 ; Vivekanandhan *et al*., 2021 ; Hegazy *et al*., 2022 ; Bauer, 2023 ; Onen *et al*., 2023). Ces maladies, transmises par les moustiques, causent environ 700 000 décès annuels dans le monde (Norris *et al*., 2018). Les Diptères, et en particulier les moustiques (Culicidae), constituent une menace significative pour la santé humaine et animale à l'échelle mondiale (Soonwera & Sittichok, 2020). Ces insectes sont des vecteurs clés de virus, de parasites et de nématodes responsables de pathologies graves (Mohafrash *et al*., 2020). Leur cycle de vie se décompose en quatre étapes principales : œuf, larve, nymphe et adulte (Ramirez *et al*., 2024).

Parmi les espèces de moustiques, *Culiseta longiareolata* est l'une des plus répandues en Asie, en Europe et en Afrique (Soltanbeiglu *et al*., 2022). En Algérie, cette espèce est la plus dominante, suivie de près par *Culex pipiens*. D'un point de vue vétérinaire et écologique, *C. longiareolata* joue un rôle clé en tant que vecteur principal de maladies telles que le paludisme aviaire et divers arbovirus, qui représentent des pathologies d'un grand intérêt (Dris *et al*., 2024).

Pour lutter contre ces vecteurs, la méthode la plus couramment utilisée est la lutte chimique, reposant sur des insecticides tels que les pyréthroïdes, les néonicotinoïdes, les hydrocarbures chlorés, les carbamates et les organophosphorés. Cependant, leur utilisation intensive a entraîné l'émergence de résistances chez les moustiques, réduisant leur efficacité. De plus, ces substances s'accumulent dans l'environnement, provoquant des impacts écologiques néfastes et des risques pour la santé humaine et animale (Meier *et al*., 2022).

Face à ces limites, la lutte biologique se présente comme une alternative respectueuse de l'environnement. Cette méthode exploite les prédateurs naturels des moustiques pour réguler leurs populations (Kendie, 2020). Parallèlement, les plantes médicinales, utilisées depuis des millénaires en médecine traditionnelle, notamment dans les régions rurales des pays en développement (Liaqat *et al*., 2018), offrent un potentiel prometteur. Parmi elles, la famille

des Rutaceae (environ 700 espèces réparties en zones tempérées et tropicales) inclut des espèces comme *Ruta angustifolia*, *Ruta chalepensis* et *Ruta montana*.

Ruta graveolens, largement cultivée au Maghreb (Bouabida & Dris, 2020), est une plante aromatique méditerranéenne (Konnur *et al*., 2018 ; Al-muffti *et al*., 2021) aux propriétés pharmacologiques notables, notamment anti-inflammatoires et anticancéreuses (Zapata-Morales *et al*., 2021). Quant à *R. montana*, elle est utilisée en médecine traditionnelle pour traiter le diabète sucré et certains troubles infantiles (Benali *et al*., 2017).

Les huiles essentielles extraites de ces plantes suscitent un intérêt croissant comme biopesticides contre les nuisibles, offrant une alternative pour le contrôle larvaire (Vignesh *et al*., 2016). Leurs atouts majeurs incluent une biodégradabilité rapide, une action ciblée, une faible bioaccumulation et une toxicité réduite pour les animaux supérieurs (Liu *et al*., 2012 ; Sharma *et al*., 2021).

Dans ce contexte, notre recherche expérimentale visait à extraire les huiles essentielles de deux espèces de la famille des Rutaceae, *Ruta montana* et *Ruta graveolens*, puis à évaluer l'effet de la concentration létale médiane (CL_{50}) d'un mélange de ces huiles sur la composition biochimique (glucides, protéines, lipides) des larves de quatrième stade de *Culiseta longiareolata* dans la région de Tébessa.

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes

II.1 Matériel animale

II.1.1. Généralité sur les moustiques

Les moustiques sont souvent perçus comme de simples parasites en raison de l'irritation causée par leurs piqûres, mais ils peuvent aussi être vecteurs de maladies chez l'homme et les animaux domestiques (Toksoz & Saruhan, 2018 ; Benelli & Pavela, 2018).On dénombre près de 3 500 espèces de moustiques à travers le monde, cependant, seuls certains d'entre eux ont la capacité de porter et de transmettre des agents pathogènes à l'origine de maladies chez l'homme (Ng *et al*., 2019).

Ces diptères sont de petites mouches à longues pattes et possèdent deux ailes, c'est pourquoi ils ont été classés dans l'ordre des Diptères et la famille des Culicidés (Dris *et al*., 2021), ils se reproduisent dans divers milieux, des eaux stagnantes aux sites temporaires comme les lacs, mares et fossés. Certaines espèces privilégient les récipients artificiels, tandis que d'autres, comme les *Aedes*, s'adaptent aux eaux claires et propres (Ogunmodede, 2020), leur corps mince et allongé est doté de pièces buccales en forme d'aiguille, adaptées à la perforation et à l'aspiration, chez la plupart des espèces, seules les femelles prélèvent le sang des vertébrés, tels que les mammifères, oiseaux, reptiles et même certains poissons. À l'âge adulte, leur taille varie entre 2 et 12,5 mm (Lubna *et al*., 2024).

II.1.2. Généralité du Culicidae

Les Culicidés sont des insectes piqueur-suceurs de sang appartenant à l'ordre des Diptères et au sous-ordre des Nématocères. Ils jouent un rôle majeur en tant que vecteurs d'organismes pathogènes, ce qui leur confère une importance médicale significative (Hamaidia & Berchi, 2018). Cette famille comprend 3 556 espèces valides réparties entre les sous-familles Culicinae et Anophelinae (Tandina *et al*., 2018). Certaines sources indiquent également un total de 3 563 espèces, et la sous-famille Culicinae se divise en 11 tribus regroupant entre 41 et 113 genres selon la classification de (Azari-Hamidian *et al*., 2019), parmi ces moustiques, les genres *Anopheles*, *Aedes*, et *Culex* sont particulièrement remarquables pour leur rôle dans la transmission de maladies infectieuses causées par des arbovirus, des protozoaires, et des filaires , Bien que leur principal impact soit lié à ces agents pathogènes, certains moustiques peuvent aussi participer, dans une moindre mesure, à la transmission de maladies bactériennes (Tandina *et al*., 2018).

En Algérie, les moustiques se répartissent entre les sous-familles Culicinae et Anophelinae, on y trouve 15 espèces du genre *Aedes*, 15 du genre *Anopheles*, 14 du genre *Culex*, ainsi que 5

espèces du genre *Culiseta,* Les genres *Coquillettidia*, *Uranotaenia* et *Orthopodomyia* y sont également présents, bien que moins diversifiés (Merabti *et al*., 2021).

II.1.3. Présentation de *Culiseta longiareolata*

C. longiareolata, appartenant à la famille des Culicidés, est un moustique d'importance médicale et vétérinaire, impliqué dans la transmission de diverses maladies vectorielles à travers le monde (Toubal *et al*., 2022) , Ce moustique colonise divers habitats, allant des roches et bassins d'eau douce aux récipients plastiques, tonneaux, bassins de pneus et fontaines (Boumaza *et al*., 2022).

En Algérie, il est particulièrement présent dans la région de Tébessa (Bouabida *et al*., 2017), Espèce multivoltine, il se distingue par la présence de bandes blanches et de points sur les jambes, la tête et le thorax. Leur Mesurant entre 3 et 5 millimètres, il possède un corps élancé, des pattes longues et sveltes, ainsi que de longues ailes étroites et membraneuses ; et il se développe principalement dans les petites étendues d'eau et privilégie les environnements chauds. De plus, il peut pénétrer dans les habitations et piquer les humains morphologiquement (Khaligh *et al*., 2020 ; Seghier, *2022*).

II.1.3.1. Position Systématique

D'après (Aitken, 1954), l'idée de la classification a été proposée.

Tableau1. Étude systématique de la position des moustiques *C. longiareolata.*

Domaine	Eucaryote
Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Classe	Insecta
Sous Classe	Pterygota
Ordre	Diptera
Sous Ordre	Nematocera
Famille	Culicidae
Sous Famille	Culicinae
Genre	*Culiseta*
Espèce	*Culiseta longiareolata*

II.1.3.2. Cycle de vie

Les moustiques sont des insectes holométaboles au cycle de vie biphasique, comprenant une phase aquatique (immature) et une phase aérienne (adulte). Leur développement complet, étroitement lié aux conditions environnementales, dure généralement entre 10 et 15 jours sous climat tropical (Dris, 2019 ; Guenez, 2020).

- **La phase aquatique**

Débute par la ponte des œufs à la surface de l'eau, où se déroule l'embryogenèse. À l'éclosion, les œufs libèrent une larve de stade I. Cette larve se développe à la surface de l'eau jusqu'au stade IV, se nourrissant de matières organiques présentes à la surface, telles que des algues et des bactéries. Les larves respirent grâce à un siphon ou un stigmate, tandis que les nymphes utilisent deux trompettes respiratoires. La nymphe constitue le stade suivant la larve de stade IV. Cette phase aquatique initiale est marquée par une période de croissance importante, au cours de laquelle la taille des larves peut augmenter jusqu'à 10 fois : d'un œuf mesurant 0,5 mm, on obtient une larve de stade I de 1 à 2 mm, qui évolue ensuite en larve de stade II, puis de stade III, pour atteindre finalement le stade IV, mesurant entre 12 et 15 mm (Liegeois, 2021).

- **La phase aérienne**

C'est donc la saison de reproduction et de dissémination. Le mâle adulte se sustente uniquement du nectar floral ou du suc sucré des fruits mûrs, alors que la femelle s'alimente. Non seulement de nectar et de jus sucré, mais également et avant tout de sang (humain ou animal). Pour les deux genres, le jus sucré est indispensable pour satisfaire leurs besoins énergétiques. De plus, le sang consommé par la femelle contribue à la maturation des ovaires. Ainsi, seule la femelle se nourrit de sang et a donc la possibilité de transmettre des agents infectieux tels que les virus ou les parasites (Kaleka, 2019 ; Liegeois, 2021).

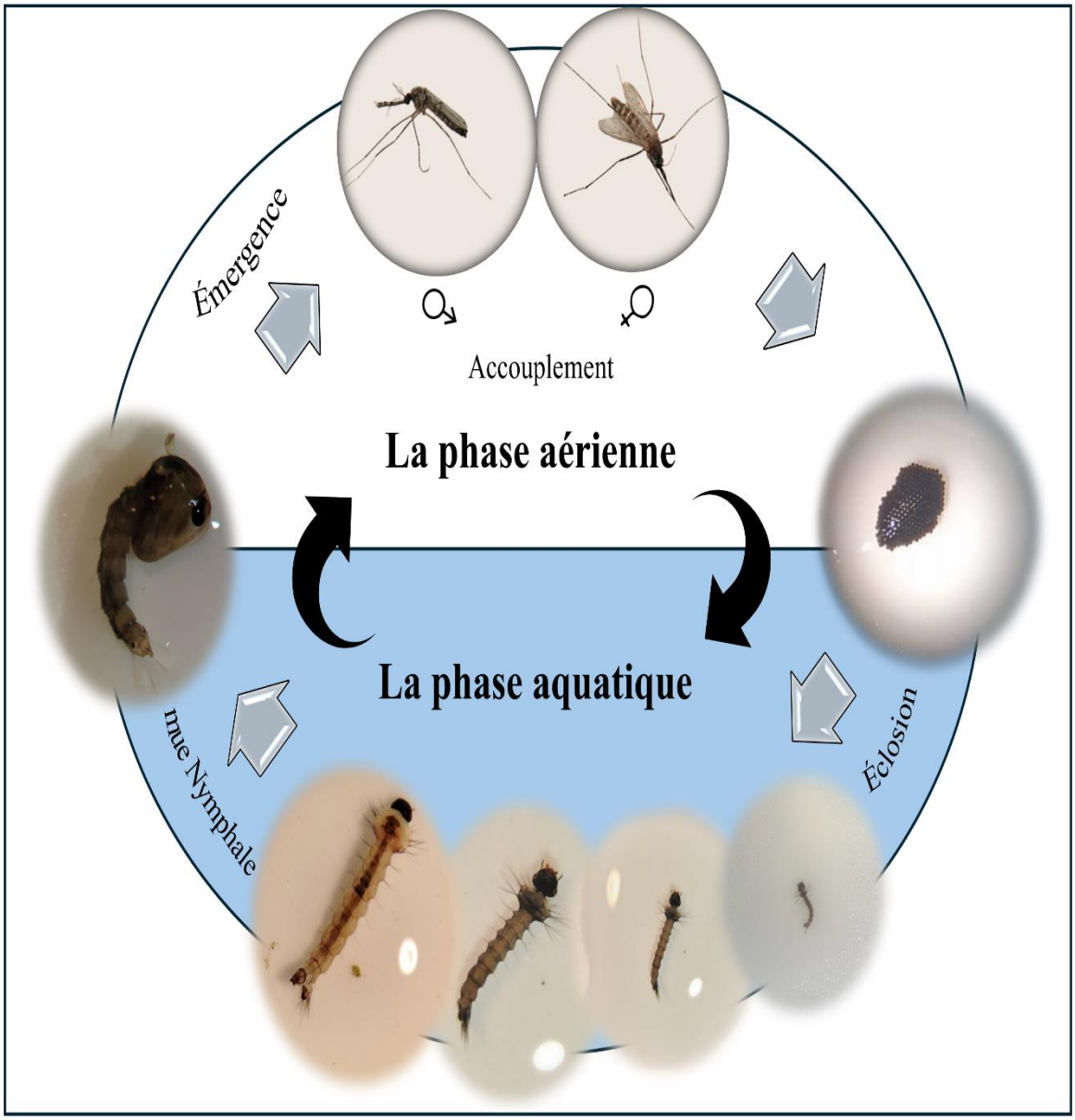


Figure 1. Cycle de développement de *C. longiareolata* (photo personnelle 2025)

II.1.3.3. Caractères morphologiques

- ✓ **Stade de l'œuf**

Peu après leur émergence, les adultes s'accouplent, et les femelles fécondées déposent entre 200 et 400 œufs à la surface de l'eau, disposés perpendiculairement (Dris, 2019; Guenez, 2020). Initialement blanchâtres, ces œufs s'assombrissent progressivement sous l'effet de l'oxydation de certains composants chimiques de leur enveloppe, au contact de l'air ou de l'eau (Dris, 2019 ; Oussad, 2022). Leur longueur varie entre 0,5 mm et 1 mm, leur morphologie dépend de l'espèce certains sont cylindriques (Dris, 2019) tandis que d'autres présentent une forme fusiforme (Guenez, 2020). Chaque œuf est muni d'un opercule qui s'ouvre lors de l'éclosion, permettant à la larve d'émerger grâce à une épine chitineuse située

sur sa tête (Dris, 2019). Une corolle est présente au pôle inférieur des œufs et joue un rôle essentiel dans leur flottabilité. Elle peut comporter des expansions latérales ou apicales, dont la structure varie selon le genre et l'espèce (Guenez, 2020 ; Oussad, 2022). Par exemple, les œufs du genre *Aedes* sont allongés et présentent de fines dépressions, tandis que ceux des genres *Culex* et *Culiseta* forment des radeaux flottants à la surface de l'eau. Enfin, le pôle antérieur des œufs est doté d'une corolle en forme de coupe. Sa face interne, hydrophile, permet leur maintien à la surface de l'eau, tandis que la face externe, hydrophobe, optimise leur flottabilité (Oussad, 2022).

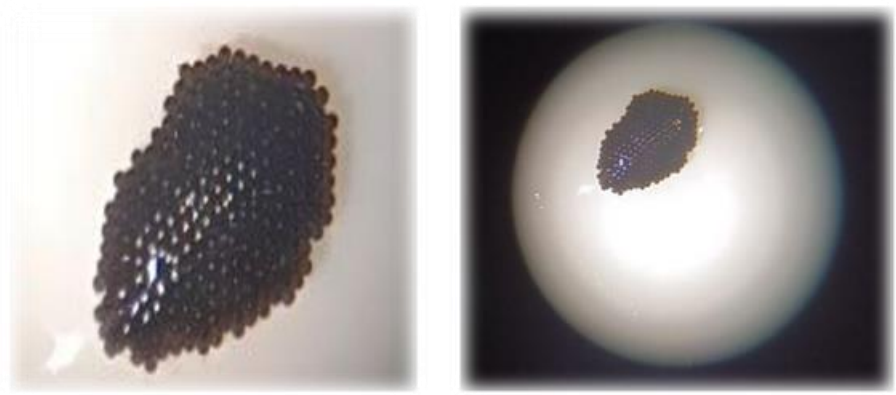


Figure 2. Œuf de *C. longiareolata* (photo personnelle 2025)

- ✓ **Stade larvaire**

La larve, de forme vermiforme et dépourvue de pattes, mesure entre 1 et 2 mm à l'éclosion et atteint 5 mm à son dernier stade (Chahed, 2022). Son développement comprend quatre stades avec trois mues sur 1 à 3 jours (Abd, 2020). Contrairement aux Culicinae, les larves d'Anophelinae n'ont pas de siphon abdominal (Chahed, 2022), elles se nourrissent de particules organiques et de micro-organismes grâce à des structures buccales adaptées (Abd, 2020), à la fin de son développement, la larve devient une nymphe après la rupture de sa cuticule (Chahed, 2022).



Figure 3. Larve de *C. longiareolata* (photo personnelle 2025)

- **La tête**

Elle possède deux antennes, deux yeux et des brosses buccales qui créent un courant d'eau permettant d'amener les particules alimentaires vers sa bouche ventrale. Au quatrième stade larvaire, elle peut filtrer entre 0,5 et 2 litres d'eau par jour, en position normale, la face ventrale est dirigée vers l'eau, mais lorsqu'elle a faim, elle fait pivoter sa tête à 180°, amenant ainsi sa bouche à la surface. Grâce à ses brosses buccales, elle agite l'eau pour capter sa nourriture, composée notamment de bactéries, micro-algues et pollen. Ces éléments sont ensuite broyés entre ses mandibules avant d'être ingérés, puis la tête reprend sa position initiale (Liegeois, 2021).

- **Thorax**

Le thorax est relié à la tête par une membrane située au niveau du cou, permettant la rotation précédemment décrite lors de l'alimentation de la larve. Il est constitué de trois segments : prothorax, mésothorax et métathorax. Chacun de ces segments est recouvert de nombreuses soies dont la taille et la forme varient en fonction de leur emplacement ainsi que selon l'espèce (Liegeois, 2021).

- **Abdomen**

L'abdomen des larves de Culicidae est composé de neuf segments, les sept premiers sont similaires, tandis que les huitième et neuvième segment présentent des particularités distinctes. Le huitième segment porte un peigne anal composé d'épines et de nombres variables, un critère important en systématique, le neuvième segment, qui correspond à la région anale, comprend une plaque sclérifiée (la selle) et plusieurs soies, dont l'une forme une brosse ventrale facilitant les déplacements. Il possède également deux paires de papilles anales impliquées dans l'équilibre osmotique. Enfin, le siphon respiratoire est muni d'épines

et de soies, dont la forme et la disposition sont utilisées pour l'identification des espèces (Chahed, 2022).

- ✓ **Stade Nymphal**

La nymphe du moustique est une phase de transition aquatique précédant l'émergence de l'adulte. Son corps se compose d'un céphalothorax globuleux regroupant la tête et le thorax, ainsi que d'un abdomen segmenté terminé par des palettes natatoires (Oussad, 2022).

Cette phase dure de 2 à 5 jours, au cours desquels la nymphe subit d'importantes transformations morphologiques et physiologiques sans s'alimenter. Elle respire grâce à des trompettes situées sur le céphalothorax, dont la forme varie selon les sous-familles : courtes et larges chez Anophelinae, longues et étroites chez Culicinae (Chahed, 2022).

La nymphe se déplace par des contractions abdominales brusques qui lui permettent d'échapper aux prédateurs, Un dimorphisme sexuel est observable : les mâles, plus petits, se développent plus rapidement et présentent des organes génitaux visibles ventralement entre les palettes natatoires (Dris, 2019).

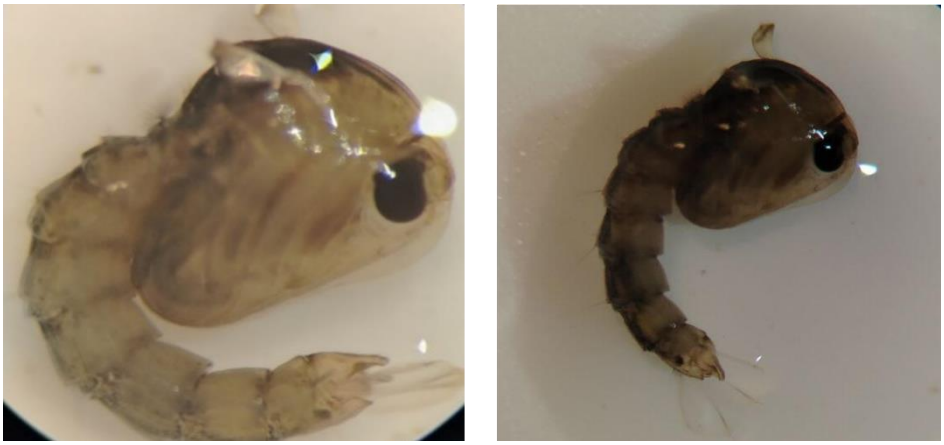


Figure 4. Nymphe de *C. longiareolata* (photo personnelle 2025)

- ✓ **Stade Adulte**

À la fin du stade nymphal, le tégument de la nymphe se fissure le long d'une ligne dorsale longitudinale, permettant l'émergence progressive du moustique adulte. Il libère successivement son thorax, sa tête, ses pattes et son abdomen, abandonnant ainsi son exuvie nymphale dans l'eau. Ce processus, appelé émergence, dure environ 15 minutes.

Les mâles atteignent leur maturité sexuelle en une journée, tandis que les femelles nécessitent entre un et deux jours (Guenez, 2020), Ils possèdent un corps mince qui se divise en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen. Au niveau de la tête, l'imago se différencie

des autres familles de diptères par des antennes longues, fines et articulées (Dris, 2019). Leur différenciation repose sur des caractéristiques visibles : les palpes maxillaires sont courts et effilés chez la femelle, tandis qu'ils sont plus longs que la trompe chez le mâle. De plus, les antennes du mâle sont plus développées et couvertes de nombreuses soies, La durée de vie des moustiques adultes varie d'une semaine à plus d'un mois (Guenez, 2020).

Les moustiques mâles et femelles se nourrissent en aspirant diverses substances sucrées d'origine végétale. Cependant, les femelles doivent ingérer du sang (insecte hématophage) pour assurer le développement de leurs œufs (cycle gonotrophique) (Hamaidia, 2014).



Figure 5. Adulte de *C. longiareolata* (photo personnelle 2025)

II.1.3.4. Technique d'élevage

Des larves et des œufs de moustiques *C. longiareolata* ont été recueillis durant les mois de février, mars et avril 2025 dans différentes zones de la ville de Tébessa, notamment à Boulhaf, Hammamet et Dokain.



Figure 6. Sites de collecte des moustiques (photo personnelle 2025)

Afin d'assurer leur développement, les larves ont été élevées dans des récipients contenant 150 ml d'eau déchlorurée. Elles ont reçu une alimentation spécifique composée de 75 % de biscuit et 25 % de levure, à raison de 0,04 g par récipient, selon la méthode décrite par Tine-Djebbar *et al*. (2016). L'eau a été renouvelée tous les deux jours afin de maintenir des conditions optimales de croissance (Seghier, 2022).



Figure 7. Étapes de la préparation des moustiques en laboratoire

(Photo personnelle 2025).

II.2. Matériel végétale

II.2.1. Présentation de la famille des Rutacées

Les Rutacées forment une vaste famille regroupant environ 162 genres et 2 085 espèces, ce qui en fait la plus diversifiée des Sapindales**.** Elles présentent une large diversité morphologique et une répartition quasi mondiale (Groppo *et al*., 2022 ; Liu *et al*., 2023), bien qu'elles soient principalement distribuées dans les régions tropicales et subtropicales. Cette famille affiche un taux élevé d'endémisme, notamment en Afrique australe, en Australasie ainsi qu'en Amérique centrale et du Sud (Appelhans *et al*., 2021). Elle rassemble une grande variété d'arbustes, de plantes grimpantes et d'arbres, facilement reconnaissables à leur arôme caractéristique rappelant les agrumes ou le citron vert, qui se dégage lorsqu'on brise leurs branches, leurs fruits ou lorsqu'on froisse leurs feuilles (Badhusha *et al*., 2020).

Les Rutacées sont également appréciées pour leurs composés aux propriétés antimicrobiennes et antifongiques, largement exploités dans la fabrication de pesticides, d'herbicides et d'agents antimicrobiens. Par ailleurs, plusieurs de ces composés sont reconnus pour leurs vertus thérapeutiques (Groppo *et al*., 2022).

II.2.2. Présentation de genre *Ruta*

Le genre *Ruta*, appartenant à la famille des Rutaceae**,** est originaire de la zone méditerranéenne. Réputé pour son usage en médecine traditionnelle, il est aujourd'hui cultivé dans diverses régions du monde pour ses propriétés thérapeutiques (Mohammedi *et al*., 2019). Selon divers auteurs, le nombre d'espèces de *Ruta* pourrait fluctuer entre huit et 160 (Nahar *et al*., 2021).

En Algérie, il est représenté par cinq espèces : *Ruta montana*, *Ruta chalepensis*, *Ruta graveolens, Ruta angustifolia* et *Ruta tuberculata* (Mohammedi *et al*., 2019), qui se différencient par l'apparence des feuilles, la disposition des grappes de fruits, ainsi que la forme des bractées et des sépales (Kara Ali, 2017).

Notre recherche portant sur *Ruta montana* et *Ruta graveolens*, voici la classification systématique selon Bonnier (1999) :

Tableau. 2 Classification systématique de genre *Ruta*

Règne	Végétale
Sous Embranchement	Angiosperm
Classe	Dicotylédone
Sous classe	Dialypétales
Ordre	Rutales
Famille	Rutaceae
Genre	*Ruta*
Espèce	*R. montana R. graveolens*

II.2.3. Présentation de *Ruta montana*

II.2.3.1. Définition de *R. montana*

R. montana, également appelée Rue de montagne ou Fidjel en Algérie (Mohammedi *et al*.,2019), appartient à la famille des Rutacées (Zeraib *et al*., 2021). Cette plante, qui se développe principalement dans les zones arides, pousse naturellement dans plusieurs pays, notamment au Portugal, en Grèce, en Turquie, ainsi qu'en Algérie, en Tunisie et au Maroc (Mohammedi *et al*., 2019 ; Drioiche *et al*., 2020).

En médecine traditionnelle, *R. montana* est reconnue pour ses nombreuses vertus thérapeutiques, notamment ses effets hypoglycémiants**,** antirhumatismaux**,** anthelminthiques**,** antiépileptiques**,** antispasmodiques**,** diurétiques et antipyrétiques (Mohammedi *et al.*, 2019). Son utilisation en médecine populaire varie selon l'affection traitée : en fumigation, elle apaise la toux persistante ; en infusion dans du lait, elle est utilisée pour soulager les troubles du système reproducteur féminin ; lorsqu'elle est infusée dans de l'huile d'olive, elle est appliquée pour atténuer les douleurs et les affections rhumatismales. De plus, ses décoctions sont utilisées en gouttes pour traiter les ulcères cornéens et les otites (Zeraib *et al.*, 2021).

Ses bienfaits sont attribués à sa richesse en composés bioactifs**,** notamment des alcaloïdes**,** coumarines, flavonoïdes, tanins et huiles essentielles, qui lui confèrent des propriétés antifongiques, antibactériennes, antioxydantes, ainsi qu'un effet insecticide et larvicide (Mohammedi *et al.*, 2019).

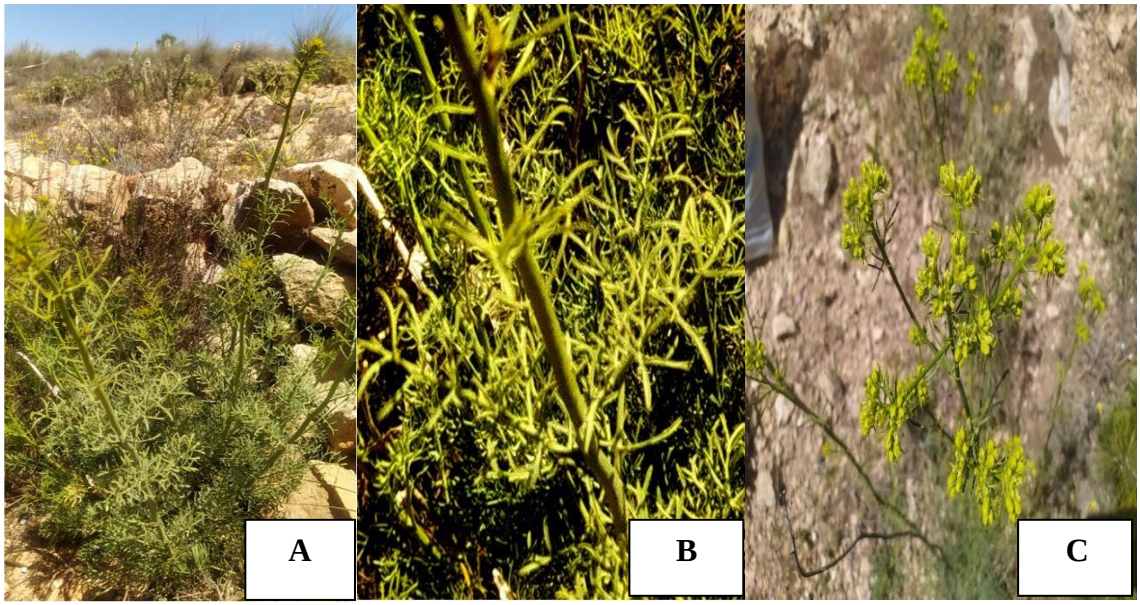


Figure 8: (A) la plante de *R. montana* (B) les feuilles (C) les fleurs (photos personnelles,2025)

II.2.3.2. Nomenclature

R. montana est une espèce qui se décline sous divers noms vernaculaires, tels que Fijel en arabe (Benkhaira *et al.*, 2022) et Awermi en berbère (Drioiche *et al.*, 2020). En français, elle est appelée rue des montagnes, et en anglais mountain rue**.** Il a été déterminé que l'appellation vernaculaire de cette plante varie selon les pays ou les régions. En effet, *R. montana* peut être désignée par différents noms, tels que Fidjel, Fijel, El Fijel, Aourmi ou Awermi (utilisés notamment au Maroc, en Tunisie et en Algérie), Sedef (en Turquie), Arruda (au Portugal), et Ruda de jardín (en Espagne) (Benkhaira *et al.*, 2022).

II.2.3.3. Caractéristiques botaniques

R. montana est un arbuste à feuilles persistantes, mesurant entre 20 et 60 cm de hauteur (Benkhaira *et al.*, 2022). Il est très ramifié et ligneux à la base (Allouni, 2018). Ses feuilles, triangulaires et fines, possèdent une saveur particulièrement amère et âcre (Kara Ali, 2017). Ses fleurs, petites et jaunes, présentent deux verticilles d'étamines et sont bisexuées. Les fruits, quant à eux, sont capsulaires et composés de quatre lobes arrondis. La plante se distingue également par une forte odeur nauséabonde, due à une huile essentielle stockée dans d'imposants sacs glandulaires (Benkhaira *et al.*, 2022).

II.2.3.4. Composition chimique du *R. montana*

R. montana contient plusieurs types de composés chimiques. Elle est particulièrement riche en coumarines**,** présentes dans toutes les parties de la plante, notamment dans les fruits et les huiles essentielles des graines. Elle renferme également des flavonoïdes, tels que la rutine et

la quercétine**,** ainsi que des lignanes, dont la savinine et la saventinine. Ses huiles volatiles sont principalement constituées de monoterpènes oxygénés, avec des composants tels que la 2-undécanone, la 2-nonanone et l'acétate de 2-nonanol. Enfin, elle contient des alcaloïdes, des substances azotées complexes fréquemment retrouvées dans le genre *Ruta* (Allouni, 2018).

II.2.3.5. Activités biologiques de *R. montana*

- **Activité antioxydante**

L'extrait méthanolique des feuilles de *R. montana* a montré une excellente activité antioxydante, grâce à sa richesse en composés phénoliques et en tanins. Bien que son pouvoir antioxydant soit inférieur à celui de l'acide ascorbique, les extraits aqueux et éthanoliques se sont révélés plus actifs que les huiles essentielles, confirmant ainsi le potentiel de *R. montana* comme source naturelle d'antioxydants (Allouni, 2018).

- **Activité antibactérienne**

Les alcaloïdes totaux de *R. montana* ont montré un effet inhibiteur significatif sur les souches bactériennes testées, surpassant l'activité observée avec les extraits méthanoliques (Allouni, 2018).

- **Activité antifongique**

Les extraits méthanoliques et les alcaloïdes totaux de *R. montana* ont démontré une activité antifongique variable, allant de modérée à significative selon les souches testées (Allouni, 2018).

- **Activité antidiabétique**

L'extrait aqueux de *R. montana* améliore la tolérance au glucose et réduit l'hyperglycémie chez les rats diabétiques, avec des effets notables observés après l'ingestion de glucose et après 15 jours de traitement (Benkhaira *et al*., 2022).

- **Activité anticancéreuse**

L'extrait méthanolique de *R. montana* potentialise l'effet de la doxorubicine contre les cellules cancéreuses ovariennes résistantes, en améliorant leur sensibilité au traitement (Benkhaira *et al*., 2022).

- **Activité anti-acétylcholinestérase (AChE)**

Les extraits de *R. montana* inhibent significativement l'enzyme acétylcholinestérase (AChE), soutenant son usage traditionnel dans le traitement des troubles neurologiques.

L'effet le plus marqué a été observé avec l'extrait éthanolique des tiges (Benkhaira *et al*., 2022).

- **Activités insecticide et larvicide**

L'huile essentielle de *R. montana* démontre une toxicité élevée contre plusieurs insectes, notamment le cafard allemand et les moustiques, entraînant des taux de mortalité élevés en un temps réduit (Benkhaira *et al*., 2022).

II.2.3.6. Toxicité de *R. montana*

Certaines plantes utilisées en médecine traditionnelle ou en alimentation peuvent être toxiques, en raison de leurs composants chimiques, du mode d'administration ou de la dose ingérée. Une étude ethnobotanique menée sur les plantes médicinales toxiques du Haut Atlas central du Maroc a indiqué que *R. montana* pouvait provoquer des irritations cutanées. Une autre étude a rapporté un cas d'intoxication chez une femme de 74 ans après l'ingestion à haute dose d'infusions de feuilles et de tiges de *R. montana*. Un autre rapport concernant une intoxication par cette plante a mentionné des symptômes débutant par une insuffisance respiratoire et des troubles digestifs (douleurs abdominales, vomissements, hypersalivation), accompagnés d'excitation neurologique et de convulsions (Benkhaira *et al*., 2022).

II.2.4. Présentation de *Ruta graveolens*

II.2.4.1. Définition de *R. graveolens*

R. *graveolens*, appartenant à la famille des Rutacées, est une plante herbacée présente dans les régions tropicales et tempérées du monde, notamment en Amérique du Sud et en Europe du Sud. Originaire du bassin méditerranéen (Mahmoud *et al*., 2020), elle est largement utilisée dans l'alimentation, la cosmétique et la pharmacie pour ses propriétés aromatiques, antioxydantes et antimicrobiennes. Elle est également cultivée comme plante ornementale, mais son usage le plus notable reste en médecine traditionnelle pour ses bienfaits thérapeutiques (Luo *et al*., 2024).

En médecine Unani, elle est reconnue pour ses effets abortifs et est utilisée contre le vitiligo, les inflammations, ainsi que pour améliorer la circulation sanguine et soulager les douleurs articulaires (Ainiwaer *et al*., 2023). En Amérique latine, elle est principalement connue pour ses propriétés abortives (Luo *et al*., 2024). En médecine traditionnelle chinoise, elle est employée pour traiter le psoriasis, le vitiligo et le lymphome (Ainiwaer *et al*., 2023).

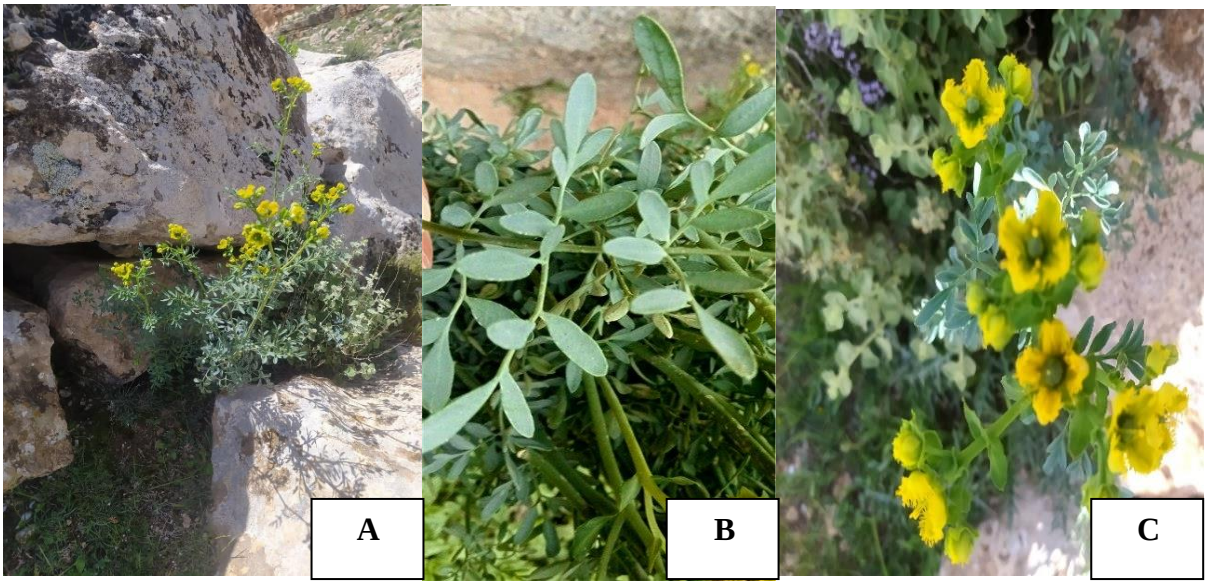


Figure 9. (A) la plante de *R. graveolens* (B) les feuilles (C) les fleurs (photos personnelles, 2025)

II.2.4.2. Nomenclature

Cette plante est connue sous différents noms selon les langues : en hindi, elle est désignée sous les noms de satab ousadab (Sharma, 2022) ; en anglais, elle porte le nom de rue ; en arabe, elle est appelée sodaab (Saeed *et al.*, 2023) ; et en français, on l'appelle rue de jardin (Sharma, 2022).

II.2.4.3. Caractéristiques botaniques

R. graveolens se distingue par son feuillage de couleur bleu-vert à vert glauque, ponctué de glandes et disposé de manière alterne. Ses feuilles, bipennées ou tripennées, lui confèrent un aspect plumeux, tandis que ses folioles, de forme linéaire-ovale ou oblongue, sont également riches en huiles essentielles et en composés bioactifs, notamment des phénols, flavonoïdes, alcaloïdes et saponines (Mahmoud *et al.*, 2020 ; Mokhtar *et al.*, 2022).

Ses fleurs bisexuées et régulières, de couleur jaune, possèdent 4 à 5 pétales largement étalés et distincts, attachés à une base étroite et présentant des bords ondulés ou dentés. Elles sont regroupées en cymes, avec une distinction entre les fleurs terminales pentamères et les autres tétramères (Mokhtar *et al.*, 2022).

Après la floraison, la plante produit un fruit de 6 à 10 mm, partiellement fendu au sommet et portant des glandes à huile. Ses graines, abondantes, sont réniformes, mesurent environ 1,5 mm et sont de couleur brun foncé (Luo *et al.*, 2024). Sa tige, fine et lisse, peut atteindre un mètre de hauteur et affiche une teinte vert glauque pâle (Mokhtar *et al.*, 2022).

II.2.4.4. Composition chimique de *R. graveolens*

R. graveolens renferme divers composés bioactifs, notamment des coumarines (imperatorine, bergaptène, xanthotoxine, psoralène, isoimperatorine), de la rutine, ainsi que des saponines, phénols, flavonoïdes, acides aminés et alcaloïdes. On y trouve aussi des dérivés d'acridone comme la rutacridone et le gravacridondiol. Son huile essentielle, extraite par distillation à la vapeur, est riche en composés oxygénés, principalement l'acétate de 2-nonyle, la 2-undécanone et la 2-nonanone (Badhusha *et al*., 2020).

II.2.4.5. Activitées biologiques de *R. graveolens*

- **Activité schistosomicide**

L'extrait de *R. graveolens* a montré une forte activité contre *Schistosoma mansoni* adulte, entraînant la mort totale des vers et réduisant leur motilité, sans toxicité pour les cellules humaines. Son effet sur *Leishmania braziliensis* était limité (Badhusha *et al*., 2020).

- **Activité antimicrobienne**

L'huile essentielle de la plante a démontré une action contre *E. coli* et *Staphylococcus aureus*. Elle a également provoqué des modifications morphologiques sur *Candida albicans* et inhibé la formation de tubes germinatifs (Badhusha *et al*., 2020).

- **Activité antioxydante**

L'extrait de *R. graveolens* possède une puissante activité antioxydante grâce à sa teneur élevée en rutine et en acide syringique, qui neutralisent les radicaux libres et renforcent les mécanismes de défense cellulaire (Mokhtar *et al*., 2022).

- **Effet antihyperglycémique**

Une amélioration des niveaux de glucose et de lipides dans le sang a été observée chez les rats diabétiques de type 2, accompagnée d'une meilleure absorption du glucose (Badhusha *et al*., 2020).

- **Activité anti-cancéreuse**

Les furanoacridones extraites de *R. graveolens* ont inhibé la prolifération des cellules A431, MCF-7 et HeLa, avec une efficacité maximale pour l'arborinine, favorisant l'apoptose en fonction de leur solubilité lipidique (Badhusha *et al*., 2020).

- **Action anti-inflammatoire**

R. graveolens présente une puissante action anti-inflammatoire, surpassant parfois certains médicaments. Cet effet est principalement lié à la rutine, qui limite la peroxydation lipidique, atténue le stress oxydatif et libère de la quercétine, empêchant l'activation du NF-kappa B (Mokhtar *et al*., 2022).

- **Effet antidiarrhéique**

Les extraits éthanoliques des feuilles et des tiges ont montré une efficacité contre la diarrhée induite par l'huile de ricin, l'extrait des feuilles étant le plus actif, comparable au diphénoxylate/sulfate d'atropine (Badhusha *et al*., 2020).

- **Activité larvicide**

L'huile essentielle a révélé une toxicité élevée contre *Aedes aegypti* et *Anopheles stephensi*, avec une mortalité de 100 % pour ce dernier grâce à l'extrait d'éther de pétrole, confirmée par chromatographie sur couche mince (Badhusha *et al*., 2020).

II.2.4.6. Toxicité de *R. graveolens*

R. graveolens est connue pour provoquer une dermatite photosensible et possède des propriétés abortives pouvant entraîner des saignements et des inflammations utérines. Par conséquent, son utilisation doit être prudente, en particulier chez les femmes enceintes, chez qui elle est strictement contre-indiquée. Bien que certaines études n'aient pas observé de toxicité aiguë, il est supposé que le séchage de la plante réduit la teneur en huiles volatiles, telles que la méthyl-nonyl-cétone, potentiellement responsable des hémorragies utérines. Par ailleurs, un cas de toxicité cardiaque, rénale, hépatique ainsi que des troubles de la coagulation a été rapporté, soulignant le potentiel toxique de cette plante pour plusieurs organes (Luo *et al*., 2024).

II.3. Les Huiles essentielles

II.3.1. Définition des huiles essentielles

Les huiles essentielles, également appelées huiles volatiles (Bouzid, 2018 ; Djousse *et al*., 2022), sont des substances liquides ou semi-liquides extraites des plantes (Nieto, 2017) après séparation de la phase aqueuse (Kharoubi, 2020), principalement par distillation à la

vapeur (Nieto, 2017). Généralement claires et peu colorées, elles sont responsables des odeurs caractéristiques des végétaux. Solubles dans les solvants organiques, leur production reste limitée en raison de la faible teneur en huile des plantes aromatiques, avec un rendement souvent inférieur à 1 %, ce qui les rend précieuses (Djousse *et al*., 2022).

Ces huiles sont composées de 50 à 100 molécules différentes, parfois jusqu'à 300, qui agissent en synergie pour leur conférer leurs propriétés uniques. Leur composition biochimique, naturellement variable, ne peut être reproduite artificiellement en laboratoire. Cette complexité explique leur efficacité contre les bactéries, les champignons, les virus et les insectes (Kharoubi, 2020).

Appréciées pour leurs propriétés médicinales (antibactériennes, antivirales, antifongiques et antioxydantes), elles jouent également un rôle dans la conservation des aliments. Cependant, une mauvaise utilisation peut entraîner des effets indésirables tels que des irritations cutanées, des maux de tête ou des nausées. Certaines huiles essentielles, considérées comme potentiellement cancérigènes, nécessitent une grande prudence, notamment en cas d'ingestion. À des doses inappropriées, elles peuvent causer des dommages hépatiques ou gastriques, aussi bien chez l'homme que chez l'animal (Liaqat *et al*., 2018).

II.3.2. Origine des huiles essentielles

L'accumulation et la biosynthèse des huiles essentielles se produisent généralement au sein de structures histologiques spécialisées, souvent localisées à la surface des plantes. Ces composés sont synthétisés par des cellules glandulaires spécialisées, recouvertes d'une cuticule, puis stockés dans des poches sécrétrices, une caractéristique notamment observée chez les Rutaceae (Bouzid, 2018). Les huiles essentielles peuvent être présentes dans divers organes végétaux, tels que les feuilles, les fleurs, les écorces ou les racines (Dhifi *et al*., 2016).

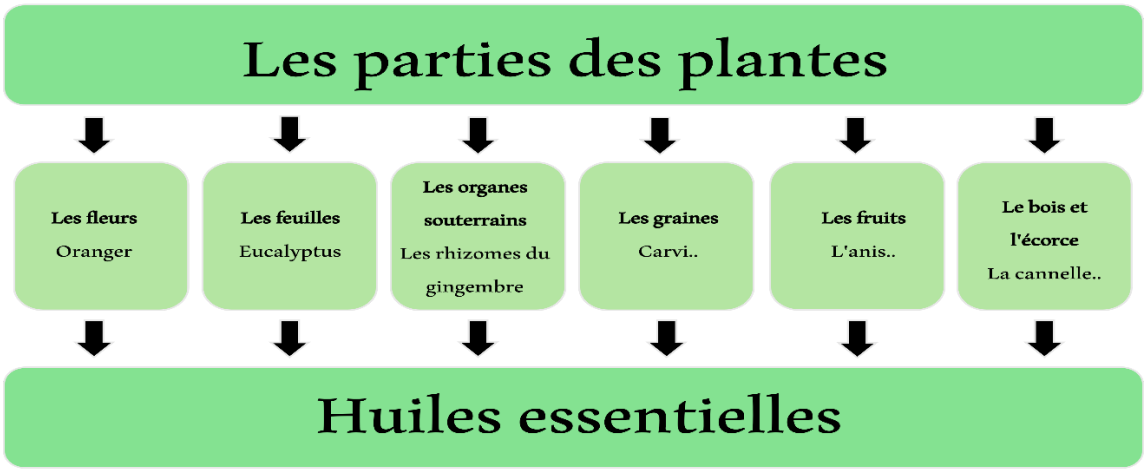


Figure 10. Huiles essentielles issues de différentes parties de la plante (photo personnelle, 2025)

II.3.3. Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles constituent un mélange complexe de divers composés (Nahar *et al*., 2021), principalement classés en deux grandes familles selon leur voie métabolique : les terpènes (ou isoprénoïdes), issus de la voie du mévalonate, et les phénylpropanoïdes, dérivés de la voie du shikimate (Dris, 2019 ; Sousa *et al*., 2022). Leur classification chimique repose sur quatre critères principaux : l'origine biosynthétique, la taille de la chaîne carbonée, la structure moléculaire de base et le degré d'oxydation (Sadgrove *et al*., 2022). Cette diversité structurale leur confère des propriétés biologiques et pharmacologiques particulièrement intéressantes (Sousa *et al*., 2022).

- **Les terpènes**

Les terpènes constituent l'une des plus vastes familles de produits naturels, caractérisés par une remarquable diversité structurelle comprenant plus de 50 000 molécules (Sousa *et al*., 2023). Ces composés, formés d'unités d'isoprène (C_5H_8), sont classés selon le nombre de ces unités de base : les hémiterpènes (C_5), monoterpènes (C_{10}), sesquiterpènes (C_{15}), diterpènes (C_{20}), sesterterpènes (C_{25}), triterpènes (C_{30}), ainsi que les tétraterpènes et polyterpènes (C_{40}) (Dalia, 2022).

- **Les phénylpropanoïdes**

Les phénylpropanoïdes forment une importante classe de métabolites secondaires végétaux, caractérisés par un noyau aromatique et d'une chaîne latérale de trois carbones. Leur biosynthèse débute avec l'acide shikimique, précurseur des acides cinnamique et p-coumarique. Ces derniers subissent diverses modifications enzymatiques : réductions menant

aux propenylbenzènes et allylbenzènes, ou oxydations avec dégradation de la chaîne latérale aboutissant aux aldéhydes aromatiques (Sousa *et al*., 2022).

II.3.4. Activités liées aux huiles essentielles

- **Activité antioxydante**

Les huiles essentielles sont utilisées comme alternative naturelle aux antioxydants synthétiques dans l'industrie alimentaire, grâce à leurs composés phénoliques qui inhibent les réactions oxydatives. Leur efficacité varie selon la plante, les méthodes d'extraction et la composition chimique. Ils sont riches en thymol et carvacrol montrent une bonne activité antioxydante, bien qu'inférieure à celle des antioxydants synthétiques (Nieto, 2017).

- **Activité répulsive et insecticide**

Les huiles essentielles présentent une activité répulsive et insecticide, offrant une solution efficace pour lutter contre les insectes. Leur commercialisation dépend cependant de facteurs tels que la réglementation, la propriété intellectuelle et leur performance biologique. Leur toxicité ne se limite pas aux insectes des denrées stockées, mais s'étend également aux insectes volants, Les insectes absorbent ces huiles par inhalation, ingestion ou contact cutané (Dhifi *et al*., 2016).

- **Activité antibactérienne**

Les huiles essentielles possèdent des propriétés antibactériennes en agissant sur plusieurs composants des bactéries, comme la membrane plasmique, la paroi cellulaire et la synthèse des protéines. Elles entraînent des ruptures de membranes, des déformations cellulaires et perturbent des fonctions essentielles telles que la production d'ATP (Sousa *et al*., 2023).

- **Activité antifongique**

Les huiles essentielles sont reconnues pour leur fort pouvoir antifongique, agissant en altérant la perméabilité des membranes cellulaires des champignons et en inhibant leur croissance. Leur mécanisme d'action implique l'infiltration des membranes fongiques, provoquant des perturbations cellulaires et une réduction des composants essentiels à leur survie. De plus, elles inhibent certaines enzymes responsables de la dégradation des parois cellulaires végétales, amplifiant ainsi leur efficacité. Enfin, elles induisent l'apoptose des cellules fongiques en perturbant la production d'ATP et en détruisant les structures mitochondriales, entraînant leur élimination (Bouzid, 2018).

- **Activité anti-inflammatoire**

Les huiles essentielles sont de plus en plus utilisées en clinique pour traiter des maladies inflammatoires comme les rhumatismes, les allergies ou l'arthrite. L'activité anti-inflammatoire des huiles essentielles est attribuée non seulement à leur pouvoir antioxydant,

mais aussi à leur interaction avec les cascades de signalisation impliquant les cytokines, les facteurs de transcription régulateurs et l'expression des gènes pro-inflammatoires. Ainsi, elles représentent une option prometteuse pour le traitement des maladies inflammatoires (Dhifi *et al*., 2016).

II.3.5. Toxicité des huiles essentielles

Les huiles essentielles, bien que naturelles, peuvent présenter une toxicité importante en cas de mauvaise utilisation : le menthol (présent dans certaines menthes) provoque à fortes doses des troubles digestifs, neurologiques et même un coma ; la thujone (contenue dans les huiles d'Artemisia et de Thuja) est neurotoxique et peut induire des convulsions ; tandis que la pulégone (de certaines menthes) s'avère hépatotoxique, causant de graves lésions au foie. Ces exemples illustrent la nécessité d'un usage rigoureusement encadré des huiles essentielles pour prévenir tout effet indésirable (Bouyahya *et al*., 2016).

II.3.6. Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles est une opération délicate visant à isoler les composés volatils sans altérer leurs propriétés (Boukhatem *et al.*, 2019). La méthode employée joue un rôle crucial, car une technique inappropriée peut altérer les phytocomposés et modifier ainsi les propriétés, l'odeur, la saveur et l'apparence de l'huile obtenue (Aziz *et al*., 2018). Pour cette raison, diverses techniques ont été développées afin d'extraire les huiles essentielles des plantes médicinales, chacune influençant directement la qualité du produit final. Parmi les plus courantes, on retrouve la distillation à la vapeur d'eau, l'hydrodistillation, la pression à froid, l'extraction par solvant organique et l'extraction assistée par micro-ondes (Boukhatem *et al*., 2019).

II.3.7. Principes de l'hydrodistillation

L'hydrodistillation est une méthode d'extraction largement utilisée en raison de sa rapidité et de son efficacité à préserver les huiles essentielles sensibles. Ce procédé repose sur une distillation hétérogène régie par l'application de deux lois physiques (Dris, 2019).

Le procédé implique le chauffage d'un mélange eau-matière végétale dans un appareil de type Clevenger préalablement dégraissé à l'acétone et rincé à l'eau distillée pour éliminer toute impureté pouvant altérer la qualité de l'huile essentielle, provoquant la rupture des cellules de la plante et la libération des composés aromatiques. Ces derniers sont entraînés par la vapeur d'eau, puis refroidis dans un condenseur à eau où ils se liquéfient, permettant ainsi la récupération de l'huile essentielle dans un récipient dédié (Mahboub *et al*., 2019).

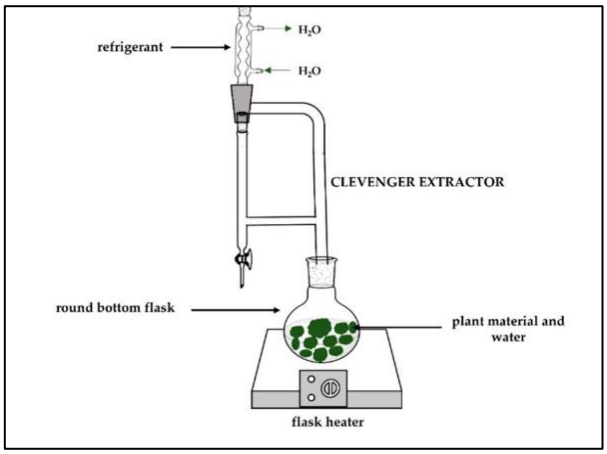


Figure 11. Représentation schématique de l'hydrodistillation (Sousa *et al*., 2022)

II.3.8. Récolte de la plante et élaboration de son huile essentielle

Les plantes de *R. graveolens* et *R. montana* ont été récoltées entre mars et mai 2025 dans la région de Tébessa. Après un séchage à l'air libre et à l'ombre, 150g de feuilles séchées de chaque plante ont été soumis à une hydrodistillation à l'aide d'un appareil Clevenger pendant trois heures. Les huiles essentielles recueillies ont été filtrées en présence de sulfate de sodium (Na_2SO_4) pour éliminer les traces d'eau résiduelle, puis conservées dans des flacons hermétiques à l'abri de la lumière à 4 °C afin de garantir leur conservation jusqu'à leur utilisation.



Figure 12. Hydrodistillation (photo personnelle, 2025)

II.3.9. Rendement des huiles essentielles

Le rendement en huile essentielle est défini comme le rapport entre la masse d'huile essentielle extraite et la masse de matière végétale sèche utilisée, conformément à la norme AFNOR (1987). Il est calculé à partir de trois extractions indépendantes, afin de garantir la reproductibilité des résultats, et il est exprimé en pourcentage. Le rendement est déterminé selon la formule suivante :

$$\mathbf{R=PB/PA\ X\ 100} \qquad \text{ou} \qquad \mathbf{R = [\Sigma P_B/\Sigma P_A] \times 100}$$

R : représente le rendement en huile essentielle **(%)**

P_B : est la masse d'huile extraite **(g)**

P_A: est la masse de la matière sèche de la plante **(g)**

II.3.10. Extraction et dosage des constituants biochimiques

L'extraction et le dosage des principaux constituants biochimiques (protéines, glucides et lipides) ont été réalisés chez des individus traités avec la CL_{50} (2,5 µl), déterminée précédemment par Grabsi & Brakni (2024), ainsi que chez les témoins. Les prélèvements ont été effectués au stade larvaire (L4).

Chaque échantillon a été placé dans un tube Eppendorf contenant 1 mL d'acide trichloracétique (TCA) à 20 %. L'extraction a été réalisée selon la méthode décrite par Shibko *et al*. (1966), avec une homogénéisation par ultrasons suivie d'une centrifugation. La première centrifugation (5 000 tr/min, 4°C, 10 minutes) a permis d'obtenir un premier surnageant (surnageant I), utilisé pour le dosage des glucides totaux selon la méthode de Duchateau & Florkin (1959). Le culot obtenu (culot I) a ensuite été traité avec 1 mL d'un mélange éther/chloroforme (1:1, v/v), puis soumis à une seconde centrifugation (5 000 tr/min, 10 minutes). Cette étape a permis de séparer le surnageant II, utilisé pour le dosage des lipides selon la méthode de Goldsworthy *et al*. (1972), et le culot II, dissous dans une solution de soude (NaOH 0,1 N) pour le dosage des protéines selon la méthode de Bradford (1976).

II.3.10.1. Dosage des glucides totaux

Le dosage des glucides totaux a été effectué selon la méthode de Duchateau et Florkin (1959), basée sur la réaction colorimétrique à l'Anthrone. Pour chaque échantillon, 100 µL du surnageant I ont été introduits dans un tube à essai, auxquels ont été ajoutés 4 mL de réactif d'Anthrone. Le mélange a ensuite été chauffé au bain-marie à 80 °C pendant 10 minutes, ce qui provoque l'apparition d'une coloration verte, dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration en glucides présents dans l'échantillon. L'absorbance de chaque échantillon a été mesurée à 620 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La gamme

d'étalonnage est préparée à partir d'une solution mère de glucose ayant une concentration de 1 mg/ml **(**Tableau 3**).**

Tableau. 3 Dosage des glucides totaux chez les moustiques : Réalisation de la gamme d'étalonnage des glucides.

Tubes	1	2	3	4	5	6
Solution mère de glucose (µl)	00	20	40	60	80	100
Eau distillée (µl)	100	80	60	40	20	00
Réactif d'anthrone (ml)	4	4	4	4	4	4

II.3.10.2. Dosage des lipides totaux

Les lipides totaux ont été quantifiés selon la méthode de Goldsworthy *et al*. (1972), en utilisant le réactif sulfophosphovanillinique. Pour chaque échantillon ou solution étalon, un volume de 100 µL d'extrait lipidique est prélevé, puis le solvant est entièrement évaporé. Ensuite, 1 mL d'acide sulfurique concentré est ajouté au résidu. Les tubes sont alors agités et placés pendant 10 minutes dans un bain de sable préchauffé à 100 °C.Après refroidissement à température ambiante, 200 µL du mélange réactionnel sont transférés dans un nouveau tube contenant 2,5 mL de réactif sulfophosphovanillinique. Le mélange est incubé à l'obscurité pendant 30 minutes, permettant le développement d'une coloration rose caractéristique. L'absorbance est ensuite mesurée à 530 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La solution mère utilisée pour la courbe d'étalonnage est préparée en dissolvant 2,5 mg d'huile de tournesol (99 % triglycérides) dans 1 mL d'un mélange éther/chloroforme (1:1, v/v) (Tableau 4**).**

Tableau. 4 Dosage des lipides totaux chez les moustiques : Réalisation de la gamme d'étalonnage des lipides.

Tubes	1	2	3	4	5	6
Solution mère de lipides (µl)	00	20	40	60	80	100
Solvant (éther /chloroforme) (1V/1V)	100	80	60	40	20	00
Réactif de vanilline (ml)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

II.3.10.3. Dosage des protéines totales

Le dosage des protéines est réalisé selon la méthode de Bradford (1976). Pour ce faire, une fraction aliquote de 100 µl est mélangée à 4 ml de réactif au bleu de Coomassie brillant G-250 (Merck), qui se lie aux protéines en les colorant en bleu. L'absorbance de la solution est ensuite mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm. La

gamme d'étalonnage est établie à partir d'une solution d'albumine de sérum bovin (BSA) à une concentration de 1 mg/ml (Tableau 5)**.**

Tableau.5 Dosage des protéines totales chez les moustiques : Réalisation de la gamme d'étalonnage des protéines.

Tubes	1	2	3	4	5	6
Solution mère de BSA (µl)	00	20	40	60	80	100
Eau distillée (µl)	100	80	60	40	20	00
Réactif BBC (ml)	4	4	4	4	4	4

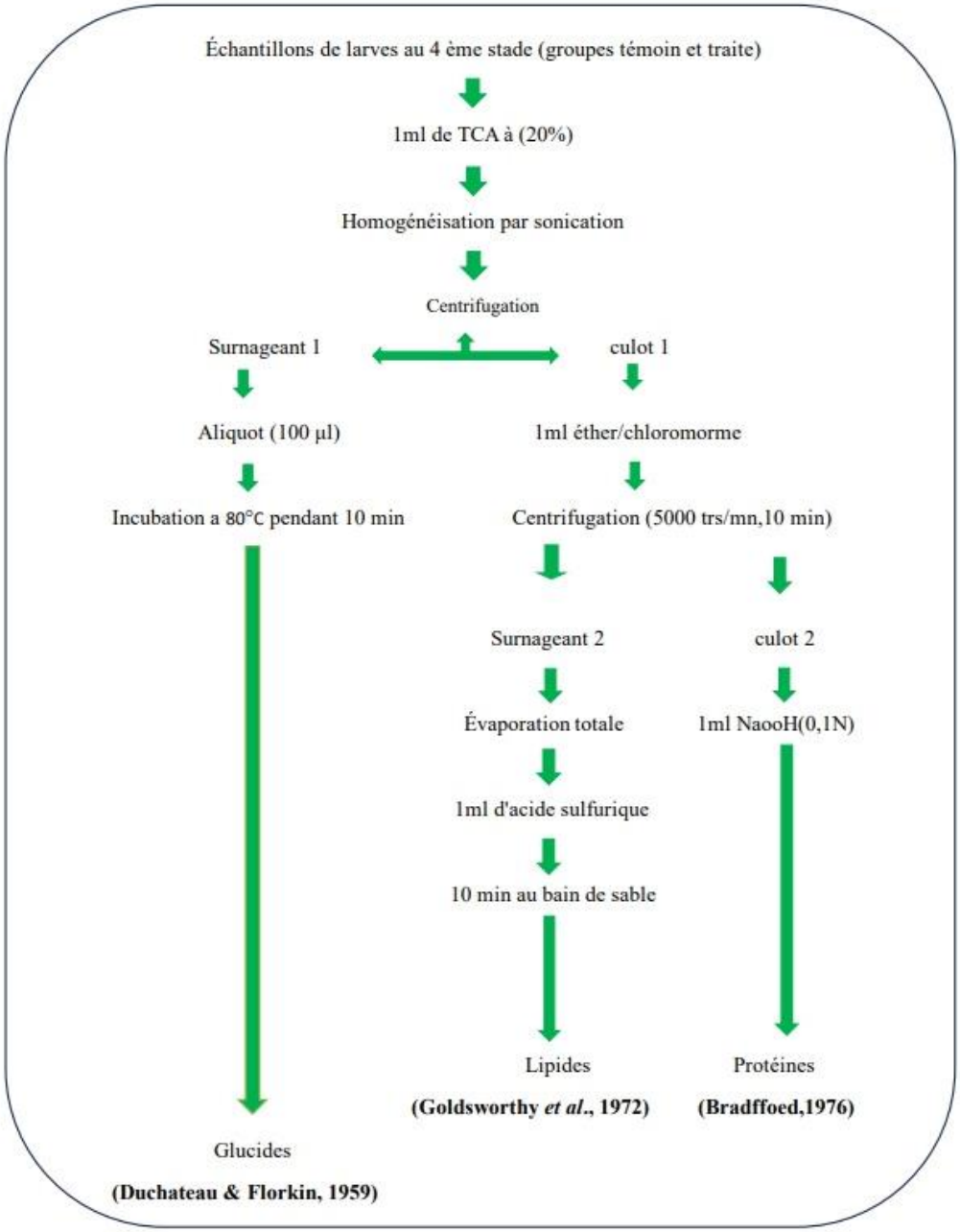


Figure 13. L'extraction des glucides, protéines et lipides totaux selon (Shibko *et al*., 1966)

II.3.11. Analyse statistique

Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne ± écart-type. Les comparaisons entre les groupes ont été effectuées à l'aide du test t de Student, en utilisant le logiciel GraphPad Prism version 7 (GraphPad Software, USA). Un seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$.

Résultats

III. Résultats

III.1. Détermination du rendement d'extraction

Les huiles essentielles de *R. graveolens* et *R. montana*, obtenues grâce à un hydrodistillateur Clevenger, présentent des liquides visqueux et clairs aux teintes jaunâtres. Elles dégagent une odeur intense et offrent un rendement de 0,47% et 0,52% respectivement de la matière sèche issue de la partie aérienne de la plante.

III.2. Impact du mélange sur la composition biochimique des moustiques

La concentration CL_{50} du mélange des huiles essentielles de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) a été appliquée sur les larves 4 nouvellement exuviées de *C. longiareolata*. Leur effet a été évalué sur la composition biochimique (protéines, glucides et lipides) à différentes périodes (24, 48 et 72 heures après traitement).

III.2.1. Effet 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 l'HE induisent une diminution hautement significative (p=0,005 et p=0,001) du contenu en protéines totales des larves 4 après 24 et 48h du traitement respectivement. Cette réduction est très hautement significative (p=0,000) après 72h.

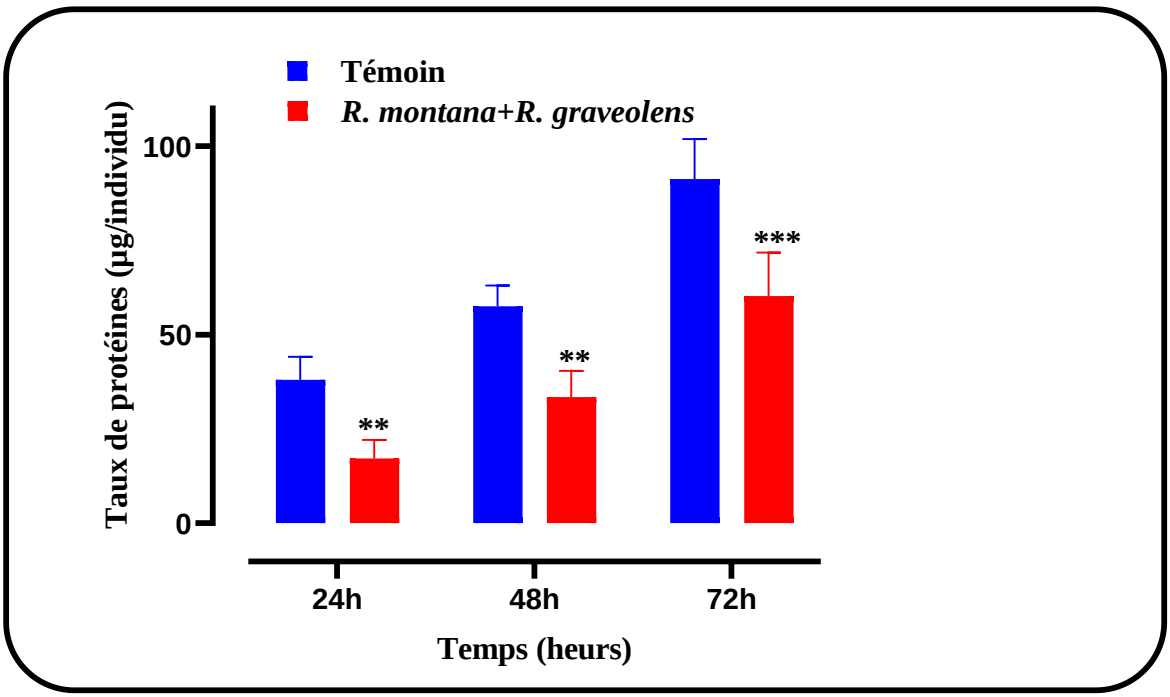


Figure 14. Effet de l'huile essentielle de *R. montana* et *R. graveolens* (V/V) (CL50) sur le contenu en protéine (µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4). (** Différence hautement significative (p<0,01) ; *** Différence très hautement significative (p<0,001) entre les séries témoins et traitées).

III.3.2. Effet du mélange sur le contenu en glucides totaux

Le contenu en glucides totaux 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 l'HE induisent une diminution non significative à 24h et 48h ($p>0,05$) et très hautement significative à 72h ($p=0,000$) du contenu en glucides totaux des larves 4 de *C. longiareolata* de traitement.

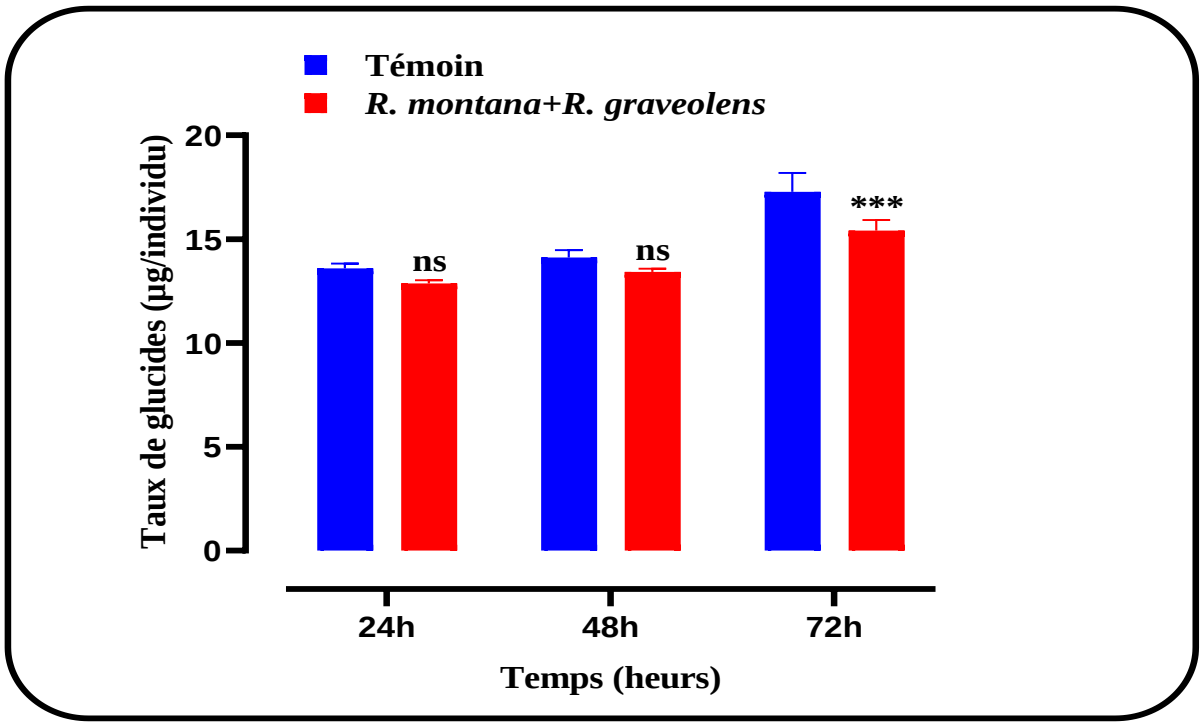


Figure 15. Effet de l'huile essentielle de CL_{50} sur le contenu en glucide (µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4). (ns Différence non significative ($p>0,05$) ; *** Différence très hautement significative ($p<0,001$) entre les séries témoins et traitées).

III.3.3. Effet du mélange sur le contenu en lipides totaux

Le contenu en lipides totaux 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 l'HE induise une diminution très hautement significative du contenu en lipides totaux des larves 4 de *C. longiareolata* à 24h, 48h et 72h de traitement ($p=0,000$) comparativement au séries témoins.

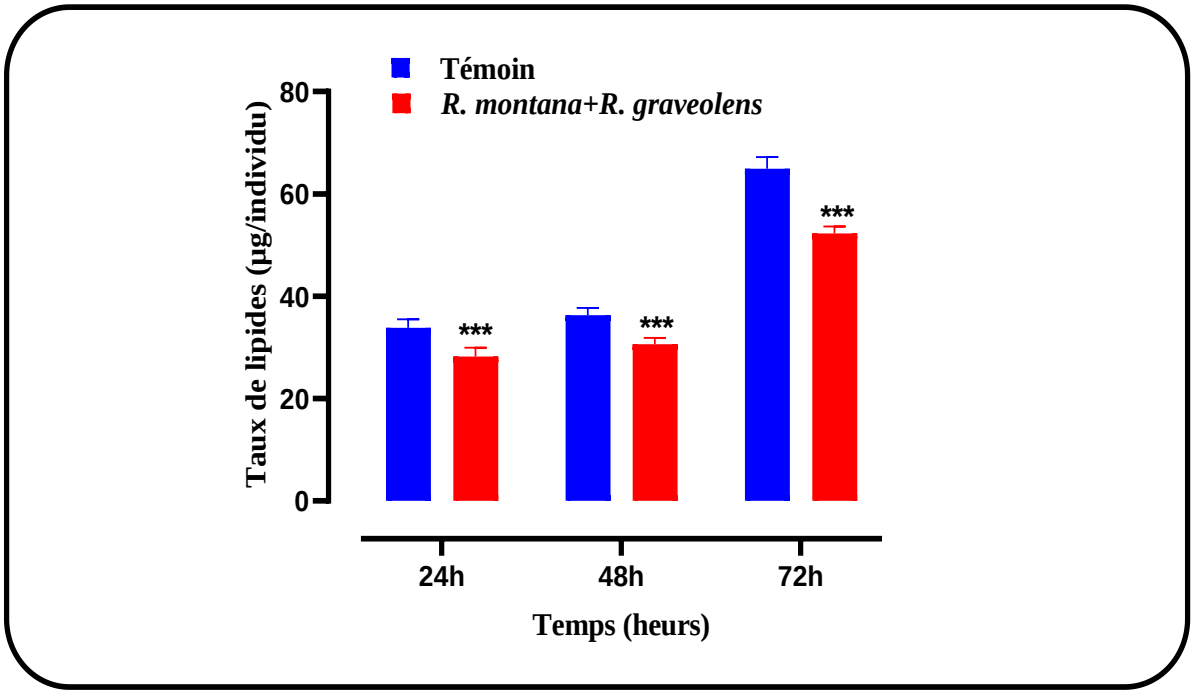


Figure 16. Effet de l'huile essentielle de CL_{50} sur le contenu en lipide (µg/individu) chez les larves 4 de *C. longiareolata* (m ± SD, n=4). (*** Différence très hautement significative ($p<0,001$) entre les séries témoins et traitées).

Discussion

IV. Discussion

IV.1. Rendement des huiles essentielles de *Ruta graveolens* et *Ruta montana*

Les huiles essentielles (HE) de *R. graveolens* et *R. montana* ont été obtenues par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger, à partir de feuilles préalablement séchées. Les rendements d'extraction étaient de 0,47 % (*R. graveolens*) et 0,52 % (*R. montana*).

Ces résultats sont inférieurs à ceux souvent rapportés dans la littérature. Par exemple, à Tébessa (Algérie), Bendjazia et ses collègues en 2025 ont obtenu un rendement de 0,52 ± 0,05 %, légèrement supérieur au nôtre pour *R. graveolens*. En revanche, Bouabida et Dris (2020) ont rapporté un rendement bien plus élevé de 1,78 ± 0,07 %, tandis que Reddy *et al*. (2016) avaient trouvé 1,29 %. Dans d'autres régions en Afrique du Nord, comme la Tunisie ou l'Égypte, les valeurs similaires à celles de notre étude ont été retrouvées, avec 0,21 % et 0,36 %, respectivement, indiquant une certaine cohérence régionale.

Pour *R. montana*, notre rendement de 0,52 % reste inférieur à ceux rapportés à Tébessa (0,61 %) par Bendjazia *et al*., à Batna (2,5 %) par Zeraib *et al*., ou encore en Tunisie (1,69 %) par Khadhri *et al*., mais il se rapproche de celui observé au Maroc par Benali *et al*. (2020 : 0,37 %).

La variabilité interrégionale des rendements peut s'expliquer par de multiples facteurs, dont la diversité génétique des populations, leur métabolisme secondaire, ainsi que les conditions pédoclimatiques, le stade de développement au moment de la récolte ou encore la méthode d'extraction utilisée. Ces éléments, soulignés par Dris (2019), ont un impact majeur sur la production d'huiles essentielles.

IV.2. Impact du mélange sur la composition biochimique des moustiques

IV.2.1. Effet du mélange sur le contenu en protéines

Les protéines sont des composants biochimiques essentiels au développement et à la croissance de l'organisme, jouant un rôle fondamental dans l'exécution de ses fonctions vitales (Dris, 2019).

Les résultats montrent une diminution du taux de protéines totales chez les larves traités comparativement aux témoins. Des résultats similaires ont été rapportés par Bendjazia *et al*. (2025), qui ont observé une réduction du contenu en protéines chez les larves de *C. longiareolata* de stade 4 après exposition aux huiles essentielles de *R. graveolens* et *R. montana*. En outre, l'application des huiles essentielles de *Petroselinum sativum* et de *Lippia citriodora* sur les larves de *C. pipiens* et *C. longiareolata* a causé une diminution du contenu en protéines totales (Sgheier, 2022). Une baisse significative de ces composés a également été

notée chez les larves de *C. longiareolata* traitées par l'huile essentielle de *R. graveolens* (Bouabida & Dris, 2020). À l'inverse, chez les larves de *C. pipiens* traitées au *Rosmarinus officinalis* et à *Artemisia campestris*, une augmentation de la quantité de protéines a été observée (Zeghib, 2022).

La diminution des protéines est un phénomène fréquent chez les insectes exposés à des substances toxiques. Elle peut résulter d'une baisse de leur synthèse ou d'une augmentation de leur dégradation, en réponse à la nécessité de détoxifier les composés actifs présents dans les extraits de plantes ou les huiles essentielles (Dris,2019). Ce phénomène pourrait également refléter une adaptation physiologique de l'insecte face au stress induit par ces substances, notamment les insecticides (Zamani *et al*., 2010).

IV.2.2. Effet du mélange sur le contenu en glucides

Les glucides, en tant que principales sources d'énergie, jouent un rôle essentiel dans la physiologie des insectes. Ils peuvent être convertis en lipides ou participer à la synthèse des protéines (Guenez, 2020). Nos résultats indiquent une baisse non significative du taux de glucides totaux chez les larves de *Culiseta longiareolata* après 24 et 48 heures de traitement, suivie d'une diminution très hautement significative après 72 heures.

Des études similaires ont également montré une réduction significative des taux de glucides chez *C. pipiens* et *C. longiareolata* (Aribi, 2025). Par ailleurs, l'exposition à *R. graveolens* a entraîné une diminution comparable de ces niveaux chez les larves de *C. longiareolata* (Bouabida & Dris, 2020). Une observation semblable a été faite par Bendjazia *et al*. (2025), qui ont également constaté une baisse du contenu en glucides chez les larves de *C. longiareolata* de stade 4 après traitement par les huiles essentielles de *R. graveolens* et *R. montana*.

Toutefois, certains travaux reportent une réaction différente, comme Zeghib *et al*. (2020), qui ont observé une augmentation du contenu en glucides. Cette divergence pourrait s'expliquer par l'activation de la glycogénolyse en réponse à un stress induit par les pesticides, ce qui provoque une élévation des taux de glucides (Shakoori *et al*., 2019).

IV.2.3. Effet sur le contenu en lipides

Les lipides, constitués d'acides gras, de phospholipides et de stérols, sont des composants essentiels, notamment intégrés dans les membranes cellulaires des insectes, et jouent un rôle clé dans diverses fonctions physiologiques (Seghier, 2022). Les résultats obtenus, au cours de notre expérimentation, montrent que l'application de l'HE (CL_{50}) sur les larves (L4) de *C. longiareolata*, diminue le contenu en lipides.

Cette diminution a également été rapportée par Bouabida et Dris (2020), qui ont constaté une réduction des lipides suite à un traitement à l'huile essentielle de *R. graveolens* chez plusieurs

insectes, notamment *Drosophila melanogaster*, *C. pipiens* et *C. longiareolata*. De même, Bendjazia *et al*. (2025) ont observé une baisse du contenu lipidique chez les larves de *C. longiareolata* après exposition aux huiles essentielles de *R. graveolens* et *R. montana*, ce qui confirme nos résultats.

La réduction pourrait être due à un phénomène de peroxydation lipidique, causant une dégradation du triacylglycérol en glycérol et acides gras, libérant ainsi de l'ATP et d'autres molécules énergétiques essentielles (Yezli *et al*., 2024).

En revanche, certaines études rapportent une augmentation ou une absence de modification significative des lipides. Par exemple, Aribi (2025) a noté une augmentation non significative des lipides chez les larves de *Culex pipiens* et *C. longiareolata* après traitement à l'huile essentielle de *Satureja satureioides*. De même, Abo el makarem *et al*. (2015) ont observé une augmentation significative des lipides dans le tissu des adultes de *Sitophilus granarius* après traitement à l'anis et à l'huile de basilic.

Conclusion et perspectives

V. Conclusion et perspectives

En raison des dangers que représentent les insecticides chimiques pour la santé humaine et l'environnement, il devient essentiel de privilégier des alternatives naturelles. Ces solutions offrent une protection efficace et durable, tout en réduisant les coûts et les impacts écologiques. Elles remplissent les mêmes fonctions que les insecticides synthétiques, tout en présentant des avantages économiques, toxicologiques et environnementaux considérables.

Dans ce contexte, l'extraction des huiles essentielles à partir des feuilles séchées de *R. graveolens* et *R. montana* a permis d'obtenir des rendements respectifs de 0,47 % et 0,52 %. L'effet de ces huiles a été évalué sur les niveaux de protéines, de glucides et de lipides chez les larves au quatrième stade (L4) de *C. longiareolata*. Une réduction confirmée des niveaux de protéines, de glucides et de lipides a été observée chez les larves traitées, indiquant une perturbation significative de leur métabolisme énergétique sous l'effet des huiles essentielles.

Ces résultats confirment l'efficacité insecticide des huiles essentielles testées, liée à la concentration appliquée, et soulignent leur potentiel dans le développement de biopesticides naturels. Leur utilisation pourrait s'inscrire dans une stratégie de lutte plus respectueuse de l'environnement et adaptée aux enjeux de santé publique.

Afin de valoriser pleinement les résultats obtenus, plusieurs perspectives de recherche peuvent être envisagées. Tout d'abord, une analyse chimique approfondie des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) permettrait d'identifier précisément les composés bioactifs responsables de leur efficacité, facilitant ainsi leur standardisation et leur utilisation optimisée.

Il serait également intéressant d'étudier l'impact de ces huiles sur différentes phases de vie de *C. longiareolata*, notamment les œufs, les pupes et les adultes, afin d'évaluer leur efficacité tout au long du cycle biologique de cet insecte. De plus, une évaluation de leur effet sur les organismes aquatiques non ciblés permettrait de garantir un usage écologique et responsable de ces substances, en limitant tout risque de toxicité secondaire.

Par ailleurs, l'étude de leurs effets sur d'autres paramètres biochimiques, tels que l'activité des enzymes clés comme l'acétylcholinestérase (AChE) pourrait aider à mieux comprendre leurs mécanismes d'action à l'échelle moléculaire.

Ces investigations contribueraient à renforcer la faisabilité et la sécurité de l'utilisation de ces huiles essentielles dans des stratégies de lutte intégrée, tout en respectant l'environnement.

Références bibliographiques

VI. Références bibliographiques

A

Abd, S. (2020). Life cycle and cytogenetic study of mosquitoes (Diptera: Culicidae). In M. Sarwar (Ed.), Life Cycle and Development of Diptera. IntechOpen..

Abo el makarem, H., Kholy, S., Abdel-Latif, A. et Seif, A. I. (2015). Physiological and biochemical effects of some essential oils on the granary weevil, Sitophilus granarius (L.) (Coleoptera: Curculionidae). The Egyptian Society of Experimental Biology, 11, 117-123.

Allouni, R. (2018). Etude des aspects morphologiques, phytochimiques et pharmacotoxicologiques de la plante Ruta montana,Université Ferhat Abbas Sétif 1.P183.

Al-muffti, A. S., ABDULAZIZ, M. B. A., KHALID, V. A., & OMER, O. A. (2021). Investigating the antibacterial activity of ethanol extract of the medicinal plant Ruta graveolens. *Journal of Duhok University*, *24*(1), 130-135. https://www.researchgate.net/publication/353322649

Ainiwaer, P., Li, Z., Zang, D., Jiang, L., Zou, G., & Aisa, H. A. (2023). Ruta graveolens : Boost Melanogenic Effects and Protection against Oxidative Damage in Melanocytes. *Antioxidants*, *12*(8), 1580. https://doi.org/10.3390/antiox12081580

Aitken T.H.G., (1954). The culicidae of Sardinia and Corsica (Diptera). Bulletin of entomological research 45(3): 437-494.

Appelhans, M. S., Bayly, M. J., Heslewood, M. M., Groppo, M., Verboom, G. A., Forster, P. I., Kallunki, J. A., & 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. https://doi.org/10.1002/tax.12543

Aribi,L. (2025), Caractérisation de Culex pipiens (Linnaeus, 1758) et Culiseta longiareolata (Macquart, 1838) et toxicité des extraits des plantes sur leurs larves.P50.

Azari-hamidian, S., Norouzi, B., & Harbach, R. E. (2019). A detailed review of the mosquitoes (Diptera: Culicidae) of Iran and their medical and veterinary importance. *Acta Tropica*, *194*, 106-122. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.03.019

Aziz, Z. A. A., Ahmad, A., Setapar, S. H. M., Karakucuk, A., Azim, M. M., Lokhat, D., Rafatullah, Mohd., Ganash, M., Kamal, M. A., & Ashraf, G. M. (2018). Essential Oils : Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential - A Review. *Current Drug Metabolism*, *19*(13), 1100-1110. https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850

B

Badhusha, S., Kumar, R., Ajay, A., Baby, B., Gowda, S. K., & Ramesh, B. (2020). Traditional uses, phytochemistry and ethanopharmacology of Ruta graveolens Linn: A review. *International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis*, *8*(3), 1-4.

Bauer, I.L. (2023). The oral repellent – science fiction or common sense? Insects, vector-borne diseases, failing strategies, and a bold proposition. Tropical Diseases, Travel Medicine and Vaccines 9: 7. https://doi.org/10.1186/s40794-023-00195-9

Benali, T., Khabbach, A., Ennabili, A., Hammani, K., (2017). Ethnopharmacological prospecting of medicinal plants from the Province of Guercif (NE of Morocco). Moroc. J. Biol. 14, 1–14. https://www.fst.ac.ma/mjb.

Benelli, G., & Pavela, R. (2018). Beyond mosquitoes—Essential oil toxicity and repellency against bloodsucking insects. *Industrial Crops and Products*, *117*, 382-392. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.072

Benali, T., Habbadi, K., Khabbach, A., Marmouzi, I., Zengin, G., Bouyahya, A., Hammani, K., (2020). GC MS analysis, antioxidant and antimicrobial activities of Achillea odorata subsp. 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. Seghierb, H. Essidc, R. Jalloulic, S. Tabbenec, O. Bouabidab, 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

Bisanzio, D., Giacobini, M., Bertolotti, L., Mosca, A., Balbo, L., Kitron, U. & Vazquez-Prokopec, G.M. (2011). Spatio-temporal patterns of distribution of West Nile virus vectors in eastern Piedmont Region, Italy. Parasites & Vectors 4: 230. https://doi.org/10.1186/1756-3305-4-230

Bonnier, G. (1999). La Grande flore en couleur ; ed : Belin ; Tome 3 ; p : 205 – 206

Bouabida, H., Tine-djebbar, F., Tine, S., & Soltani, N. (2017). Activity of a lipid synthesis inhibitor (spiromesifen) in Culiseta longiareolata (Diptera: Culicidae). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *7*(12), 1120-1124. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.10.015

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/j.sajb.2020.07.005

Boukhatem, M, N. FERHAT, A. KAMELI, A. (2019). MÉTHODES D'EXTRACTION ET DE DISTILLATION DES HUILES ESSENTIELLES : REVUE DE LITTÉRATURE. Revue Agrobiologia. 9(2) : 1653-1659.

Boumaza, M., Merabti, B., Adjami, Y., Ouakid, M. L., & Carvajal, T. M. (2022). Geometric Morphometric Wing Analysis of Avian Malaria Vector, Culiseta longiareolata, from Two Locations in Algeria. *Insects*, *13*(11), 1031. https://doi.org/10.3390/insects13111031

Bouyahya, A., Abrini, J., Bakri, Y., & Dakka, N. (2016). Les huiles essentielles comme agents anticancéreux : Actualité sur le mode d'action. *Phytothérapie*, *16*(5), 254.https://doi.org/10.1007/s10298-016-1058-z

Bouzid, D. (2018). Évaluation de l'activité biologique de l'huile essentielle d'une plante endémique Hélichrysum italicum (Roth) G. DON (Doctoral dissertation). P129

Bradford, M.M., (1976). A rapid and sensitive method of the quantitation microgram quantities of protein utilising the principale dye binding analytic. Biochem. (Lond) 72, 248–254.

C

Chahed, S. (2022). Biodiversité des moustiques (Diptera : Culicidae) de la région de TiziOuzou (Nord d'Algérie) (THESE DE DOCTORAT. Biologie de la conservation. Université Mouloud Mammeri Tizi-O.

D

Dalia, F. (2022). Etude des principales plantes médicinales aromatiques utilisées traditionnellement en infectiologie respiratoire dans le Nord-Est Algérien .Doctoral dissertation, Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté de médecine.P 325 .

Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines*, *3*(4), 25. https://doi.org/10.3390/medicines3040025

Djousse, B. M. K., Ngoune, N. F., Djoukeng, H. G., Nono, L. W., Sogang, H. S., & Tangka, J. K. (2022). Extraction et caractérisation des huiles essentielles de trois plantes aromatiques cultivées à l'Ouest-Cameroun: Rosmarinus officinalis, Salvia officinalis et Cymbopogon citratus. *Cameroon J Biological and Biochemical Sciences*, *30*(2), 121-133.

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. (2019). 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). Thèse de doctorat. Université d'Annaba. 165 pages.

Dris, D. ; Boussekine, S. ; Bouabida, H. (2021). Phytochemical screening and mosquito larvicidal activity of an Algerian Ruta graveolens hydro-methanolic extracts against Culiseta longiareolata. J. ent. Res., 45 (1): 13-18.

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). RESEARCH ARTICLE 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

Duchateau, G., Florkin, M., (1959). Sur la trehalos emie des insects et sa signication. Arch. Indect Physiol. Biochem. 67, 306–314.

G

Goldsworthy, A.C., Mordue, W., Guthkelch, J., (1972). Studies on insect adipokinetic hormones. General Compar. Enderinal 18, 306–314.

Grabi, C., & Brakni, I. (2024). Antioxidant activity and combined toxic effect of Ruta graveolens and Ruta montana essential oils on Culiseta longiareolata larvae (Master's thesis, University of Tlemcen, Faculty of Nature and Life Sciences, Department of Applied Biology, Pharmacotoxicology Option). P79.

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. (2020). Contribution à l'étude de l'activité larvicide des extraits de certaines plantes sur les larves de trois espèces de moustiques Culex pipiens (Linné), Aedes caspius (Pallas) et Culiseta longiareolata (Aitken). En Annaba (Doctoral dissertation).

H

Hamaidia,K. (2014).Biodiversité des moustiques de la région de Souk-Ahras et lutte chimique : aspects écologique, morphométrique, biochimique et toxicologique,UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA .P 155 .

Hamaidia, H., & Berchi, S. (2018). Etude systématique et écologique des Moustiques (Diptera: Culicidae) dans la région de Souk-Ahras (Algérie). *Entomologie faunistique-Faunistic entomology*.

Hegazy, M.I., Hegazy, A.M., Saad, A.M., Salem, H.M., El-Tahan, A.M., ElSaadony, M.T., Soliman, S.M., Taha, A.E., Alshehri, M.A., Ahmed, A.E. et al. (2022). Some biologically active microorganisms have the potential to suppress mosquito larvae (Culex pipiens, Diptera: Culicidae). Saudi Journal of Biological Sciences 29: 1998-2006. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.028

K

Kaleka, A. S., Kaur, N., & Bali, G. K. (2019). Larval development and molting. In Edible Insects. IntechOpen.

Kara ali, W. (2018). Effet des extraits de la plante médicinale Ruta montana (الفيجل) sur la cardiotoxicité induite par la doxorubicine et sur la multi-drug résistances (MDR) des cellules cancéreuses ovarien (A2780). P184

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*. www.worldnewsnaturalsciences.com

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

Khadhri, A., Bouali, I., Belkhir, S., El Mokni, R., Smiti, S., Almeida, C., Nogueira, J.M.F., Araujo, 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

Kharoubi, R. (2021). Méthodes alternatives de lutte contre les moustiques : Efficacité des extraits d'une plante médicinale la menthe (Mentha sp) et effets secondaires sur Gambusia affinis (Université Badji Mokhtar -Annaba). P209.

Konnur, S., Umesha, K., Prasad, M. B. N., Shivashankara, K. S., Dayamani, K. J., Shivanna, M., & Patil, S. V. (2018). Integrated nutrient management in garden rue (Ruta graveolens L). *J Pharmacog Phytochem*, *3*, 443-446.

L

Liaqat, I., Riaz, N., Saleem, Q.-A., Tahir, H. M., Arshad, M., & Arshad, N. (2018). Toxicological Evaluation of Essential Oils from Some Plants of Rutaceae Family. Evidence Based Complementary and Alternative Medicine, 2018(1), 4394687. https://doi.org/10.1155/2018/4394687

Liegeois, M. (2021). Le Moustique Maladies transmises et lutte anti-vectorielle THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE. P 159.

Liu, Z. L., He, Q., Chu, S. S., Wang, C. F., Du, S. S., & Deng, Z. W. (2012). Essential oil composition and larvicidal activity of Saussurea lappa roots against the mosquito Aedes albopictus (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, *110*(6), 2125-2130. https://doi.org/10.1007/s00436-011-2738-0

Liu, Q., Gao, Y., Dong, W., & Zhao, L. (2023). Plastome evolution and phylogeny of the tribe Ruteae (Rutaceae). *Ecology and Evolution*, *13*(2), e9821. https://doi.org/10.1002/ece3.9821

Lubna, Rasheed, S. B., & Zaidi, F. (2024). Species diversity pattern of mosquitoes (Diptera: Culicidae) breeding in different permanent, temporary and natural container habitats of Peshawar, KP Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*, *84*, e271524. https://doi.org/10.1590/1519-6984.271524

Luo, P., Feng, X., Liu, S., & Jiang, Y. (2024). Traditional Uses, Phytochemistry, Pharmacology and Toxicology of Ruta graveolens L.: A Critical Review and Future Perspectives. *Drug Design, Development and Therapy*, *Volume 18*, 6459-6485. https://doi.org/10.2147/DDDT.S494417

M

Mahboub, N., Slimani, N., NADJI, S. B., Bouzeguag, C., Kadri, M., & Khelil, A. (2019). Extraction et caractérisation physico-chimique et biologique des huiles essentielles à partir de Cymbopogon schoenanthus dans la région de Ghardaïa. *Revue des bio ressources*, *9*(2), 14-14.

Mahmoud, E. A., Elansary, H. O., El-Ansary, D. O., & Al-Mana, F. A. (2020). Elevated Bioactivity of Ruta graveolens against Cancer Cells and Microbes Using Seaweeds. *Processes*, *8*(1), 75. https://doi.org/10.3390/pr8010075

Meier, C. J., Rouhier, M. F., & Hillyer, J. F. (2022). Chemical Control of Mosquitoes and the Pesticide Treadmill: A Case for Photosensitive Insecticides as Larvicides. *Insects*, *13*(12), 1093. https://doi.org/10.3390/insects13121093.

Merabti, B., Boumaza, M., Ouakid, M., Carvajal, T.M., Harbach, R.E. (2021). An updated checklist of the mosquitoes (Diptera: Culicidae) present in Algeria, with assessments of doubtful records and problematic species. Zootaxa 5027, 515–545. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5027.4.3

Mohafrash, S. M. M., Fallatah, S. A., Farag, S. M., & Mossa, A.-T. H. (2020). Mentha spicata essential oil nanoformulation and its larvicidal application against Culex pipiens and Musca domestica. *Industrial Crops and Products*, *157*, 112944. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112944

Mohammedi, H., Mecherara-Idjeri, S., & Hassani, A. (2019). 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

Mokhtar, M., Youcefi, F., Keddari, S., Saimi, Y., Otsmane Elhaou, S., & Cacciola, F. (2022). Phenolic Content and *in Vitro* Antioxidant, Anti-Inflammatory and antimicrobial Evaluation of Algerian *Ruta graveolens* L. *Chemistry & Biodiversity*, *19*(9), e202200545. https://doi.org/10.1002/cbdv.202200545

N

Nahar, L., El-Seedi, H. R., Khalifa, S. A. M., Mohammadhosseini, M., & Sarker, S. D. (2021). Ruta Essential Oils: Composition and Bioactivities. *Molecules*, *26*(16), 4766. https://doi.org/10.3390/molecules26164766

Nieto, G. (2017). Biological activities of three essential oils of the Lamiaceae family. *Medicines*, *4*(3), 63. https://doi.org/10.3390/medicines4030063

Norris, E.J., Johnson, J.B., Gross, A.D., Bartholomay, L.C., Coats, J.R., (2018). Plant essential oils enhance diverse pyrethroids against multiple strains of mosquitoes and inhibit detoxification enzyme processes. Insects 9, 132. https://doi.org/10.3390/ insects9040132.

Ng, V., Rees, E., Lindsay, L., Drebot, M., Brownstone, T., Sadeghieh, T., & Khan, S. (2019). Les changements climatiques pourraient-ils entraîner la propagation de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada? *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, *45*(4), 108-118. https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i04a04f

O

Onen, H., Luzala, M.M., Kigozi, S., Sikumbili, R.M., Muanga, C.-J.K., Zola, E.N., Wendji, S.N., Buya, A.B., Balciunaitiene, A., Vi kelis, J. et al. (2023). Mosquito-borne diseases and

their control strategies: an overview focused on green synthesized plant-based metallic nanoparticles. Insects 14: 221. https://doi.org/10.3390/insects14030221.

Ogunmodede, A. (2020). Mosquitoes and their Medical Importance. *Western Journal of Medical and Biomedical Sciences*, *1*(1), 115-120.https://doi.org/10.46912/wjmbs.16

Oussad, N. (2022) Biodiversité des moustiques (Diptera, Culicidae) dans la région de Tizi-Ouzou, et essais de lutte (Doctoral dissertation, Universite Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou).

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.

Reddy, D.N., Al-Rajab, A.J., (2016). Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of Ruta graveolens L. volatile oils. Cogent. Chem. 2 (1), 1–11. https://doi.org/10.1080/23312009.2016.1220055

S

Sadgrove, N., Padilla-González, G., & Phumthum, M. (2022). Fundamental Chemistry of Essential Oils and Volatile Organic Compounds, Methods of Analysis and Authentication. *Plants*, *11*(6), 789. https://doi.org/10.3390/plants11060789

Saeed, Y. S., Ali, J. F., & Mohammed, M. A. (2023). Chemical composition, antioxidant, and antibacterial activity of Ruta graveolens (Rutaceae). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *24*(6). https://doi.org/10.13057/biodiv/d240609

Santana da Costa, K., Galu˜ cio, J.M., Souza da Costa, C.H., Santana, A.R., Carvalho, V.S., Nascimento, L.D., Lima, A.H.L., Cruz, J.N., Alves, C.N., Lameira, J., (2019). Exploring the potentiality of natural products from essential oils as inhibitors of odorant-binding proteins: a structure- and ligand based virtual screening approach to find novel mosquito repellents. ACS Omega 4 (27): 22475–22486.https://doi.org/10.1021/ acsomega.9b03157.

Schoener, E., Uebleis, S.S., Butter, J., Nawratil, M., Cuk, C., Flechl, E., Kothmayer, M., Obwaller, A.G., Zechmeister, T., Rubel, F. et al. (2017). Avian Plasmodium in Eastern Austrian mosquitoes. Malaria Journal 16: 389. https://doi.org/10.1186/s12936-017-2035-1

Seghier, H (2022). Etude comparée de l'activité insecticide des extraits de deux plantes : Petroselinum sativum et Lippia citriodora à l'égard de deux espèces de moustiques Culex pipiens (Linné) et Culiseta longiareolata (Aitken) Thèse de doctorat. Biologie animale. Université Badji Mokhtar,Annaba. P137.

Shakoori, F. R., Riaz, T., Ramzan, U., Feroz, A., & Shakoori, A. R. (2019). Toxicological effect of Esfenvalerate on carbohydrate metabolizing enzymes and macromolecules of a stored grain pest, Trogoderma granarium. Pakistan Journal of Zoology, 50(6). https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2018.50.6.2185.2192

Sharma,D. (2022) A Brief Review of Ruta Graveolens plant in Homoeopathic System of Medicine. Department. of Physiology and Biochemistry, DEI Faculty of Integrated Medicine (AYUSH), Agra Uttar Pradesh, India

Sharma, M., Alexander, A., Saraf, S., Saraf, S., Vishwakarma, U. K., Nakhate, K. T., & Ajazuddin. (2021). Mosquito repellent and larvicidal perspectives of weeds Lantana camara L. and Ocimum gratissimum L. found in central India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *34*, 102040. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102040

Shibko, S., Koivistoinen, P., Tratnyek, C.A., Newhall, A.R., Friedman, L., (1966). Amethodfor sequential quantitative separation and determination ofprotein, RNA, DNA, lipid, and glycogen from a single rat liver homogenate or from a subcellular fraction. Anal. Biochem. 19, 514–528.

Soltanbeiglu, S., Bavani, M. M., Vahedi, M., & Chavshin, A. R. (2022). Susceptibility of Culiseta longiareolata to insecticides in West Azerbaijan province, northwestern Iran. In *Veterinary Research Forum* (Vol. 13, No. 3, p. 435). https://doi:10.30466/vrf.2020.134833.3025

Soonwera, M., & Sittichok, S. (2020). Adulticidal activities of Cymbopogon citratus (Stapf.) and Eucalyptus globulus (Labill.) essential oils and of their synergistic combinations against Aedes aegypti (L.), Aedes albopictus (Skuse), and Musca domestica (L.). *Environmental Science and Pollution Research*, *27*, 20201-20214.https://doi.org/10.1007/s11356-020-08529-2

Sousa, V. I., Parente, J. F., Marques, J. F., Forte, M. A., & Tavares, C. J. (2022). Microencapsulation of Essential Oils: A Review. *Polymers*, *14*(9), 1730. https://doi.org/10.3390/polym14091730

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

T

Tandina, F., Doumbo, O., Yaro, A. S., Traoré, S. F., Parola, P., & Robert, V. (2018). Mosquitoes (Diptera: Culicidae) and mosquito-borne diseases in Mali, West Africa. *Parasites & Vectors*, *11*(1), 467.https://doi.org/10.1186/s13071-018-3045-8

Tine-Djebbar, F., Bouabida, H., & Soltani, N. (2016). *Répartition spatio-temporelle des Culicidés dans la région de Tébessa*. Éditions Universitaires Européennes.

Toksoz, S., & Saruhan, I. (2018). Efficacy of entomopathogenic nematode isolates from Turkey and Kyrgyzstan against the larvae of the mosquito species Culex pipiens L. (Diptera: Culicidae) under laboratory conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *28*(1), 84. https://doi.org/10.1186/s41938-018-0088-2

Toubal, S., El Haddad, D., Bouchenak, O., Sadaoui, N., Boumaza, S., Benhabyles, N., & Arab, K. (2022). Isolation and identification of endophytic fungi from Borago officinalis l. And evaluation of their bioinsecticidal effect against mosquito larvae Culiseta longiareolata (Macquart). *AGROBIOLOGIA*, *12*(1), 2834-2841.

V

Vignesh, A., Elumalai, D., Rama, P., Elangovan, K., & Murugesan, K. (2016). Chemical composition and larvicidal activity of the essential oil of Glycosmis pentaphylla (Retz.) against three mosquito vectors. *Int J Mosq Res*, *3*(2), 62-67.

Vivekanandhan, P., Swathy, K., Thomas, A., Kweka, E.J., Rahman, A., Pittarate, S. & Krutmuang, P. (2021). Insecticidal efficacy of microbial-mediated synthesized copper nano-pesticide against insect pests and non-target organisms. International Journal of Environmental Research and Public Health 18: 10536. https://doi.org/10.3390/ijerph181910536

Y

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

Zapata-Morales, J.R., Alonso-Castro, A.J., Munoz-Martínez, G.S., ~ Martínez-Rodríguez, M.M., Nambo-Arcos, M.E., Brennan Bourdon, L.M., Aragon-Martínez, O.H., Martínez-Morales, J.F., (2021). In vitro and In vivo synergistic interactions of the flavonoid rutin with paracetamol and with nonsteroidal anti-inflammatory drugs. Arch. Med. Res. 52 (6), 611–619. https:// doi.org/10.1016/j.arcmed.2021.03.007.

Zamani, S., Sendi, J.J., Ghadamyari, M., (2010). Effect of Artemisia Annua L. (Asterales:Asteraceae) essential oil on mortality, development, reproduction and energy

reserves of Plodia Interpunctella (Hu bner). (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of Biofertilizers & Biopesticides 2, 1–6

Zeghib, A., Bachari, K., Sifi, K., & Soltani, N. (2020). Chemical composition and larvicidal activity of Rosmarinus officinalis essential oil against West Nile vector mosquito Culex pipiens (L.). Journal of Essential Oil Bearing Plants, 23(6), 1463-1474. https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1860138

Zeghib, F. (2022). Efficacité comparée des extraits de quelques plantes médicinales sur une espèce de moustique Culex pipiens : Aspect toxicologique, biochimique et biomarqueurs,Université badji mokhtar annaba.P98.

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