



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Intitulé

Utilisation des extraits de plantes comme moyen de lutte
biologique contre le moustique tigre (*Aedes albopictus*) en Algérie

Présenté par :

BENDJEBEL Lilya & TOUATI Hadjer

Soutenu le 12/06/2024, Devant le Jury :

| | Nom & Prénom | Grade | Affiliation / institution |
|-------------|----------------------|-------|----------------------------------|
| Président : | Mme. ABED Hanane | MCA | Université de Bordj Bou Arreridj |
| Encadrant : | M. AMARA KORBA Raouf | MCB | Université de Bordj Bou Arreridj |
| Examineur : | Mme. SOUAGUI Yasmina | MCB | Université de Bordj Bou Arreridj |

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Allah Tout-Puissant, le Miséricordieux, le Clément, de nous avoir accordé la force et la persévérance pour mener à bien ce travail de recherche après dix-sept années d'études assidues. C'est grâce à Sa grâce et à Sa bienveillance que nous avons pu franchir cette étape importante de notre parcours académique.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury, Madame ABED Hanane, Présidente, et Madame SOUAGUI Yasmina, Examinatrice, pour l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant d'examiner notre mémoire de fin d'études. Leur présence et leurs précieux conseils ont contribué à enrichir ce travail et à en faire une œuvre plus aboutie.

Nous sommes particulièrement reconnaissants à nos directeurs de mémoire, Monsieur AMARA KORBA Raouf, pour son encadrement précieux, sa disponibilité constante et ses conseils avisés tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Son expertise et son soutien indéfectible ont été déterminants dans l'avancement de ce projet.

Nous ne saurions oublier l'immense soutien et les encouragements constants que nous avons reçus de nos chers parents, Cherif Touati et Wahiba Touati, ainsi que de Boudjemaa Bendjbele et Omhani Bendjbele. Leur amour inconditionnel, leur sacrifice et leur foi en nos capacités nous ont permis de persévérer et d'atteindre nos objectifs.

Moi "TOUATI Hadjer", je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes proches qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mon parcours académique.

Je remercie tout particulièrement ma soeurette Hadil et mon ange Marouane pour leur présence inconditionnelle et leur soutien indéfectible. Ils ont toujours cru en moi et m'ont poussé à donner le meilleur de moi-même.

Je remercie également ma chère sœur Amani et la famille Malad, composée de Salma, Ikhlas, Meriem, Fatima Al-Zahraa, Asma, Rania et Sara. Leur amour et leur encouragement m'ont permis de persévérer dans les moments difficiles.

Je suis particulièrement reconnaissante envers mes amies Ikram et Dounia, qui ont toujours été là pour moi, pour partager mes joies et me reconforter dans les moments de tristesse. Leur amitié sincère a été une source de motivation inestimable tout au long de mes études.

Un remerciement particulier à Lilya, mon binôme extraordinaire. Sa collaboration précieuse, son esprit d'équipe et ses contributions remarquables ont été essentielles à la réussite de ce mémoire. Nous avons formé une équipe soudée et complémentaire, et je suis fière du travail que nous avons accompli ensemble.

Je suis infiniment reconnaissante à tous ceux qui ont contribué à mon succès, et je leur exprime ma plus profonde gratitude. Votre soutien, vos encouragements et votre amitié ont été des éléments essentiels de ma réussite.

Moi " BENDJEBEL Lilya", Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes proches qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de mon parcours académique.

Je remercie tout particulièrement mes sœurs Nour Elhouda, Meriem et Chaima pour leur amour inconditionnel et leur soutien indéfectible. Elles ont toujours été là pour moi, pour partager mes joies et me reconforter dans les moments de tristesse. Leur présence constante a été une source de motivation inestimable pour moi.

Je remercie également mon seul frère Abd Elfatah et mes proches Ilyes, Saad et Firas pour leur amitié sincère et leur soutien indéfectible. Ils ont toujours cru en moi et m'ont poussé à donner le meilleur de moi-même.

Je suis particulièrement reconnaissante à mon fiancé Moussa et à sa famille pour leur soutien précieux et leur encouragement constant. Moussa a toujours été présent pour moi, pour me soutenir et me motiver. Je remercie également ses sœurs Samah, Ahlam et Meriem, ainsi que ses parents, pour leur accueil chaleureux et leur bienveillance.

Je ne saurais oublier mes chers amis Assala, Hadjer, Lamia et Yousra. Leur amitié sincère et leur soutien indéfectible ont été une source de motivation inestimable tout au long de mes études. Je suis infiniment reconnaissante pour leur présence dans ma vie.

إهداء

إلى إمام المُجاهِدِين ﷺ، مَنْ أَعَزَّ بِالْجِهَادِ قَوْمًا مُؤْمِنِينَ وَأَذَلَّ بِحَدِّ سَيْفِهِ
مِلَّةَ الْكَافِرِينَ وَإِلَى صَحَابَتِهِ الْمَيَامِينِ، إِلَى عُلَمَاءِ أُمَّتِنَا الْأَجَلَاءِ، الْمُعَيَّبَةِ
فِي سُجُونِ الطُّغَاةِ أَجْسَادُهُمُ السَّاطِعَةِ فِي سَجَّاتِ الشَّرَفِ أَسْمَاؤُهُمْ،
إِلَى رِجَالٍ صَدَقُوا مَا عَاهَدُوا اللَّهَ عَلَيْهِ، رِجَالِ الظِّلِّ وَمُهَنْدِسِي الطُّوفَانِ؛
إِلَى أَهْلِ عَزَّةٍ وَأَطْفَالِهَا وَشُهَدَائِهَا...

وَحَدَّكُمْ مَنْ تَسْتَجِيقُونَ الذِّكْرَ وَالتَّخْلِيدَ، وَ لَوْ أَنَّ عَمَلَنَا الصَّغِيرَ هَذَا لَا
يُسَاوِي جَنَاحَ بَعُوضَةٍ أَمَامَ صَنِيعِكُمْ، لَكِنَّا نُوِينَا بِهِ وَجْهَ اللَّهِ عَزَّ وَ جَلَّ،
و رِفْعَةَ الْأُمَّةِ وَهَنْدَسَةَ طُوفَانٍ عِلْمِيٍّ يَسْمُو بِجَزَائِرِنَا وَ يَرْفَعُهَا.

▼ لَكُمْ فَضْلُ السَّبْقِ وَلَنَا عَهْدُ الْإِقْتِدَاءِ، وَ كُلٌّ فِي مَيْدَانِهِ قَائِدٌ.

إِلَى كِتَابِ الْعَزِّ وَأَحْفَادِ الْيَاسِينِ، أَكَادِيمِيَّةِ الْبِنَاءِ الْمَنْهَجِي وَ مُؤَسَّسِهَا
السَّيِّخِ أَحْمَدَ السَّيِّدِ، مُؤَسَّسَةِ النَّهْضَةِ بِالْقُرْآنِ الْكَرِيمِ، أَكَادِيمِيَّةِ جِيلِ
التَّرْجِيحِ، مَشْرُوعِ حَصِيفِ، وَ الْفَرِيقِ الطَّبِيِّ، وَ لِكُلِّ الْعَامِلِينَ وَالْقَائِمِينَ
عَلَى نُغُورِهَا تِهِ الْأُمَّةِ الْخَيْرَةِ، وَ حَامِلِي الرِّسَالَةِ الْمُحَمَّدِيَّةِ، وَ لِكُلِّ مَنْ كَانَ
لَهُ فَضْلٌ فِي تَرْبِيَّتِنَا وَ تَشْكِيلِنَا وَ وَعَيْنَا...

▼ نُهْدِي إِلَيْكُمْ جُهْدَنَا هَذَا، فَاللَّهُمَّ تَقَبَّلْهُ مِنَّا عَمَلًا خَالِصًا لِرُؤُوسِكَ الْكَرِيمِ.

-تواتي هاجر
-بن جبل ليليا



Liste des figures et des tableaux

Liste des figures :

| | |
|---|-----------|
| Figure 1. Femelle d' <i>Aedes albopictus</i> | 6 |
| Figure 2. Carte mondiale de la distribution projetée d' <i>Aedes albopictus</i> | 7 |
| Figure 3. Carte montrant la distribution d' <i>Aedes albopictus</i> en Algérie | 8 |
| Figure 4. Les œufs d' <i>Aedes albopictus</i> sous microscope..... | 9 |
| Figure 5. Larve d' <i>Aedes albopictus</i> | 10 |
| Figure 6. Respiration d'une nymphe à la surface de l'eau..... | 11 |
| Figure 7. Femelle adulte d' <i>Aedes albopictus</i> | 12 |
| Figure 8. Cycle de vie d' <i>Aedes albopictus</i> | 13 |
| Figure 9. La plante <i>Ocimum basilicum</i> | 17 |
| Figure 10. Les taux de mortalité des larves d' <i>Ae. albopictus</i> de troisième stade traitées avec différentes concentrations d'extrait d'hexane des feuilles d' <i>O. basilicum</i> pendant les 24 et 48 heures | 17 |
| Figure 11. L'arbre de neem et leurs différentes parties | 18 |
| Figure 12. La forme moléculaire d'Azadirachtine | 19 |
| Figure 13. Principes d'action de l'azadirachtine sur les insectes | 20 |
| Figure 14. La plante <i>Curcuma longa</i> L | 22 |
| Figure 15. Principaux composés présents dans les rhizomes et les feuilles des huiles essentielles de <i>C.longa</i> | 23 |
| Figure 16. Les résultats de l'extraction séquentielle au solvant des extraits de plantes aromatique..... | 24 |
| Figure 17. Mortalité larvaire d' <i>Aedes albopictus</i> traitée avec extrait de plante aromatique <i>Curcuma longa</i> | 24 |

Liste des tableaux :

| | |
|---|-----------|
| Tableau 1. Le nombre des larves mortes aux stades L1-L2 et L3-L4, avec les pourcentages relatifs par dose..... | 21 |
| Tableau 2. Effets des différentes concentrations d'huile de neem sur les pupes..... | 21 |

Table des matières

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction | 2 |
| 1.1. Généralités | 5 |
| 1.2. Répartition | 6 |
| 1.2.1. Dans le monde | 6 |
| 1.2.2. En Algérie | 7 |
| 1.3. Taxonomie | 8 |
| 1.4. Description morphologique d' <i>Aedes albopictus</i> | 9 |
| 1.4.1. L'œuf..... | 9 |
| 1.4.2. Larve | 10 |
| 1.4.3. Nymphe..... | 10 |
| 1.4.4. Adulte | 11 |
| 1.5. Cycle de vie | 12 |
| 1.6. Les maladies transmissibles par le moustique tigre | 13 |
| 1.6.2. Chikungunya..... | 13 |
| 1.6.3. La Dengue..... | 13 |
| 1.6.3. Le Zika | 14 |
| Chapitre 2. Des extraits de plantes efficaces contre le moustique <i>Aedes albopictus</i> | 15 |
| 2.1.1.2. Efficacité larvicide d'extrait de basil contre le moustique tigre..... | 17 |
| 2.1.2.1. Taxonomie..... | 18 |
| 2.1.2.2. Généralités..... | 18 |
| 2.1.2.3. Propriétés et activités insecticides d'Azadirachtine..... | 19 |
| 2.1.2.4. Influence de l'huile de neem sur l'activité larvicide de stade L1-L2 et L3-L4..... | 20 |
| 2.1.2.5. Influence de l'huile de neem sur les pupes..... | 21 |
| 2.1.3.1. Taxonomie..... | 22 |
| 2.1.3.3. Analyse biologique de Larvicide..... | 23 |
| 3.1.1. Classification scientifique Règne : <i>Plantae</i> | 26 |
| 3.1.2. Description morphologique | 27 |
| 3.2. Propriétés insecticides du romarin | 27 |
| 3.3. Préparation d'huile essentielle de romarin..... | 27 |
| 3.4. Méthodologie proposée pour l'étude expérimental et recueil des données | 28 |
| 3.5. Résultats attendus..... | 28 |
| Conclusion et perspectives | 29 |
| Références bibliographiques | 30 |
| Annexes..... | 36 |

Annexe 1: Préparation d'extrait d'*Ocimum basilicum*

Annexe 2. L'essai biologique de *Basilic ocimum* sur les larves de moustique *Aedes albopictus*

Annexe 3: Préparation d'huile essentielle des graines neem

Annexe 4: Application d'huile essentielle de neem sur *Aedes albopictus*

Annexe 5. Préparation d'extrait de *Curcuma longa L*

Annexe 6. La recherche d'échantillons de moustiques et culture de larves

Annexe 7: Le principe de méthode MAH.

Annexe 8. GUIDELINES FOR LABORATORY AND FIELD TESTING OF
MOSQUITO LARVICIDES (traduit en français).

Résumé

À son arrivée en Algérie en 2010, le moustique "*Aedes albopictus*" a suscité l'intérêt des scientifiques en raison de sa capacité à transmettre des maladies virales (ZIKA, Dengue et Chikungunya) et a donc représenté une menace pour la vie humaine. Des études et des recherches ont permis de lutter contre ce moustique en utilisant d'abord des insecticides, mais ces derniers ont eu de nombreuses conséquences néfastes sur l'environnement en raison de leur difficulté à se dégrader, entraînant ainsi plusieurs maladies comme l'asthme et les allergies. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de chercher une solution sûre et de nous baser sur des recherches qui ont démontré l'efficacité des plantes contre ce moustique. Plusieurs résultats positifs ont été observés lors d'expériences sur des plantes couramment disponibles en Algérie, telles que l'extrait de *Basilic ocimum* qui démontre une efficacité exceptionnelle en peu de temps (50 g/mL de l'extrait a entraîné de 91,7 % à 100 % de mortalité au troisième stade larvaire durant 24h), l'huile essentielle de neem qui montre une efficacité élevée sur le stade pupal des moustiques après 24h seulement, et le *Curcuma longa* qui présente également une efficacité remarquable. Après avoir examiné ces résultats et étant conscient de l'efficacité du romarin contre les insectes, nous l'avons sélectionné comme sujet d'étude ultérieurement. Afin de faire la découverte de plus de plantes qui peuvent être utilisées dans la production des biopesticides, à moindre coût, biodégradables et sécurisées pour la communauté environnementale.

Les mots clés : *Aedes albopictus*, extraits de plantes, la lutte biologique, le moustique tigre, les huiles essentielles, Algérie

الملخص

عندما تم ملاحظتها لأول مرة في الجزائر سنة 2010، أثارت بعوضة السلالة النمرية اهتمام المختصين بسبب قدرتها على نقل الأمراض الفيروسية (مرض زيكا و حمى الضنك و داء الشيكونغونيا) وبالتالي شكلت تهديداً على حياة الإنسان. نجحت الدراسات والبحوث في السيطرة على هذه البعوضة باستخدام المبيدات الحشرية أولاً، لكن الأخيرة كان لها العديد من العواقب الضارة على البيئة بسبب صعوبة تحللها، مما تسبب في عدة أمراض مثل الربو والحساسية. لهذا السبب قررنا البحث عن حل آمن بناء على الأبحاث التي أظهرت فعالية النباتات ضد هذه البعوضة. لوحظت العديد من النتائج الإيجابية في التجارب على النباتات المتاحة عادة في الجزائر، مثل مستخلص الريحان أو الحبق الذي يظهر فعالية استثنائية في وقت قصير (أدى مستخلص 50 جم/مل إلى وفيات بنسبة 91.7% إلى 100% في المرحلة الثالثة من اليرقات لمدة 24 ساعة)، وأيضاً زيوت النيم الأساسية التي تظهر فعالية عالية في المرحلة ما بين الشرنقة والبلوغ بعد 24 ساعة فقط، و نبتة الكركم التي لها أيضاً فعالية ملحوظة. بعد فحص هذه النتائج وإدراك فعالية إكليل الجبل أيضاً ضد الحشرات، اخترناها كموضوع للدراسة من أجل اكتشاف المزيد من النباتات التي يمكن استخدامها في إنتاج المبيدات الحشرية الطبيعية، لأن تكلفتها قليلة، قابلة للتحلل البيولوجي وأمنة على المجتمع البيئي.

الكلمات المفتاحية: بعوضة السلالة النمرية، مستخلصات النباتات، المكافحة البيولوجية، الزيوت الأساسية، الجزائر.

Introduction

Les moustiques représentent le plus grand danger pour la santé publique, car ils transmettent de nombreux agents pathogènes responsables de maladies telles que le paludisme, la filariose, la dengue, l'encéphalite japonaise... etc., entraînant des millions de décès chaque année (Rathy MC, 2015).

Parmi les espèces de moustiques envahissantes en Europe, l'*Aedes albopictus*, ou moustique tigre asiatique, est probablement la plus grande menace pour la santé publique. Il est reconnu comme l'espèce de moustique la plus invasive au monde (Daubingy, 2020). Cette espèce est désormais établie dans 26 pays européens, ainsi que dans plusieurs pays du Moyen-Orient et plus récemment, en Afrique du Nord, notamment en Algérie (Boubidi, 2016).

Ce moustique est capable de transmettre au moins 22 arboviroses, y compris la Dengue, le Chikungunya et le virus Zika. L'expansion de l'*Aedes albopictus* résulte de la mondialisation, du commerce international et des changements climatiques. Sa remarquable capacité d'adaptation à divers environnements facilite son invasion (Daubingy, 2020).

En l'absence de vaccins efficaces et d'antiviraux, le contrôle de la transmission des arboviroses repose principalement sur le contrôle des populations de vecteurs, via l'utilisation d'insecticides chimiques (Boubidi, 2016).

Depuis des années, les pesticides chimiques jouent un rôle clé dans la lutte contre les nuisibles. Toutefois, leur usage généralisé et prolongé a mené à une résistance accrue aux insecticides et à une bioaccumulation, entraînant des restrictions sur leur exportation. Des problèmes tels que la contamination des sols et de l'eau, ainsi qu'une augmentation marquée des résidus toxiques dans de nombreux produits agricoles, ont émergé, mettant en péril tant l'environnement que la santé humaine (Leng et al., 2011).

De plus en plus, des recherches établissent un lien entre l'exposition aux pesticides chimiques synthétiques et une augmentation des maladies chroniques, y compris les cancers, les troubles cardiovasculaires, le diabète, les maladies neurodégénératives telles que Parkinson Alzheimer, ainsi que la sclérose latérale amyotrophique, les anomalies congénitales et les problèmes de reproduction.

Contrairement aux pesticides traditionnels, les biopesticides offrent de multiples avantages et représentent une alternative prometteuse. Ils sont conçus à partir d'entités biologiques

naturelles telles que des animaux, des plantes et des micro-organismes (bactéries, champignons, virus) et combattent les insectes nuisibles aux cultures de manière écologique et non toxique. (Korangi et *al.*, 2021).

Les produits biologiques offrent de multiples avantages : ils sont biodégradables, ne génèrent pas de résidus dangereux, peuvent coûter moins cher que les pesticides chimiques synthétiques s'ils sont produits sur place et tendent à être plus efficaces sur le long terme, tout en évitant la pollution environnementale (du sol, de l'air et de l'eau) et les problèmes de résistance grâce à leur mécanisme d'action complexe. Les biopesticides ciblent généralement uniquement l'organisme nuisible visé et ses proches parents, ce qui préserve les autres formes de vie dans l'écosystème (Korangi et *al.*, 2021).

Dans ce cadre, notre étude se basera sur une méthode biologique de lutte contre l'*Aedes albopictus*, en mettant l'accent sur les biopesticides d'origine végétale. Certaines plantes sont reconnues et employées pour leurs propriétés biocides (toxiques) ou répulsives contre les bioagresseurs. Elles génèrent des substances actives, souvent sous forme des métabolites secondaires, dotées de propriétés insecticides, antiseptiques, ou qui régulent la croissance des plantes et des insectes. Les biopesticides d'origine végétale incluent les extraits de plantes (frais et secs), les huiles essentielles, les huiles végétales, ainsi que les plantes possédant des pesticides intégrés (Korangi et *al.*, 2021).

Le basilic (*Ocimum basilicum*), Le Neem (*Azadirachta indica*), Le curcuma (*Curcuma longa*) sont des plantes efficaces contre les insectes et plusieurs recherches antérieures ont démontré leur efficacité, aussi l'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis* L.), tien des propriétés anti-insectes et est utilisé dans des nombreux insecticides sur le marché (Isman et *al.*, 2008), mais aucune étude évaluant l'efficacité de romarin contre le moustique tigre n'a été effectuée.

Donc dans cette étude bibliographique nous nous concentrerons sur les espèces végétales mentionnées précédemment qu'ont abondance en Algérie et répondre à certaines critères de sélection, ce qui devrait être présent dans chaque agent de lutte biologique selon Lepoivre, 2003, une stabilité génétique, une efficacité à faible concentration, une exigence nutritionnelle faible, une capacité de survie et d'adaptation aux diverses conditions environnementales, une efficacité sur de nombreux pathogènes et hôtes, une production facile et peu coûteuse, l'absence de production de métabolites secondaires toxiques, une compatibilité avec d'autres traitements et une non-pathogénicité pour l'homme, ainsi qu'une écotoxicologie acceptable.

L'objectif de cette synthèse est de combattre et d'éliminer le moustique tigre, de minimiser les risques d'endémisation ou d'épidémisation, de diminuer la transmission d'agents vectorielle (la Dengue, le Chikungunya et le virus ZIKA) par *Aedes albopictus* et adopter des méthodes biologiques plus sécurisés par l'usage des biopesticides d'origine végétales et développer leur efficacité, aussi cette étude ouvrira des perspectives d'avenir pour le développement et la commercialisation du secteur agricole et industriel dans le domaine des biopesticides en Algérie et la préservation des droits des consommateurs et des organismes vivants.

Les informations exploitées dans cette étude ont été obtenu des différentes ressources en ligne issue des bases de données scientifiques (Google scholar, PubMed, MDPI, HAL thèses) et des sites officiels de différentes organisations (OMS: Organisation mondiale de la santé, UNEP: Programme des Nations unies pour l'environnement), mais aussi des ressources physiques (livres, thèses de doctorat, revues..., etc).

Chapitre 1. Le moustique tigre (*Aedes albopictus*)

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le moustique tigre ferait 750 000 victimes par année soit l'espèce la plus meurtrière sur terre. Bien que la majorité des maladies transmises se produisent dans des régions endémiques tropicales et subtropicales, les voyages internationaux ainsi que l'urbanisation et la mondialisation en plein essor ont augmenté leur prévalence dans de nouveaux territoires jusqu'à présent indemnes. C'est le cas de l'Europe qui depuis quelques années a vu apparaître sur son territoire certains moustiques vecteurs d'arboviroses comme *Aedes albopictus* (Bechini, 2017)

Aujourd'hui, cette espèce se trouve sur la majorité des continents et dans plus de 30 pays. Son expansion à l'échelle mondiale est largement attribuable à l'intensification du commerce international. Dans les années 1980, le commerce international de pneus usagés, en particulier depuis le nord de l'Asie et le Japon, a favorisé le transport des œufs de cette espèce, facilitant ainsi son introduction dans des zones où elle était auparavant absente. (BAGNY, 2009)

1.1. Généralités

Les moustiques mâles d'*Aedes albopictus* ne se nourrissent pas de sang. Ils consomment des substances végétales. En conséquence, ils ne s'éloignent guère de leur lieu de naissance. De plus, leur espérance de vie est assez courte. (Boubidi, 2016)

Épidémiologiquement, leur fonction principale est de contribuer à la reproduction en fécondant les femelles. Les moustiques femelles absorbent également des jus sucrés d'origine végétale mais la plupart des espèces ont un régime hématophage (Figure 1). Les substances résultant de la digestion du sang absorbé sont utilisées en partie pour la nutrition mais surtout pour la maturation des œufs. Le repas de sang conditionne donc la ponte. Un seul repas suffit à produire une ponte. Il est difficile d'évaluer la longévité des femelles dans la nature. Elle est généralement estimée entre trois semaines et trois mois. (Boubidi, 2016)

Cependant, chez certaines espèces, des individus peuvent traverser la période défavorable (l'hiver dans les climats tempérés ou la saison sèche dans les climats tropicaux) en état de quiescence adulte, leur permettant de survivre pendant quatre à six mois. (Vacus, 2012) Certains *Aedes* vivent dans un habitat sauvage, retrouvés dans les galeries forestières où les lieux de ponte sont les trous d'arbres, les coques de noix de coco et les feuilles de bananier.

L'*Aedes albopictus* est localisé en zone péri-domestique, aux alentours des habitations. À des

températures de 25 °C à 30 °C, la femelle pond environ 70 œufs tous les trois jours dans des petits gîtes contenant de l'eau stagnante, tels que les creux des pierres, les vieux pneus, les gouttières, les vases ou encore divers récipients abandonnés .



Figure 1. Femelle d'*Aedes albopictus* (Source : <http://civr.ucr.edu> in Boubidi, 2016)

Le moustique joue un rôle crucial dans l'équilibre des écosystèmes aquatiques. Sa grande population forme une source de nourriture significative pour de nombreux organismes des milieux humides. De plus, les larves de moustique, grâce à leur régime omnivore, contribuent à la décomposition de la matière organique, comme l'ingestion des feuilles mortes, au sein de l'écosystème aquatique (Vacus 2012).

1.2. Répartition

1.2.1. Dans le monde

L'*Aedes albopictus*, mieux connu sous le nom de « moustique tigre » en raison de son corps rayé de taches blanches et sombres, a colonisé tous les continents sauf l'Antarctique en 40 ans. Originaire de l'Asie du Sud-Est, y compris le sud de la Chine, certaines régions du Japon, la Corée et la péninsule indienne jusqu'à l'Himalaya au nord. En Corée, il est présent jusqu'à la latitude de Séoul (Boubidi, 2016).

L'*Ae. albopictus* a été signalé pour la première fois à l'Île de la Réunion au début des années 1900. Dans l'Océan Pacifique, à l'est de son aire d'origine, il est apparu à Hawaï à la fin du XIXe siècle et s'est établi à Guam pendant la Seconde Guerre mondiale (Boubidi, 2016).

L'*Aedes albopictus* a envahi l'Europe (Albanie en 1979), l'Amérique du Nord (Texas en 1985) et l'Amérique du Sud (Brésil en 1986). Depuis le début du XXIe siècle, cet insecte s'est établi de manière significative, allant des États-Unis à l'Argentine, en passant par l'Afrique centrale et l'Europe de l'Ouest (Figure 2) (Dowd et al., 1998).

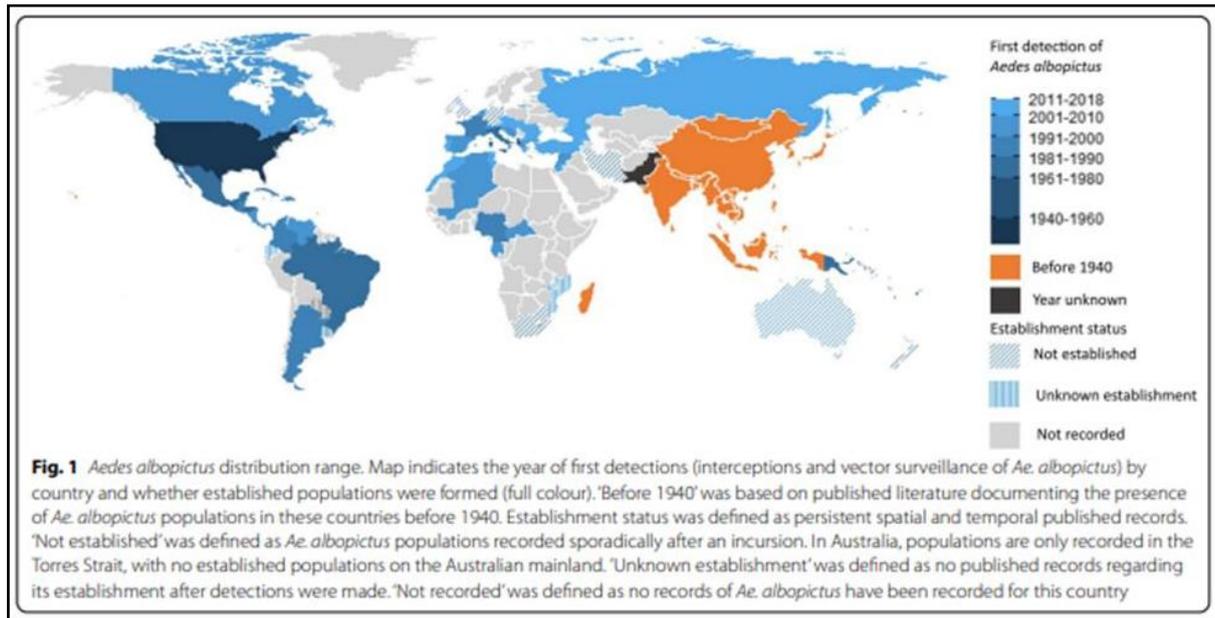


Figure 2. Carte mondiale de la distribution projetée d'*Aedes albopictus* (Swan et al., 2022)

Ae. albopictus est capable d'entrer respectivement en diapause et en quiescence, ce qui assure leur survie pendant et après des périodes de stress environnemental. Cette capacité de résistance dans des conditions extrêmes permet également à ce vecteur de coloniser de nouvelles régions du monde (Houé et al., 2019).

Le moustique *Aedes albopictus* est présent en Afrique depuis 1989, les premières observations publiées de *Aedes albopictus* sur le continent africain remontent à environ 30 ans, au Nigeria et en Afrique du Sud (Figure 3) (Longbottom et al., 2023).

Il a été signalé pour la première fois en Afrique du Sud, dans la zone portuaire de Cape Town, où des larves vivantes ont été découvertes dans des pneus usagés importés du Japon. L'infestation a été rapidement maîtrisée. Deux ans plus tard, il a été de nouveau détecté sur le continent africain, notamment au Nigeria, au Gabon et en Guinée équatoriale (Daubigny, 2020).

1.2.2. En Algérie

Le premier signalement d'*Ae. albopictus* en Algérie a été dans la région de Larbaa-Nath-Irathen, Wilaya de Tizi-Ouzou (Algérie) entre le 2 et le 8 août 2010 (Izri et al., 2011), et n'est pas observée avant 2014, lorsqu' une liste de moustiques a permis de la redécouvrir dans le village d'Illoula Oumalou (province de Tizi-Ouzou). En 2015, l'espèce a fait sa réapparition dans Oran, l'ouest de l'Algérie, dans la station balnéaire d'Aïn Turk, où des individus s'étaient retrouvés pendant deux années de suite, signifiant sa permanence établie (Hamaidia et Soltani,

2021).

En 2016, le moustique *Aedes albopictus* a été repéré pour la première fois en Algérie capitale, dans la commune de Birkhadem, selon l'Institut Pasteur d'Algérie. Par la suite, il s'est répandu dans plusieurs autres localités telles que Kouba, Khraicia, Hussein Dey, Saoula et El Annassers (Harrat, 2017). En 2017, cette espèce a été capturée à Jijel, dans le centre-ville de la wilaya, ainsi qu'à Annaba. En 2018, la présence de cette espèce a continué d'être signalée par les citoyens dans plusieurs wilayas côtières, dont Skikda, Annaba, Bejaïa et Boumerdes (Figure 3). Il est à signaler qu'aucun cas d'arbovirose (Chikungunya, Dengue ou de ZIKA), habituellement transmise par ce vecteur n'a été enregistré en Algérie (Institut Pasteur d'Algérie, 2018).

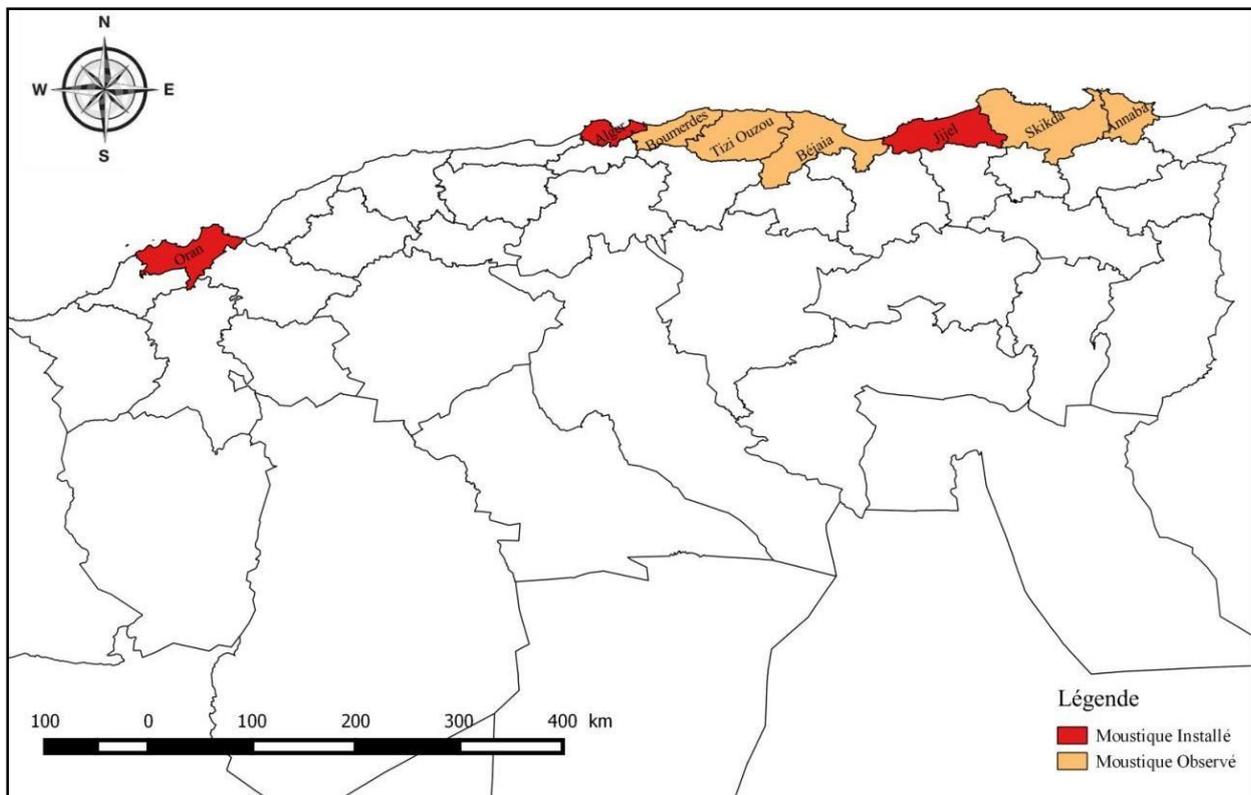


Figure 3. Carte montrant la distribution d'*Aedes albopictus* en Algérie (Institut pasteur en Algérie, 2018)

1.3. Taxonomie

Le moustique ici étudié est donc classé et connu sous le nom d'*Aedes albopictus*, décrit d'abord par Skuse en 1894 à partir de spécimens cueillis à Calcutta (Vacus, 2012).

- **Règne :** *Animal*
- **Embranchement :** *Arthropodes*
- **Sous-embranchement :** *Antennates/ Mandibulates*

- **Classe :** *Insectes*
- **Sous-classe :** *Ptérygotes*
- **Infra-classe :** *Néoptères*
- **Super-ordre :** *Endoptérygotes*
- **Ordre :** *Diptères*
- **Sous-ordre :** *Nématocères*
- **Infra-ordre :** *Culicomorphes*
- **Famille :** *Culicidés*
- **Sous-famille :** *Culicinés*
- **Tribu :** *Aedini*
- **Genre :** *Aedes*
- **Sous-genre :** *Stegomyia* (Daubigny, 2020).

1.4. Description morphologique d'*Aedes albopictus*

1.4.1. L'œuf

Les œufs sont de forme fusiforme, noirs et sans flotteur latéraux. Ils ont une longueur d'un millimètre environ (Figure 4). La solidité de la coque assure une résistance considérable à déshydratation (Legros, 2014).

Les œufs d'une ponte sont d'environ 100 à 400 et le stade ovulaire dure de 2 à 3 jours lorsque les conditions sont propices à l'incubation (température et l'humidité) (Vacus, 2012).

L'*Aedes albopictus* hiberne sous forme d'œufs dans un climat tempéré, un processus qui dépend de la photopériode et de la température, connu sous le nom de diapause. Cela implique que l'œuf de l'*Aedes albopictus* peut survivre en état de dormance, avec un développement interrompu, en cas de conditions environnementales défavorables. Ce phénomène est influencé par des facteurs génétiques (Daubigny, 2020).



Figure 4. Les œufs d'*Aedes albopictus* sous microscope (Vacus, 2012)

1.4.2. Larve

Le stade larvaire est un stade aquatique évolutif, les larves possèdent des pattes et une tête distinguée (Figure 5) (Bagny, 2009).

Elle se développe de manière discontinue, avec 4 stades larvaires successifs séparés par des mues (croissance discontinue) qui permettent de passer de 2 mm à 12 mm en 8 à 12 jours lorsque les conditions de température sont propices (Vacus, 2012).

Les larves notamment lors de leur 2^{ème} stade sont très sensibles aux infections. Notamment le champignon, *Coelomomyces slegomyia*, entraîne des infections au niveau de la capsule céphalique, du thorax et au niveau anal. Il a été montré que ce champignon est utile pour la lutte biologique contre les larves d'*Aedes albopictus*. De plus, des infections bactériennes sont possibles (Daubigny, 2020).



Figure 5. Larve d'*Aedes albopictus* (Bagny, 2009)

1.4.3. Nymphe

La nymphe est une pupa apode, mobile et en forme de virgule, qui ne se nourrit pas. Elle se compose d'un abdomen et d'un céphalothorax globuleux. Sur ce dernier, on distingue deux trompes siphon thoraciques respiratoires (Figure 6) (Legros, 2014).

La période nymphale est un stade de transition au métabolisme très actif, pendant lequel l'insecte subit des changements morphologiques et physiologiques très profonds, passant du stade larvaire aquatique et saprophyte à la forme adulte aérienne et hématophage chez les femelles, le stade nymphal dure entre 1 et 5 jours environ (Vacus, 2012).

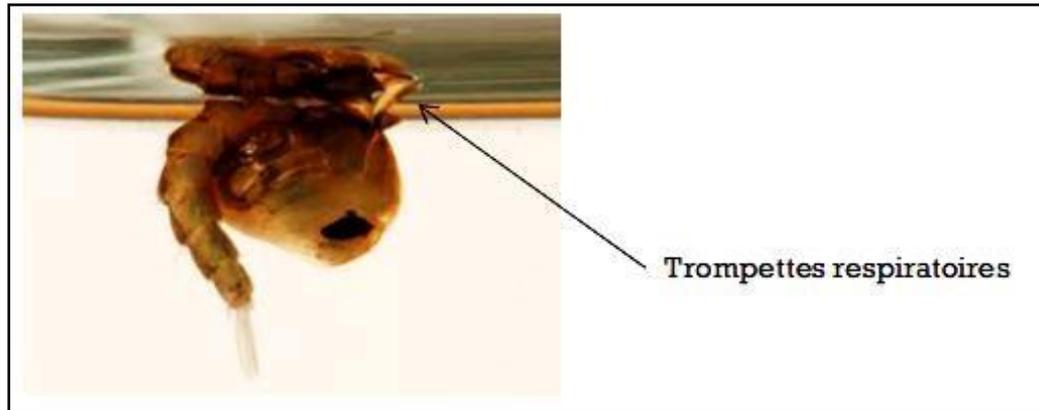


Figure 6. Respiration d'une nymphe à la surface de l'eau (Vacus, 2012).

1.4.4. Adulte

Les adultes d'*Aedes albopictus* se reconnaissent à leur scutum noir orné d'une bande blanche longitudinale médiane continue le long du thorax. Ils sont aussi caractérisés par leurs pattes noires présentant des écailles blanches basales distinctes sur chaque segment tarsien (Figure 7) (Hamaidia et Soltani, 2021).

La distinction entre mâles et femelles se fait par la forme de leurs antennes, les mâles ayant des antennes plumeuses. Les mâles présentent un cycle de vie légèrement plus court et sont les premiers à émerger des sites larvaires. Ils atteignent la maturité sexuelle 2 à 3 jours après leur émergence. L'accouplement, souvent initié en vol et conclu au repos, est bref, ne durant que quelques minutes. Il se déroule à proximité du site d'émergence ou de l'hôte et peut avoir lieu avant ou juste après le premier repas de sang. (Bagny, 2009)

Les femelles, qui s'accouplent une seule fois dans leur vie, sont capables de stocker les spermatozoïdes dans une ou plusieurs spermathèques (trois chez *Ae. albopictus*), permettant ainsi la fécondation des œufs suite aux repas de sang. (Bagny, 2009)

En matière d'alimentation, les adultes consomment principalement des sucres végétaux tels que le nectar et la sève. Cependant, tandis que les mâles se limitent exclusivement à ces sources, l'appareil buccal des femelles leur permet de se nourrir également de sang prélevé sur un hôte vertébré (Legros, 2014).

Les femelles nécessitent également, pour la maturation de leurs œufs, un apport protéique provenant du sang des vertébrés. Un unique repas sanguin peut être suffisant pour permettre une ponte. La quantité d'œufs qu'une femelle peut pondre varie selon la quantité et la qualité

du repas sanguin consommé (Bagny, 2009).



Figure 7. Femelle adulte d'*Aedes albopictus* (Bagny, 2009)

1.5. Cycle de vie

À l'instar de tous les moustiques, l'*Aedes albopictus* présente une activité rythmique, saisonnière et nyctémérale. On le trouve surtout en milieu urbain où il utilise des habitats anthropiques, c'est-à-dire façonnés par l'homme, pour la ponte. Par conséquent, des récipients tels que des soucoupes, des vases ou des pneus remplis d'eau stagnante constituent des lieux de reproduction idéaux pour les femelles de l'*Aedes albopictus*. L'émergence, marquant la transition du stade nymphal au stade imaginal, représente aussi le passage d'un mode de vie aquatique à un mode de vie aérien (Figure 8) (Legros, 2014).

Le cycle se déroule en deux étapes :

1. Les stades pré-imaginaux ou immatures sont caractérisés par une phase aquatique, comme l'œuf, les larves (qui se divisent en quatre stades larvaires séparés par une mue) et la nymphe. Les stades larvaires correspondent à une période de développement où la taille augmente considérablement.
2. Une phase aérienne pour le stade adulte ou imaginaire, comprenant des mâles et des femelles. Il s'agit de la saison de la reproduction et de la dispersion. Le mâle se nourrit uniquement de jus sucrés, la femelle s'alimente non seulement de jus sucrés (qui fournissent l'énergie nécessaire au vol), mais aussi de sang humain et (ou) animal qui favorise le développement des ovaires (Carnevale et *al.*, 2009). Elle est rapidement suivie par l'accouplement. Chaque femelle s'accouple une seule fois, les spermatozoïdes étant temporairement stockés dans une spermathèque (Legros, 2014).

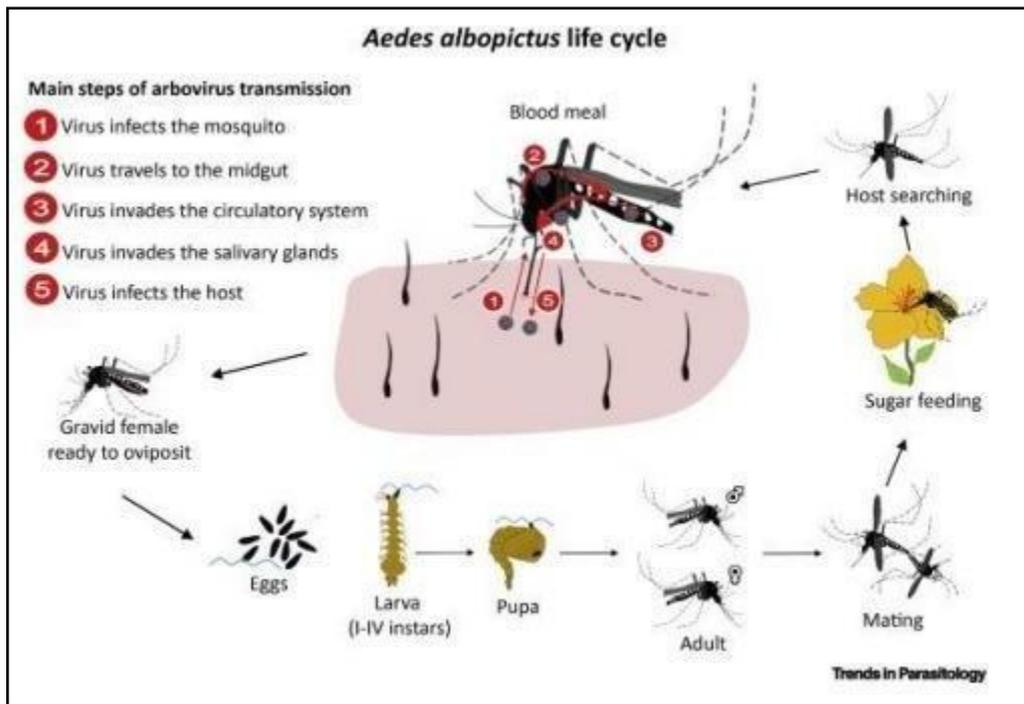


Figure 8. Cycle de vie d'*Aedes albopictus* (Benelli, 2020)

1.6. Les maladies transmissibles par le moustique tigre

1.6.2. Chikungunya

La propagation du CHIKV des zones tropicales vers des régions plus tempérées telles que les États-Unis et l'Europe a été principalement facilitée par l'espèce invasive *Ae. albopictus*, qui a récemment colonisé de nombreuses nouvelles zones (Naslund et al., 2021).

La multiplication du virus dans le moustique est essentielle pour en permettre la transmission. Il est important de noter que seules les femelles piquent, nécessitant du sang pour la production d'œufs. Après avoir pris un repas de sang, le virus se multiplie dans l'intestin du moustique avant d'atteindre les glandes salivaires. Lors de la piqûre, l'injection de salive permet au virus d'entrer dans l'organisme hôte. (Nakouné et al., 2007)

1.6.3. La Dengue

Le virus de la dengue a été détecté initialement chez *Aedes albopictus* durant la Première Guerre mondiale, mais son isolement de cette espèce ne s'est produit qu'à la seconde guerre mondiale. (Nakouné et al., 2007)

- Les épidémies survenues en la présence d'*Aedes albopictus* ont permis de déduire que ce dernier était le vecteur. La première vaste épidémie de Dengue s'est déclarée au Japon en 1944, affectant 200 000 personnes. L'abondance de réservoirs d'eau dans les villes japonaises durant la guerre a joué un rôle clé dans la transmission du virus. En 1978, la présence de la Dengue en Chine a été confirmée, touchant

des centaines de milliers d'individus. (Nakouné et *al.*, 2007)

Les mâles d'*Aedes albopictus* peuvent transmettre la dengue par voie sexuelle durant la gestation, et les femelles par transmission verticale. Ces éléments pourraient expliquer la persistance du virus dans les régions non endémiques (Daubigny, 2020).

1.6.3. Le Zika

Selon les résultats, *Ae. albopictus* possède le potentiel et la capacité d'être un vecteur de ZIKV à travers le monde. (McKenzie et *al.*, 2019)

Chapitre 2. Des extraits de plantes efficaces contre le moustique *Aedes albopictus*

Les interactions entre les plantes et les insectes remontent à environ 400 millions d'années, et les plantes ont développé un système de protection contre les attaques d'insectes.

L'un des moyens de lutte contre les insectes, les produits phytochimiques, est constitué des substances chimiques naturelles provenant du métabolisme des plantes. Leur efficacité est examinée en tant que pesticides car les ravageurs présentent des problèmes.

Selon Rattan, 2010 cela est provoqué par des substances phytochimiques telles que des perturbations de l'équilibre endocrinien et des restrictions des voies métaboliques.

Les phytochimiques ont attiré l'attention en tant qu'alternatives aux pesticides synthétiques qui causent des difficultés pour l'environnement. Ces derniers sont principalement utilisés comme insecticides pour réduire les populations de parasites, notamment des moustiques. Les chercheurs ont étudié différents phytochimiques extraits de fleurs de plantes, de feuilles, de fruits et de racines afin de lutter contre les moustiques. (Shin et *al.*, 2023)

Les critères de sélection d'une plante comme agent de lutte biologique comprennent la stabilité génétique, l'efficacité à faible concentration, la faible exigence nutritionnelle, la capacité de survie et d'adaptation aux diverses conditions environnementales, l'efficacité sur un large éventail de pathogènes et d'hôtes, la facilité de production et le coût abordable, l'absence de production de métabolites secondaires toxiques, la compatibilité avec d'autres traitements et la non-pathogénicité pour l'homme, ainsi que l'écotoxicologie acceptable (Alleluya et *al.*, 2021). Ce chapitre résume les résultats concernant le potentiel insecticide des extraits de plantes et des huiles essentielles sur *Ae. albopictus*.

2.1. Des plantes ayant un effet insecticide contre *Aedes albopictus*

Ae. albopictus, vecteur récurrent, il été étudié pour évaluer le potentiel larvicide des extraits de plantes provenant de 150 espèces réparties dans 52 familles botaniques arbovirus dans des pays tropicaux et subtropicaux. Le plus grand nombre des plantes dont les extraits ont été testés proviennent des familles *Fabaceae* (18 espèces), *Asteraceae* (15 espèces), *Euphorbiaceae* (10 espèces), *Rutaceae* (8 espèces), *Cucurbitaceae* (7 espèces), *Lamiaceae* (6 espèces) et *Annonaceae* (6 espèces). (Rodrigues et al., 2020).

2.1.1. Efficacité d'extrait d'*Ocimum basilicum* contre *Aedes albopictus*

2.1.1.1. Identification d'*Ocimum basilicum* :

Le genre *Ocimum*, qui appartient à la famille des *Lamiaceae*, a une distribution dans les régions tropicales et subtropicales Amérique, Afrique et Asie (O'Leary, 2016). Le basilic est connu pour son aptitude à se développer dans différentes températures et régions géographiques, ce qui en fait une plante cultivée à travers le monde (Azizah et al., 2023).

Ocimum basilicum est considéré comme l'une des plantes les plus couramment employées en Algérie (Maidi et al., 2022).

L'herbe annuelle du basilic doux présente un feuillage dense et une multitude de composants aromatiques (Nazarian et al., 2016).

Cette plante se développe dans un climat agroclimatique où les températures varient de 7 à 27 °C, les précipitations annuelles varient de 0,6 à 4,3 m et le pH du sol varie de 4,3 à 8,2. La culture de cette plante est simple et facile, qu'elle que soit cultivée à l'intérieur ou à l'extérieur (Li Chang, 2016).

Malgré sa vulnérabilité au gel et aux températures inférieures au point de congélation, cette espèce se développe dans des conditions de lumière du jour prolongée, avec un soleil plein et un sol bien drainé (Lal et al., 2018).

Le basilic doux est cultivé pour la production d'huiles essentielles, de feuilles sèches comme herbe culinaire, condiment épice ou comme plante ornementale. Il est utilisé comme ingrédient dans divers plats et préparations alimentaires, en particulier dans la cuisine méditerranéenne (Hussain et al., 2008).



Figure 9. La plante *Ocimum basilicum* (Azizah et al., 2023)

La composition chimique des huiles essentielles issues des espèces d'*Ocimum basilicum* est bien documentée. Les huiles essentielles de basilic renfermant des dérivés de monoterpènes tels que le camphre, le limonène, le 1,8-cinéole, le linalol et le géraniol, ainsi que des dérivés phénylpropanoïdes comme l'eugénol, le méthyleugénol, le chavicol, l'estragole et le méthylcinnamate (Poonkodi, 2016).

- Le procédé de préparation d'extrait d'*Ocimum basilicum* est indiqué dans l'Annexe 1.
- L'essai biologique a été réalisé selon le procédé indiqué en Annexe 2.

2.1.1.2. Efficacité larvicide d'extrait de basil contre le moustique tigre

La quantité d'hexane extraite des feuilles d'*O. basilicum* a été évaluée sur les larves du troisième stade larvaire d'*Ae. albopictus* à six concentrations différentes, allant de 6,25 à 200 g/mL, pendant les 24 et 48 heures d'exposition. Au bout de 24 heures d'exposition, les taux de mortalité des larves ont augmenté de 3,3 % en 6,25 g/mL à 100 % en 200 g/mL. Les taux de mortalité larvaire étaient plus élevés pour 12,5 g/mL (51,7 % à 66,7 %), 25,0 g/mL (68,3 % à 78,3 %) et 50 g/mL (91,7 % à 100 %) après une exposition supplémentaire de 24 heures (Figure 10) (Chan et al., 2022).

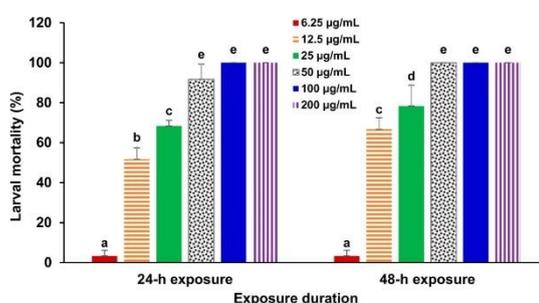


Figure 10. Les taux de mortalité des larves d'*Ae. albopictus* de troisième stade traitées avec différentes concentrations d'extrait d'hexane des feuilles d'*O. basilicum* pendant les 24 et 48 heures d'exposition.

2.1.2. Efficacité insecticide de Neem (*Azadirachta indica*) contre le moustique *Aedes albopictus*

2.1.2.1. Taxonomie

- **Règne** : végétal
- **Sous règne** : Eucaryota
- **Super embranchement** : Cormophyta
- **Embranchement** : Spermaphyta
- **Sous embranchement** : Angiospermae
- **Classe** : Dicotylédons
- **Sous classe** : Polypetalae.Juss
- **Ordre** : Ténébinthales
- **Famille** : Meliaceae A.Juss
- **Genre** : *Azadirachta*
- **Espèce** : *Azadirachta indica* A. Juss (DOSSOU, 1980)

2.1.2.2. Généralités

Par l'OMS/UNEP en 1989, Neem a été reconnu comme une source efficace de pesticides naturels respectueux de l'environnement et a été perçu comme l'un des arbres les plus prometteurs du 21^{ème} siècle en raison de son potentiel considérable dans la lutte contre les parasites, la préservation de l'environnement et la médecine (Nicoletti et *al.*, 2012).



A: l'arbre de neem



B: les feuilles et les fleurs



C: les graines

Figure 11. L'arbre de neem et leurs différentes parties (Nisa et *al.*, 2022).

Chaque partie de l'arbre de neem (feuilles, fleurs, graines, bois, écorce, brindilles) est une source d'ingrédients actifs biologiquement, avec une activité maximale trouvée dans le noyau de la graine (Figure 13). Plus de 300 composés phytochimiques ont été identifiés dans l'arbre de neem, dont plus de 130 sont des triterpénoïdes limonoïdes aux propriétés médicinales et insecticides significatives (Nisa et *al.*, 2022).

Néanmoins, la composition chimique du neem n'est pas entièrement définie, comme le montrent les nouveaux composés découverts annuellement. Les limonoïdes les plus notables du neem incluent l'azadirachtine, le nimbolide, la salannine, la nimbine, la désacétylnimbine, la mahmoodine, l'époxy-azadiradione, la désacétylgédunine et la gedunine (Kilani-Morakchi et *al.*, 2021).

Ces composés ont montré de nombreuses propriétés bénéfiques, y compris des effets anti-appétissants, insecticides et perturbateurs de croissance, utilisés dans le contrôle des parasites. La plupart des triterpénoïdes de neem se trouvent en petites quantités dans l'arbre et contribuent à l'activité bioactive totale de l'extrait de graines de neem (Kilani-Morakchi et *al.*, 2021).

L'azadirachtine A est le principal composant actif, représentant 72 à 90 % de l'activité biologique (Kilani-Morakchi et *al.*, 2021).

2.1.2.3. Propriétés et activités insecticides d'Azadirachtine

L'azadirachtine, le composant actif principal de l'huile de neem (Figure 12), perturbe la synthèse et la libération de l'hormone de mue, entraînant une inhibition du développement des larves (Isman, 2006).

Champagne et *al.* (1998) ont observé que l'azadirachtine affecte la croissance et la métamorphose de divers insectes en interférant avec la production d'ecdysone et d'hormone juvénile. L'huile de neem a démontré une puissante action insecticide contre les larves et les nymphes du moustique tigre asiatique, représentant ainsi une méthode de contrôle des larves de moustiques à la fois alternative et prometteuse (Figure 14) (Macchioni et *al.*, 2020).

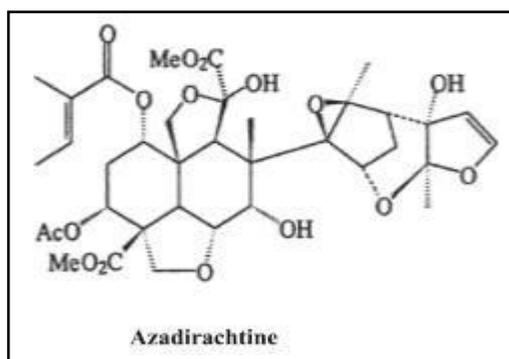


Figure 12. La forme moléculaire d'Azadirachtine (Phillogéne et *al.*, 2008)

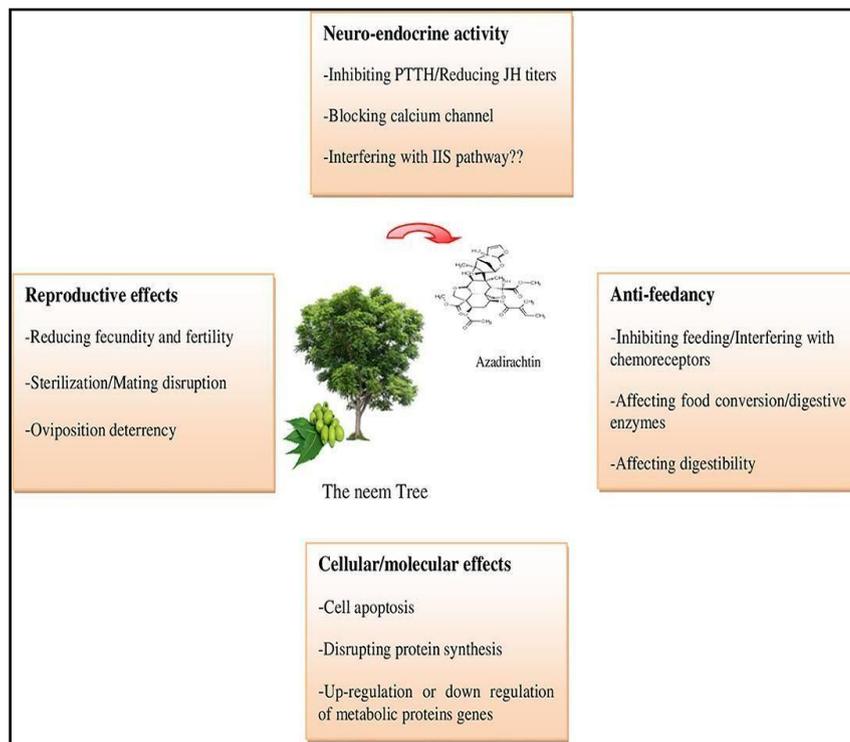


Figure 13. Principes d'action de l'azadirachtine sur les insectes (Source : <https://www.shutterstock.com/>) (Kilani-Morakchi *et al.*, 2021)

- Le procédé d'extraction d'huile essentiel des graines de neem est indiqué dans l'annexe 3.
- l'essai biologique d'huile de neem sur le moustique est indiqué dans l'annexe 4.

2.1.2.4. Influence de l'huile de neem sur l'activité larvicide de stade L1-L2 et L3-L4

Pour le stade L1-L2, les doses de 75 mg, 50 mg et 25 mg ont entraîné près de 100 % de la mortalité des larves. La dose de 75 mg entraîne la mort de toutes les larves en une semaine, tandis que les deux autres doses, 50 mg et 25 mg, entraînent la mort de ces dernières en 19 jours.

Pour le stade L3-L4, les doses de 75 mg et 50 mg entraînaient une mortalité larvaire de 100 % en une semaine, tandis que les doses de 25 mg, 10 mg et 5 mg entraînaient respectivement une mortalité de 94 % en 16 jours, 71 % en 18 jours et 41 % en 25 jours, ce qui suggère un retard de développement larvaire par rapport au témoin (Tableau 1).

Tableau 1. Le nombre des larves mortes aux stades L1-L2 et L3-L4, avec les pourcentages relatifs par dose (Macchioni et *al.*, 2020).

| Dosage | Stades larvaires L1 et L2 | | Stades larvaires L3 et L4 | |
|--------|-----------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| | Nombre des larves mortes±SE | taux de mortalité | Nombre des larves mortes± SE | taux de mortalité |
| 5 mg | 12.25±1.109 _B | 49% | 10.25±0.478 _D | 41% |
| 10 mg | 17.75±3.614 _{ABb} | 71% | 17.75±0.750 _C | 71% |
| 25 mg | 25.00±0.00 _{Aa} | 100% | 23.50±0.288 _B | 94% |
| 50 mg | 23.25±0.436 _{Aa} | 93% | 25.00±0.00 _A | 00% |
| 75 mg | 25.00±0.00 _{Aa} | 100% | 25.00±0.00 _A | 100% |
| Témoin | 13.00±2.380 _B | 52% | 0.00±0.00 _E | 0% |

-SE= Standard Error

- Les moyennes dans la colonne qui sont suivies de lettres différentes révèlent des disparités importantes.

2.1.2.5. Influence de l'huile de neem sur les pupes

Tableau 2. Effets des différentes concentrations d'huile de neem sur les pupes.

| Jour | Dosage de Neem | | | | | Témoin |
|------|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 5 mg | 10 mg | 25 mg | 50 mg | 75 mg | |
| 1 | 23.00 | 23.25 | 25.00 | 25.00 | 24.50 | 0.00 |
| 2 | 24.00 | 24.50 | - | - | 24.50 | 0.00 |
| 3 | 24.75 | - | - | - | 25.00 | 0.25 |
| 4 | 25.00 | - | - | - | - | 0.50 |

Au stade pupal, le traitement à l'huile de neem a démontré une grande efficacité dans les

premières 24 heures avec un dosage inférieur (5 mg) et un taux de mortalité élevé a été observé par rapport au témoin. (Macchioni et *al.*, 2020)

2.1.3. Efficacité insecticide de *Curcuma longa* contre le moustique tigre

2.1.3.1. Taxonomie

- **Règne :** *Planta*
- **Embranchement :** *Magnoliophyta*.
- **Classe:** *Liliopsida*
- **Ordre:** *Zingibérales*
- **Famille:** *Zingibéracée*.
- **Genre:** *Curcuma*.
- **Espèce:** *Curcuma longa* (Tefiani, 2015)

2.1.3.2. Identification de *Curcuma longa* (Turmeric)

Le curcuma (*Curcuma longa* L.) est une plante originaire de Chine qui fait partie de la famille des *Zingiberaceae* (Liu et *al.*, 2018). Il s'agit d'une plante rhizomateuse vivace et aromatique à grandes feuilles pointues (Ajaiyeoba et *al.*, 2008).



(A): Feuilles et fleurs de *Curcuma longa* L (B): Rhizomes
Figure 14. La plante *Curcuma longa* L. (Sabale et *al.*, 2013)

C. longa est une plante de 1 à 2 mètres de haut, à feuilles longues et pointillées, à fleurs en entonnoir (Figure 15). Les rhizomes jaunâtres en forme d'œuf ou de poire, cultivés en terre, ont une saveur douce avec un goût aigu (comme le gingembre) et sont couramment employés comme condiment et colorant dans les médicaments et les aliments (Craig, 1999).

Les rhizomes constituent une source abondante de deux composants principaux aux propriétés exceptionnelles : les curcuminoïdes et les huiles essentielles (Li et *al.*, 2011).

Généralement, les sesquiterpènes oxygénés sont identifiés comme prédominants et constituent

la raison principale de l'activité biologique de l'huile essentielle de *curcuma* (Ibáñez et Blázquez, 2020).

Les analyses chimiques ont montré que le terpinolène (87,8 %), l' α -phellandène (53,4 %) et l' α -turmérone (35,0 %) sont les composés prédominants de l'huile essentielle de *C. longa* provenant respectivement d'Italie, d'Inde et d'Algérie (Nkouandou *et al.*, 2020).

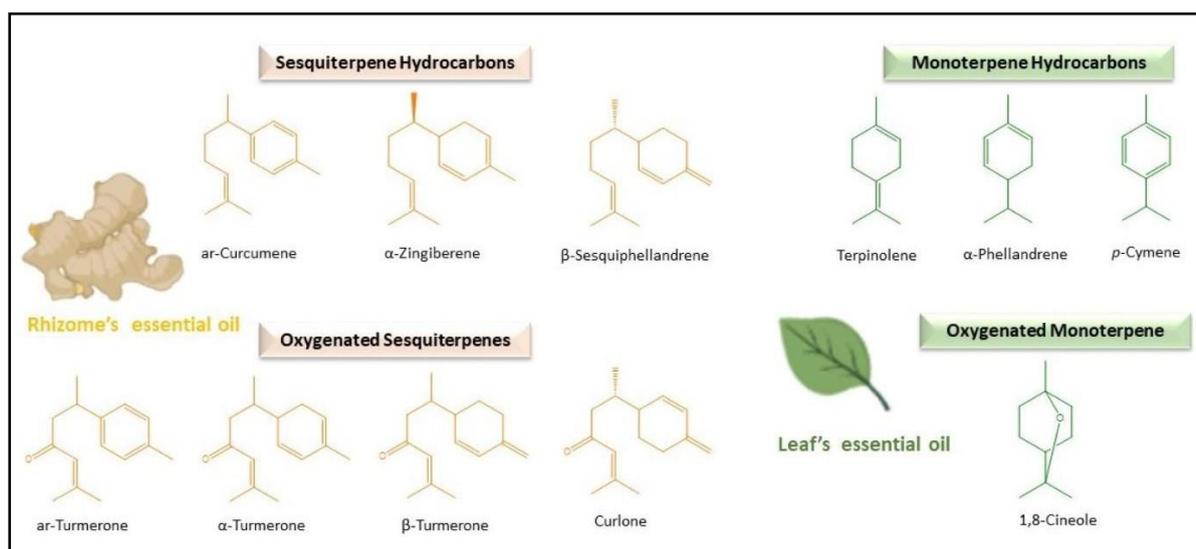


Figure 15. Principaux composés présents dans les rhizomes et les feuilles des huiles essentielles de curcuma (Ibáñez et Blázquez, 2020).

-La préparation d'extrait de *Curcuma longa L* est indiquée dans l'annexe 5.

-La recherche d'échantillons de moustiques et culture de larves est mentionné en annexe 6.

2.1.3.3. Analyse biologique de Larvicide

L'expérience biologique avec des larves a été réalisée conformément aux directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (WHO, 2014) avec quelques ajustements légers (Annexe 7). Le taux de mortalité a été déterminé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de mortalité} = (\text{nombre de larves mortes}) / (\text{nombre total de larves}) \times 100$$

Le taux de croissance des larves a été représenté par l'écart-type de trois répétitions. Les informations ont fait l'objet d'une analyse Probit afin de calculer la concentration létale médiane (LC 50), la concentration létale à 95 % (LC 95), la limite de confiance supérieure, la limite de confiance inférieure et le coefficient de régression (Lim *et al.*, 2023).

2.1.3.4. Effet larvicide de *Curcuma longa* L

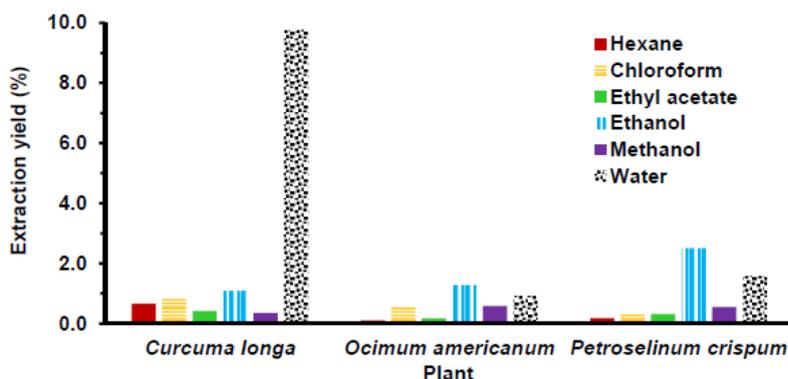


Figure 16. Les résultats de l'extraction séquentielle au solvant des extraits de plantes aromatiques. (Lim et al., 2023)

À l'exception de l'extrait d'eau, tous les extraits des rhizomes de *C. longa* ont présenté une activité larvicide 24 heures après le traitement. Lorsque sa concentration dépassait 200 µg/ml, l'extrait d'hexane était le seul extrait capable de tuer toutes les larves en 24 heures (taux de mortalité de 100%). Même si l'extrait d'eau n'a révélé une activité larvicide qu'à 48 heures après le traitement, le taux de mortalité est inférieur à 10%. Ce qui est intéressant, c'est que le taux de mortalité de l'extrait de méthanol est passé de 11,7± 2,9 % à 88,3 ±12,6 % et de 6,7±11,5 % à 93,3 ±5,8 % pour les doses de 400 µg/mL et 600 µg/mL. Ensuite, après une autre journée de traitement de 24 heures. Il est possible que ces résultats indiquent que les composés larvicidaux actifs peuvent commencer lentement (Lim et al., 2023).

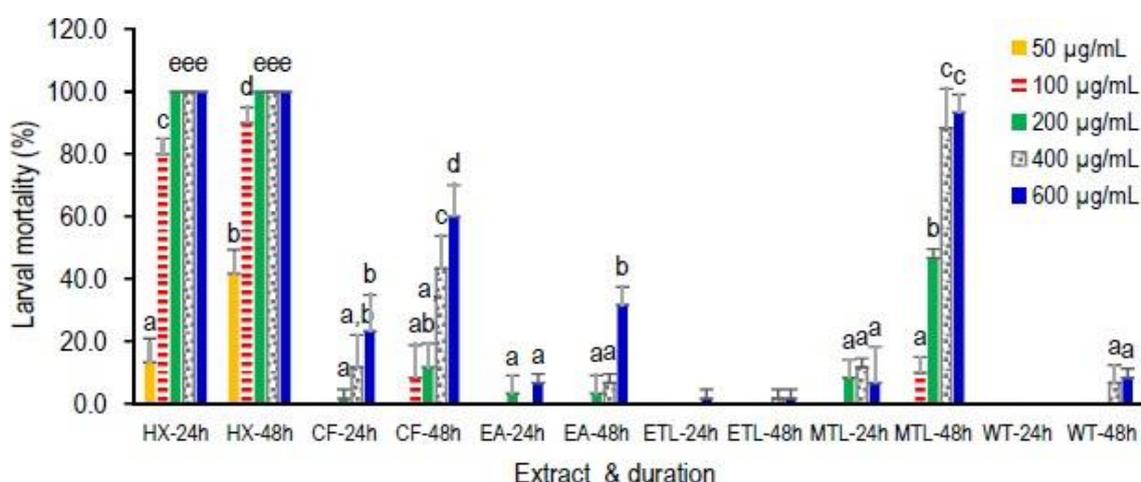


Figure 17. Mortalité larvaire d'*Aedes albopictus* traitée avec extrait de plante aromatique *Curcuma longa* (Lim et al., 2023)

Ces résultats obtenus nous ont incités à rechercher davantage de plantes qui peuvent être plus efficaces contre le moustique *Ae.albopictus* afin de créer des produits naturels protecteurs et thérapeutiques contre ce genre d'insectes nuisibles.

Chapitre 3. Projet de recherche : Etude de l'efficacité d'une espèce botanique insecticide *Rosmarinus officinalis* L. contre *Aedes albopictus*

En raison de leur dégradation rapide, de leur faible coût et de leur manque de persistance et de bioaccumulation dans l'environnement, des composants botaniques avec une activité insecticide potentielle sont proposés comme alternative aux insecticides synthétiques pour combattre les moustiques (Malik et al., 2018).

Il y a nombreuses espèces des plantes qui produisent des huiles essentielles et des extraits de plantes qui ont une activité insecticide élevée contre les moustiques, notamment contre *Ae. albopictus* (Shoukat et al., 2020).

L'huile essentielle de romarin *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae) a des propriétés anti-insectes et est utilisée comme composant actif dans plusieurs insecticides commercialisés (Isman et al., 2008). Cependant, grâce à des études répétées, nous n'avons pas pu trouver d'étude appliquée qui évalue l'efficacité du romarin contre le moustique tigre.

Dans cette optique, nous présentons dans ce chapitre une analyse des caractéristiques du romarin qui le rendent efficace contre le moustique étudié, et nous élaborons une méthodologie appliquée basée sur des méthodologies précédentes dans l'étude de l'efficacité des extraits des plantes contre les insectes qui ont été reconnus par des organisations internationales agréées.

3.1. Généralités sur l'espèce botanique *Rosmarinus officinalis* L.

3.1.1. Classification scientifique

Règne : *Plantae*

Sous règne : *Tracheobionta*

Super division: *Spermatophyta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous class : *Asteridae*

Ordre : *Lamiales*

Famille : *Lamiaceae*

Genre : *Rosmarinus* L.

Espèce : *officinalis*

Nomenclature binominale : *Rosmarinus officinalis L* (Kompelly et al., 2019).

3.1.2. Description morphologique

Le romarin est une espèce d'arbuste dense, ramifié, persistant, aux fleurs bleu-blanc, mesurant environ 1 mètre. Ses feuilles mesurent 1 à 4 cm de long et 2 à 4 mm de large, sont sessiles, coriaces, linéaires à linéaires-lancéolées, avec des bords incurvés, le côté supérieur est vert foncé et granulosa, tandis que le côté inférieur est tomentosus, avec une nervure médiane évidente et une odeur très distinctive (Kompelly et al., 2019).

3.2. Propriétés insecticides du romarin

Les propriétés insecticides de l'huile essentielle de *R. officinalis L* sont connues et sont utilisées dans de nombreux insecticides commerciaux. L'huile de romarin présente une composition chimique qui diffère selon le génotype, la géographie, le climat et la production. L'utilisation d'huile de romarin provenant de sources commerciales pour la fabrication d'insecticides nécessite une compréhension de la diversité de la composition chimique de l'huile et de déterminer les composants qui contribuent le plus à la bioactivité.

Dans 10 échantillons d'huile de romarin étudiés, le 1,8-cinéole était le principal composé, représentant en moyenne 52,1 % de l'huile en poids (de 36,3 à 71,3 %). Les autres principaux indicateurs sont le α -pinène (moyenne 9,8 %), le camphre (moyenne 9,0 %) et le β -pinène (moyenne 8,2 %). L'huile de romarin a montré son efficacité en tant que répulsif, fumigant et insecticide à contact contre diverses espèces d'insectes et d'acariens, avec une efficacité particulière contre les ravageurs des produits entreposés. (Isman et al., 2008)

3.3. Préparation d'huile essentielle de romarin

Selon l'étude réalisée par Elyemni et ses collègues en 2019, la méthode MAH (Annexe 2) est considérée comme une excellente option pour extraire les huiles essentielles de romarin parce que le délai de traitement a été nettement diminué dans ce cas (20 minutes). L'utilisation de l'hydrodistillation assistée par micro-ondes permet de produire une huile essentielle avec des niveaux d'oxygénation plus élevés, des économies d'énergie importantes, un coût réduit et une diminution de la charge environnementale grâce à une réduction du CO₂ rejeté dans l'air.

Les différentes extractions d'huiles essentielles sont séchées avec du sulfate de sodium anhydre et conservées dans l'obscurité jusqu'à leur utilisation pour l'analyse. On a réalisé les extractions à au moins trois reprises et on a calculé les valeurs moyennes du rendement et de l'écart-type.

La partie aérienne de la plante n'a été exploitée que spécifiquement. Feuilles et parties

apicales séchées à l'ombre pendant huit jours à une température ambiante de 25 °C.

La mise en place de 100 g d'échantillons de romarin dans une fiole de 2 litres contenant de l'eau distillée (200 ml) a été effectuée dans la cavité du four à micro-ondes. Le mélange a été chauffé à une puissance fixe de 600 W jusqu'à ce que toutes les huiles essentielles soient extraites. Les quantités d'huile essentielle de romarin ont été mesurées en grammes par rapport à 100 grammes de matière végétale sèche, et elles ont été calculées en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (\text{Quantité d'huile extraite (g)} \div \text{Quantité de matière végétale sèche (g)}) \times 100$$

3.4. Méthodologie proposée pour l'étude expérimental et recueil des données

Selon le guide méthodologique fixé par l'organisation mondiale de la santé intitulé par "GUIDELINES FOR LABORATORY AND FIELD TESTING OF MOSQUITO LARVICIDES" l'étude expérimentale d'efficacité larvicide de *Rosmarinus officinalis* L peut réaliser facilement (Annexe 8). En suivant les procédés de préparation des solutions et des concentrations énoncés dans la section (2.1.1.2), en suivant la méthode expérimentale dans la section (2.1.1.3), et en utilisant la même méthode d'analyse des données dans la section (2.1.1.4). (WHO., 2005)

3.5. Résultats attendus

Suite à l'exactitude des valeurs LC 50, LC 90 et des taux de mortalité, ainsi qu'à la collecte des données provenant de l'expérience (WHO, 2005). Le romarin peut être utilisé pour évaluer son efficacité contre le moustique *Aedes albopictus*.

Un taux de mortalité élevé peut être enregistré en un court laps de temps et nous affirmons ici que le romarin est très efficace contre ce moustique.

En échange, si le taux de mortalité est faible sur une longue période, nous considérons que le romarin est moins efficace ou sans efficacité si les résultats sont nuls, et c'est après que les résultats sont combinés avec les résultats des études antérieures étant donné les concentrations employées, la durée de l'apparition du résultat, la simplicité et précision du procédé expérimental et les taux de mortalité.

Outre les plantes biopesticides déjà examinées qui ont démontrés leur efficacité contre le moustique *Aedes albopictus*, le romarin est également réputé pour son efficacité contre les insectes, ce qui signifie qu'il est possible d'être efficace contre le moustique tigre si nous respectons rigoureusement les étapes expérimentales avec une étude approfondie. Les résultats

positifs seront donc une nouvelle découverte ou étude qui pourrait ouvrir de nouvelles opportunités dans la production des produits biopesticides plus sécurisés pour l'environnement.

Conclusion et perspectives

Notre étude a fourni l'alternative naturelle qui résout le problème de l'invasion et de la lutte contre *Aedes albopictus* et de préserver les autres formes de vie dans l'écosystème à la fois.

Plusieurs plantes sont efficaces contre le moustique *Aedes albopictus*, pour faciliter l'accès et l'utilisation dans la production de matériaux insecticides et de produits de protection, nous avons choisi des plantes disponibles en Algérie (Neem, Basil, Tumeric et Romarin).

De nombreuses perspectives intéressantes à nos travaux seraient le développement des produits bio-insecticides à base d'huile essentielle des plantes mentionnées et évaluer leurs efficacité par des technologies sécuritaires et promouvoir l'élaboration de produits de protection tels que les crèmes de nuit, et appareils répulsifs.

Sur le plan économique, le taux d'exportation, de production locale et d'utilisation effective des biopesticides en Algérie est très faible par rapport aux ressources naturelles et à la diversité écologique dont le pays dispose. Par conséquent, cette étude souligne la nécessité d'une évolution des marchés nationaux algériens en lien avec les biopesticides.

L'Algérie ne se distingue pas seulement par une variété extraordinaire d'écosystèmes avec une flore et une faune endémiques, mais elle bénéficie également d'un patrimoine biologique d'une diversité remarquable et de terres agricoles potentiellement capables de subvenir aux besoins de production du pays. Ceci contribue au développement du secteur agricole.

Bien que la législation actuelle permette l'utilisation des biopesticides, leur développement reste négligé. De nombreuses études, notamment sur les biopesticides d'origine végétale et microbienne, qui ne sont pas encore appliquées dans la pratique, ont été ou sont menées par les universités et diverses équipes de recherche du pays. Les résultats de ces recherches pourraient ainsi constituer le fondement du développement de la lutte biologique si l'on devait initier une production locale des biopesticides.

Références bibliographiques

- Ajaiyeoba, E. O., Sama, W., Essien, E. E., Olayemi, J. O., Ekundayo, O., Walker, T. M., & Setzer, W. N. (2008). Larvicidal Activity of Turmerone-Rich Essential Oils of *Curcuma longa*. Leaf and Rhizome from Nigeria on *Anopheles gambiae*. *Pharmaceutical Biology*, 46(4), 279–282. <https://doi.org/10.1080/13880200701741138>
- Alleluya, V. K., Kubindana, G., Mabola, J. F., Sulu, A., Kasereka, G., Matamba, A., & Ndindir, J. (2021). Utilisation des biopesticides pour une agriculture durable en République démocratique du Congo (Synthèse bibliographique). *Revue Africaine D'Environnement Et D'Agriculture*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/264393>
- Azizah, N. S., Irawan, B., Kusmoro, J., Safriansyah, W., Farabi, K., Oktavia, D., Doni, F., & Miranti, M. (2023). Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.)—A Review of Its Botany, Phytochemistry, Pharmacological Activities, and Biotechnological Development. *Plants*, 12(24), 4148. <https://doi.org/10.3390/plants12244148>
- Bagny, L. (2009). Caractérisation de l'invasion d'*Aedes albopictus* en présence d'*Aedes aegypti* à la Réunion et à Mayotte (Doctoral dissertation, Université de la Réunion). https://agritrop.cirad.fr/557063/1/document_557063.pdf
- Bechini, L. (2017). Piqûres de moustiques, un risque sanitaire à ne pas négliger (Doctoral dissertation)
- Benelli, G., Wilke, A. B., & Beier, J. C. (2020). *Aedes albopictus* (Asian tiger mosquito). *Trends in parasitology*, 36(11), 942-943.
- Boubidi, S. C. (2016). Surveillance et contrôle du moustique tigre, *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) à Nice, sud de la France. Thèse de doctorat, France, 139 P. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-01646538/document>
- Carnevale, P., & Robert, V. (Eds.). (2017). *Les anophèles: biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle*. IRD éditions. https://www.researchgate.net/publication/50929799_Les_anopheles_biologie_transmission_du_Plasmodium_et_lutte_antivectorielle#read
- Carrieri, M., Bacchi, M., Bellini, R., & Maini, S. (2003). On the Competition Occurring Between *Aedes albopictus* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) in Italy. *Environmental Entomology*, 32(6), 1313–1321. <https://doi.org/10.1603/0046-225x-32.6.1313>
- Champagne, D. E., Isman, M. B., & Towers, G. N. (1989). Insecticidal activity of phytochemicals and extracts of the Meliaceae.

- Chan, C. A., Ho, L. Y., & Sit, N. W. (2022). Larvicidal Activity and Phytochemical Profiling of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Leaf Extract against Asian Tiger Mosquito (*Aedes albopictus*). *Horticulturae*, 8(5), 443. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050443>
- Craig, W. J. (1999). Health-promoting properties of common herbs. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 491S-499S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.3.491s>
- Daubigny, A. (2020). Le pharmacien d'officine face aux moustiques tigres en Nouvelle Aquitaine.
- DOSSOU, A. D. (1980). Effet du tourteau de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) sur les coccidioses aviaires (Doctoral dissertation, UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR).
- Dowd, S. E., Gerba, C. P., & Pepper, I. L. (1998). Confirmation of the human-pathogenic microsporidia *Enterocytozoon bienersi*, *Encephalitozoon intestinalis*, and *Vittaforma corneae* in water. *Applied and environmental microbiology*, 64(9), 3332-3335.
- Elyemni, M., Louaste, B., Nechad, I., Elkamli, T., Bouia, A., Taleb, M., Chaouch, M., & Eloutassi, N. (2019). Extraction of Essential Oils of *Rosmarinus officinalis* L. by Two Different Methods: Hydrodistillation and Microwave Assisted Hydrodistillation. *the Scientific World Journal/TheScientificWorldjournal*, 2019, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2019/3659432>
- Hamaidia, K. et Soltani, N. (2021). nouveau signalement d'*aedes albopictus* à Souk Ahras, nord-est de l'Algérie. *Journal Biodiversitas de la diversité bioGuèyologique*, 22 (7). <https://web.archive.org/web/20210830043112/https://smujo.id/biodiv/article/download/8290/4966>
- Harrat Z. journée d'information sur le moustique en Algérie . insp
- Houé, V., Bonizzoni, M. et Failloux, AB (2019). Éléments endogènes non rétroviraux dans les génomes des moustiques *Aedes* et compétence vectorielle. *Microbes et infections émergents*, 8 (1), 542-555. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6455143/pdf/temi-8-1599302.pdf>
- Hussain, Abdullah Ijaz et coll. (2008). "La composition chimique, les activités antioxydantes et antimicrobiennes des huiles essentielles de basilic (*Ocimum basilicum*) dépendent des variations saisonnières." *Chimie alimentaire* 108.3 : 986- 995.
- Ibáñez, M. D., & Blázquez, M. A. (2020). Curcuma longa L. rhizome essential oil from extraction to its agri-food applications. A review. *Plants*, 10(1), 44.
- Institute Pasteur Alger. (2017). rapport sur la presence du moustique tigre en algérie . <https://pasteur.dz/ar/actualites/265-aedes-albopictus-en-algerie>

- Isman, M. B., Wilson, J. A., & Bradbury, R. (2008). Insecticidal Activities of Commercial Rosemary Oils (*Rosmarinus officinalis*.) Against Larvae of *Pseudaletia unipuncta* and *Trichoplusia ni*. In Relation to Their Chemical Compositions. *Pharmaceutical Biology*, 46(1–2), 82–87. <https://doi.org/10.1080/13880200701734661>
- Isman, MB (2006). Insecticides botaniques, dissuasifs et répulsifs dans l'agriculture moderne et dans un monde de plus en plus réglementé. *Ann. Révérend Entomol.* , 51 ,45-66.
- Izri, A., Bitam, I., & Charrel, R. N. (2011). First entomological documentation of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse, 1894) in Algeria. *Clinical Microbiology and Infection*, 17(7), 1116-1118. <https://www.clinicalmicrobiologyandinfection.com/action/showPdf?pii=S1198-743X%2814%2961401-4>
- Kilani-Morakchi, S., Morakchi-Goudjil, H. et Sifi, K. (2021). Insecticide à base d'azadirachtine : aperçu, évaluations des risques et orientations futures. *Frontières en agronomie* , 3 , 676208.
- Kompelly, A., Kompelly, S., Vasudha, B., & Narender, B. (2019). *Rosmarinus officinalis* L.: an update review of its phytochemistry and biological activity. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(1), 323–330. <https://doi.org/10.22270/jddt.v9i1.2218>
- Korangi Alleluya, V., Kubindana, G., Fingu Mabola, J., Sulu, A., Kasereka, G., Matamba, A., & Ndindir, J. (2021). Utilisation des biopesticides pour une agriculture durable en République Démocratique du Congo (Synthèse bibliographique). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*.
- Lal, R., Gupta, P., Chanotiya, C., & Sarkar, S. (2018). Traditional plant breeding in *ocimum*. In *Compendium of plant genomes* (pp. 89–98). https://doi.org/10.1007/978-3-319-97430-9_7
- Legros, V. (2014). Etude dynamique et protéomique de l'interaction entre *Aedes albopictus* et les virus émergents de la dengue et du chikungunya (Doctoral dissertation).
- Li, Q. X., & Chang, C. L. (2016). Basil (*Ocimum basilicum* L.) Oils. In *Elsevier eBooks* (pp. 231–238). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416641-7.00025-0>
- Li, S., Yuan, W., Deng, G., Wang, P., Yang, P. et Aggarwal, B. (2011). Composition chimique et contrôle qualité des produits du curcuma (*Curcuma longa* L.).
- Lim, H. K., Lee, S. Y., Ho, L. Y., & Sit, N. W. (2023). Mosquito Larvicidal Activity and Cytotoxicity of the Extracts of Aromatic Plants from Malaysia. *Insects*, 14(6), 512. <https://doi.org/10.3390/insects14060512>
- Liu, J., Zhang, M., Fu, W., Hu, J., & Dai, G. (2018). Efficacy of bioactive compounds from *Curcuma longa* L. against mosquito larvae. *Journal of Applied Entomology*, 142(8),

792–799. <https://doi.org/10.1111/jen.12527>

- Longbottom, J., Walekhwa, A. W., Mwingira, V., Kijanga, O., Mramba, F., & Lord, J. S. (2023). *Aedes albopictus* invasion across Africa: the time is now for cross-country collaboration and control. *The Lancet Global Health*, 11(4), e623–e628. <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2214-109X%2823%2900046-3>
- Macchioni, F., Sfingi, M., Chiavacci, D., & Cecchi, F. (2019). *Azadirachta indica* (Sapindales: Meliaceae) Neem Oil as a Repellent Against *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Mosquitoes. *Journal of Insect Science*, 19(6). <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez111>
- Macchioni, Sfingi, Chiavacci, & Cecchi. (2020). *Larvicidal and Pupicidal Activity of Neem Oil (Azadirachta indica) Formulation against Mosquitoes Aedes albopictus (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae)*. <http://www.acta-zoologica-bulgarica.eu/002404>
- Maidi, & Dahia. (2022). Mise en évidence des activités antimicrobiennes et antioxydantes des huiles essentielles de *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) de la région d’El Assafia (W. de Laghouat) Algérie. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 45–59, 2.
- Malik, S.U., Zia, K., Ajmal, M., Shoukat, R.F., Li, S., Saeed, M., Zafar, J. (2018). Comparative efficacy of different insecticides and estimation of yield losses on BT and non-BT cotton for thrips, red cotton bug, and dusky cotton bug. *J. Entomol. Zool. Stud.*, 6, 505–512.
- Rathy MC. (2015). Larvicidal efficacy of medicinal plant extracts against the vector mosquito *Aedes albopictus*. *International Journal of Mosquito Research*, 2(3), 80–82. <https://www.dipterajournal.com/vol2issue3/pdf/2-2-43.1.pdf>
- Näslund, J., Ahlm, C., Islam, K., Evander, M., Bucht, G. et Lwande, OW (2021). Virus émergents transmis par les moustiques liés à *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* : situation mondiale et stratégies préventives. *Maladies à transmission vectorielle et zoonotiques*, 21 (10), 731-746. <https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/vbz.2020.2762>
- Nazarian, H., Amouzgar, D., Sedghianzadeh, H. (2016). Effects of different concentrations of cadmium on growth and morphological changes in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Pak. J. Bot.*, 48, 945–952.
- Nicoletti, M., Mariani, S., Maccioni, O., Coccioletti, T., & Murugan, K. (2012). Neem cake: chemical composition and larvicidal activity on Asian tiger mosquito. *Parasitology Research*, 111(1), 205–213. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-2819-8>
- Nisa, A., Ashraf, S., Sajjad, F., & FOOD AND BIOTECHNOLOGY RESEARCH

- CENTER. (2022). *Neem tree: A Sacred Gift of Nature*. Noor publishing.
https://www.researchgate.net/publication/333683177_Neem_the_Wonder_Herb_A_Short_Review
- O’Leary, N. (2016). Taxonomic revision of *Ocimum*(Lamiaceae) in Argentina. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 144(1), 74–87. <https://doi.org/10.3159/torrey-d-14-00074.1>
- Philogène, B. J., Regnault-Roger, C., & Vincent, C. (2008). Biopesticides d’origine végétale: bilan et perspectives. *Biopesticides d’origine végétale*, 2e édition, Lavoisier Tec & doc, Paris, France, 1-24.
- Poonkodi, K. A. T. H. I. R. V. E. L. (2016). Chemical composition of essential oil of *Ocimum basilicum* L.(Basil) and its biological activities-an overview. *J. Crit. Rev*, 3(3), 56-62.
- Rattan, R. S. (2010). Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. *Crop Protection*, 29(9), 913–920. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.008>
- Rodrigues, A., Morais, S., & Martins, V. E. (2020). Larvicidal efficacy of plant extracts and isolated compounds from Annonaceae and Piperaceae against *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 13(9), 384. <https://doi.org/10.4103/1995-7645.290583>.
- Sabale, P., Modi, A., & Sabale, V. (2013). *Curcuma longa* Linn. A Phytochemical and Phytopharmacological review. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 5(2), 59–68. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:rjpp&volume=5&issue=2&article=003>
- Shin, J., Lee, J., Seo, S., Hyun, J., & Park, I. (2023). Larvicidal activities of *Cnidium officinale* Makino extract encapsulated with cellulose nanocrystal-stabilized Pickering emulsion against *Aedes albopictus* Skuse, a vector of Zika virus. *Industrial Crops and Products*, 204, 117263. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117263>
- Shoukat, R. F., Shakeel, M., Rizvi, S. a. H., Zafar, J., Zhang, Y., Freed, S., Xu, X., & Jin, F. (2020). Larvicidal, Ovicidal, Synergistic, and Repellent Activities of *Sophora alopecuroides* and Its Dominant Constituents Against *Aedes albopictus*. *Insects*, 11(4), 246. <https://doi.org/10.3390/insects11040246>
- Swan, T., Russell, T. L., Staunton, K. M., Field, M. A., Ritchie, S. A., & Burkot, T. R. (2022). A literature review of dispersal pathways of *Aedes albopictus* across different spatial scales: implications for vector surveillance. *Parasites & Vectors*, 15(1), 303. <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-022-05413-5>
- Tefiani, C. (2015). Les propriétés biologiques des huiles essentielles de *curcuma longa*,

ammoides verticillata et thymus ciliatus sp. eu-ciliatus. Thèse de Doctorat en sciences de l'université de Mostaganem.

VACUS, G. (2012). Expansion géographique d'Aedes albopictus: Quel risque de maladies émergentes en France métropolitaine?[mémoire]. Tours. Institut national de médecine agricole (INMA). [dip_mem_2012_26_vacus.pdf \(inma.fr\)](#)

WHO. WHO monographs on selected medicinal plants. World Health Organization, Geneva. <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js2200e/>

Annexes

Annexe 1. Préparation d'extrait d'*Ocimum basilicum*

Les feuilles ont été lavées à l'eau du robinet afin de retirer la terre et la saleté, puis séchées à l'air libre pendant 24 heures.

- Dans un mélangeur en acier inoxydable, les feuilles (1,3 kg) ont été ensuite broyées en petits morceaux avant d'être extraites. Le mélange de feuilles a été immergé dans de l'hexane pendant deux jours à température ambiante et agité à une vitesse de 120 rpm avec un agitateur orbital.
- Cinq cycles de macération ont été effectués. La sécheresse du filtrat a été réalisée en utilisant un évaporateur rotatif et l'extrait séché a été conservé à une température de 20 °C en attendant l'essai biologique.*in* (Chan et *al.*, 2022)

Annexe 2. L'essai biologique de *Basilic ocimum* sur les larves de moustique *Aedes albopictus*

L'étude biologique des larvicides a été réalisée en respectant les directives de l'Organisation mondiale de la santé (WHO, 2014), avec quelques ajustements. Dans un mélange diméthyl sulfoxyde-éthanol (3:2, v/v), chaque extrait a été dissous, soniqué pendant 5 minutes à l'aide d'un bain d'eau à ultrasons (Elmasonic E 100 H, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Allemagne), puis filtré à l'aide de filtres de seringue en nylon à 0,45 µm pour obtenir une solution mère de 60 mg/mL.

Les quantités adéquates de la solution mère ont été prélevées dans des récipients en plastique ronds (H : 6,0 cm P : 9,2 cm) remplis d'eau du robinet déchlorée afin de générer six concentrations différentes (6.25, 12.5, 25, 50, 100 et 200 µg/mL) appropriées pour l'essai. La capacité finale de chaque récipient était de 150 mL.

Par la suite, 20 larves du troisième stade d'*Ae. albopictus* ont été recueillies dans des conteneurs distincts. Après une heure de rétention, elles ont été introduites dans chaque conteneur. La mortalité larvaire a été contrôlée et enregistrée 24 et 48 heures après le traitement.

La quantité de DMSO-éthanol dans le milieu d'essai a été assurée à 1 % afin de diminuer la toxicité du DMSO-éthanol envers les larves. Les larves n'ont pas reçu de nourriture lors de l'essai. Si les larves ne pouvaient pas atteindre la surface de l'eau et ne se déplaçaient pas lorsqu'elles étaient poussées avec une aiguille dans la zone du siphon ou du col, elles étaient mortes. Un mélange d'éthanol-DMSO à 1 % a été employé comme marqueur négatif tandis que le temephos à 1 µg/mL a été utilisé comme marqueur positif.

Le temephos est une substance synthétique d'organophosphate larvicide qui est couramment employée dans les programmes de lutte contre les moustiques. Le test a été réalisé à trois exemplaires. Le taux de mortalité a été évalué. Les transformations morphologiques des larves traitées ont été observées au stéréomicroscope et enregistrées (Chan et *al.*, 2022).

Annexe 3. Préparation d'huile essentielle des graines neem

1- Les graines de neem ont été collectées et préparées en pâte avec un tamis en nylon commun, puis elles ont été séchées sous le soleil pendant environ 18 jours. Même si les graines non mûres ont été conservées individuellement, jusqu'à ce qu'elles soient suffisamment mûres pour être mises en pâte.

2- Après avoir broyé toutes les graines, elles étaient placées dans une étuve avec circulation d'air à une température de 55 °C pendant 72 heures.

3- Une fois le séchage terminé, les graines ont été pelées et macérées en quantité adéquate pour l'extraction, à l'aide d'un mortier (gral) par un pistil de porcelaine.

4- Une mesure de la masse de l'échantillon macéré, d'environ 11 g a été effectuée sur une échelle analytique (marque Shimadzu, modèle AUY 220), puis il a été transféré à la cartouche de filtre de papier, puis inséré dans le système d'extraction soxhlet. Le n-hexane de qualité analytique P.A. (marque quimex) a été employé comme solvant pour extraire l'huile, avec 8 cycles d'extraction.

5- Après avoir terminé l'extraction, l'échantillon a été prélevé à l'évaporateur rotatif (produits Lucadema, modèle Luca-EV01) en utilisant un bain chauffant (produits Fisatom, modèle 550). Après l'évaporation du solvant hexane, on a placé l'huile dans un bécher et on a ajouté du sulfate de sodium anhydre (marque dynamique) afin de retirer les résidus d'eau présents dans l'échantillon. Par la suite, l'échantillon contenant du sel a été passé par un filtre sur du papier, puis la masse résiduelle a été pesée sur une échelle analytique pour évaluer la production d'huile. La valeur mesurée était de 2,7 g. *in* (Cabral et *al.*, 2023)

Annexe 4. Application d'huile essentielle de neem sur *Aedes albopictus*

Trois groupes de larves aux stades L1-L2, L3-L4 et pupal de *Ae. albopictus* ont été étudiés dans l'expérience avec les doses d'huile de neem suivantes : 5 mg, 10 mg, 25 mg, 50 mg et 75mg. Dans l'expérience, l'huile de Neem est extraite à froid afin de préserver l'intégrité de la substance active (azadirachtine), et elle est soluble dans l'eau (0,3% azadirachtine A).

L'expérience expérimentale était composée d'une tasse en plastique contenant 500 ml de solution contenant de l'eau du robinet à température ambiante et de l'huile de neem (Azadirachtine A 0,3 % dans 1 litre, avec l'émulsifiant Sorbi tan, tri-9-octadecenoate et poly (oxy-1,2 éthane diyle) (Macchioni et *al.*, 2019), ainsi que 25 larves aux stades L1, L2 et L3, L4, ou au stade pupal pour chaque tasse. À chaque essai biologique, un témoin a été utilisé, mais il n'y avait pas d'huile de neem, mais de l'eau avec un émulsifiant.

Les traitements se sont répétés à quatre reprises.

Les larves ont été alimentées avec de la nourriture sèche pour chats, constituée de protéines de poulet (38 %), de matières grasses (16 %), de fibres (3 %) et de substances inorganiques (8 %), pour une masse de larve de 2,5 g.

Afin d'éviter la formation d'un film provoqué par un excès de nourriture donnée, qui est néfaste pour les larves, car il empêche leur respiration à la surface de l'eau, la nourriture a été donnée dans les six premiers jours en fonction de l'âge des larves : premier et deuxième jours 10%, troisième jour 15%, quatrième jour 21%, cinquième et sixième jours 22% (Carrieri et *al.*, 2003). S'il y avait encore de la nourriture dans les tasses, aucune autre n'a été ajoutée afin d'éviter des films.

Après un contact à température ambiante de 24 heures, on a compté le nombre de larves mortes dans chaque tasse et on a établi la moyenne des quatre répétitions pour chaque dose. Macedo et *al.*, en 1997 considéraient les larves comme mortes lorsqu'elles étaient immobiles et incapables d'atteindre la surface de l'eau. On a effectué les observations jusqu'à ce que toutes les larves soient mortes ou que des adultes aient été développés. *in* (Macchioni et *al.*,2020)

Annexe 5. Préparation d'extrait de *Curcuma longa* L

1- Les végétaux frais ont été méticuleusement enlevés de la terre et du sol en utilisant l'eau courante du robinet. Les rhizomes de *C. longa* sont de 250,89 g.

2- Les échantillons ont été macérés successivement avec des solvants de polarité croissante, tels que l'hexane, le chloroforme (Qrec, Chonburi, Thaïlande), l'acétate d'éthyle, l'éthanol (Merck, Darmstadt, Allemagne), le méthanol (RCI Labscan, Bangkok, Thaïlande) et de l'eau distillée.

3- Les macérations ont été effectuées à température ambiante et avec une agitation de 110 rpm pendant trois cycles (une journée/cycle).

4- Les solvants organiques ont été éliminés à l'aide d'un évaporateur rotatif après filtration, tandis que les extraits d'eau ont été lyophilisés. En attendant l'essai biologique, tous les extraits secs ont été stockés à une température de 20 °C. La formule suivante était utilisée pour calculer le pourcentage de rendement (p/p) :

Le taux de rendement est égal à : $(\text{Poids de l'extrait sec}) / (\text{Poids du matériel végétal frais}) \times 100$
in (Lim et *al.*, 2023)

Annexe 6. La recherche d'échantillons de moustiques et culture de larves

- À l'intérieur du campus universitaire (Kampar Campus), soixante ovitraps ont été installés de octobre 2014 à janvier 2015 afin de collecter les œufs de moustiques.
- Chaque ovitrap a été enveloppé en diagonale d'une pelote rigide (10,0 cm x 2,5cm x 0,3 cm).
- Les ovipièges étaient suspendus aux arbres à une distance d'environ 1 mètre du sol.

-Les palettes ont été changées et l'eau a été remplie trois fois par semaine plus largement.

- Les palettes renfermant des œufs ont été séchées à l'air pendant deux jours avant d'être placées dans des récipients en plastique (18,0 cm x 17,0 cm x 7,0 cm) remplis d'eau du robinet déchlorée afin de favoriser l'éclosion des nichons.
- Les larves qui ont émergé ont été alimentées avec des aliments pour chats.
- Par la suite, les larves du troisième stade ont été repérées à l'aide d'un stéréomicroscope en se basant sur leur apparence (Rueda, 2004).
- Les essais biologiques larvicides ont été réalisés uniquement avec des larves de l'espèce *Ae. albopictus*. (Lim et al., 2023)

Annexe 7: Le principe de méthode MAH.

L'hydrodistillation par micro-ondes a été effectuée en utilisant un ensemble composé d'un four à micro-ondes domestique (MWD 119 WH, whirlpool, Chine, 20L, 1100W), directement connecté à un extracteur de type Clevenger et à un système de refroidissement pour faire condenser le distillat en permanence. Dans le flacon d'extraction, on a réparti l'excès d'eau condensée pour rétablir l'eau dans le matériau végétal (Elyemni et al., 2019)

Annexe 8: GUIDELINES FOR LABORATORY AND FIELD TESTING OF MOSQUITO LARVICIDES (traduit en français).

2.1.1.2. Préparation de solutions mères ou de suspensions et concentrations d'essai:

Les matériaux techniques de nombreux composés organiques ne peuvent pas être dissous dans l'eau. Il est nécessaire de dissoudre ces matériaux dans des solvants organiques appropriés tels que l'acétone ou l'éthanol (il est recommandé de consulter le fabricant) pour préparer des solutions diluées pour les tests en laboratoire. Toutefois, les matériaux créés peuvent être mélangés avec de l'eau.

Il n'y a pas de dispositif spécial pour suspendre ou mélanger ces formulations dans l'eau : les suspensions homogènes peuvent être obtenues en agitation ou en agitation douce. La solution initiale doit contenir 20 ml de 1%, obtenue en pesant 200 mg de matériau technique et en y ajoutant 20 ml de solvant. Il est nécessaire de le maintenir dans un flacon à bouchon fermé, avec une feuille d'aluminium à la bouche du flacon comme protection. Pour dissoudre ou disperser le produit, secouez vigoureusement.

Après cela, la solution mère est successivement diluée (dix fois) dans de l'éthanol ou d'autres solvants (de 2 ml à solvant de 18 ml). Il est ensuite possible d'obtenir les concentrations d'essai en ajoutant 0,1 à 1,0 ml (100 à 1000 µl) de la dilution adéquate à 100 ml ou 200 ml d'eau sans chlore ou distillée (voir le tableau A2.1).

Pour les autres volumes d'eau d'essai, les aliquotes des dilutions ajoutées doivent être ajustées selon le tableau A2.1. Lors de la réalisation d'une série de concentrations, la concentration la plus faible doit être préparée en premier. De petits volumes de dilutions doivent être transférés dans des gobelets d'essai au moyen de pipettes à embouts jetables. L'ajout de petits volumes de solution à 100 ml, 200 ml ou plus de volumes d'eau ne causera pas de variabilité notable de la concentration finale.

Lorsqu'un essai est effectué à l'aide de matériaux formulés, de l'eau distillée est utilisée dans la préparation de la solution mère ou de la suspension à 1 % et dans les dilutions en série ultérieures, selon la teneur en principe actif.

2.1.1.3 Essais biologiques:

Dans un premier temps, les larves de moustiques sont soumises à une variété de concentrations d'essai et à un contrôle afin de déterminer la plage d'activité des matériaux considérés. Une fois que la mortalité des larves dans cette large plage de concentrations a été établie, une plage plus restreinte (de 4 à 5 concentrations, avec une mortalité de 10 % à 95 % en 24 ou 48 heures) est utilisée pour établir les valeurs de la CL50 et de la CL90.

Les échantillons de 25 larves du troisième ou du quatrième stade sont déplacés à l'aide de tamis, de boucles de tamis ou de compte-gouttes dans de petits récipients ou gobelets d'essai jetables récipients de 100 à 200 ml d'eau. Il est nécessaire de retirer les petites larves malsaines ou endommagées et de les remplacer.

Il est important que l'eau dans les tasses ou les récipients reste à une profondeur comprise entre 5 et 10 cm ; des niveaux plus profonds peuvent entraîner une mortalité excessive. On incorpore le volume de dilution adéquat (voir tableau A2.1) à 100 ml ou 200 ml d'eau dans les gobelets afin d'obtenir le dosage cible désiré, en commençant par la concentration la plus basse. On effectue quatre répétitions ou plus pour chaque concentration et on effectue un nombre égal de contrôles en utilisant de l'eau du robinet à laquelle on ajoute 1 ml d'alcool (ou du solvant organique utilisé).

Il est nécessaire de réaliser chaque test trois fois par jour. Dans le cas d'expositions prolongées, il est nécessaire d'ajouter de la nourriture aux larves à chaque tasse d'essai, surtout si une mortalité élevée est observée dans le contrôle.

Les récipients d'essai sont maintenus à 25-28 °C et de préférence une photopériode de 12 h de lumière suivie de 12 h d'obscurité (12L:12D). La mortalité larvaire est enregistrée après 24 heures d'exposition. Une lecture de 48 heures peut être requise pour les insecticides à action lente. On compte les larves en phase terminale et on les ajoute aux larves mortes afin de déterminer le taux de mortalité.

Les larves mortes sont celles qui ne peuvent pas se déplacer lorsqu'on les sonde avec une aiguille dans le siphon ou le col de l'utérus par une aiguille. Les larves qui souffrent sont celles qui ne peuvent pas s'élever vers la surface sans avoir la réaction de plongée typique lorsque l'eau est perturbée.

Les résultats sont consignés dans le formulaire fourni (Fig. A4.1), où les valeurs de LC50, LC90 et LC99 sont enregistrées, ainsi que l'analyse de pente et d'hétérogénéité. Trois essais différents de six concentrations seront inclus dans le formulaire, chacun comportant quatre répétitions. Pendant la période d'essai, les larves qui se sont nymphées annuleront l'essai. En cas de purification de plus de 10 % des larves témoins pendant l'expérience, il est nécessaire de réitérer l'essai et de le répéter. Lorsque le taux de mortalité témoin est compris entre 5 % et 20 %.

2.1.1.4. Analyse des données:

Il est nécessaire de rassembler les données de toutes les répétitions pour les analyser. Les valeurs de CL50 et de CL90 sont déterminées en utilisant une courbe de régression de la mortalité par probité à l'aide de logiciels informatiques, ou en les estimant à partir de documents journaliers. Il est nécessaire de répéter au moins trois fois les essais biologiques, en utilisant de nouvelles solutions ou suspensions et différents lots de larves à chaque fois.

Intervalles de confiance ou écarts-types des valeurs de la CL50 moyennes sont calculées et enregistrées dans un formulaire (Fig.A4.1). Si le coefficient de variation (ou l'écart-type relatif) est inférieur à 25 % ou si les limites de confiance de la CL50 se superposent (niveau significatif à $P < 0,05$), une série d'essais est considérée comme valide. Les valeurs de CL50 ou de CL90 d'autres insecticides peuvent être comparées à la puissance du produit chimique contre les larves d'un vecteur et d'une souche spécifiques.*in* (WHO.,2005)