



Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique
Université de Blida



Faculté des Sciences de la Nature et de la vie
Département de Biologie des populations et des organismes

Mémoire de Fin d'Etudes

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Sciences
Biologiques
Option : Parasitologie
Laboratoire de Biotechnologie, Environnement et Santé.

Thème

**Activité insecticide de trois huiles essentielles
(Bigaradier, Lavande et Eucalyptus) vis-à-vis du
moustique tigre *Aedes albopictus* (skuse, 1894)
vecteur d'arbovirose.**

Soutenues : Le 16 / 09 / 2019

Présenté par :

Mme ATTOUCHE Kaouthar

Mme HAMADOUCHE Abir

Membres du jury :

Mme TAIL. G	Professeur	USDB	Présidente
Mme DJELLOULI. N	MCB	USDB	Examinatrice
Mme SAIGHI. H	MCA	USDB	Promotrice
Mme BENBETKA. S	Chargée d'étude	IPA	Co-Promotrice

2018-2019

Remerciement

Avant tout chose, nous remercions Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience durant toutes les années d'études, ainsi de nous avoir guidé vers le chemin de savoir afin d'accomplir ce travail modeste.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Mme Tail G**, professeur à l'université Saad Dahleb Blida1 d'avoir accepté de présider le jury. Nous tenons également nos vifs remerciements à **Mme Djellouli N**, maître de conférences B à l'université Saad Dahleb Blida1 pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nous exprimons nos profonds remerciements et notre vive reconnaissance à **Mme Saighi H**, maître assistante A à l'université Saad Dahleb Blida1, pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique. Sa disponibilité, ses conseils et la confiance qu'elle nous a accordée, nous ont permis de réaliser ce travail.

Un grand merci à **Mme Benbetka S** Biologiste, à l'Institut Pasteur d'Algérie chargé d'étude IPA pour son aide, sa disponibilité, ses encouragements, ces conseils, son aide tout au long de ce travail et sa sympathie au quotidien.

Un merci très spécial à **Mr Benallal K** Biologiste, Entomologiste Médical à l'Institut Pasteur d'Algérie pour avoir eu la patience de répondre à nos innombrables questions.

Nous remercions **Mr Boulahia A** directeur de jardin d'essai du Hamma qui nous a honoré en acceptant de nous accueillir, **Mme Touahri S** ingénieur en agronomie pour ces précieux conseils et son aide, **Mme Kadri S** conservatrice du jardin d'essai pour sa sympathie et son accueil, nous remercions également toute l'équipe de **service production** et plus particulièrement **Mme Laraba A** pour sa précieuse aide et soutien.

Nous remercions toute l'équipe du Laboratoire d'Eco-épidémiologie parasitaire et génétique des populations de **L'institut pasteur d'Algérie**.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à les doctorants **Mr Degaichia H** et **Mme Bachir K** d'avoir accepté de réaliser l'analyse statistique de nos résultats expérimentaux.

Nous remercions également tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

À la fin nous exprimons nos remerciement à toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la Réalisation de ce travail.

Dédicaces

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire !

À mon père **Ahmed**, qui m'a accompagné dans tout mon parcours, tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter.

À ma très chère mère **Hafidha**, la source de ma vie, d'amour et de tendresse qui m'a toujours aidée et n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Elle qui a rendu possible ce choix dans les meilleures conditions.

Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que Dieu le tout puissant vous préservez et vous accordez meilleure santé et longue vie.

À mes sœurs **Hanane** et **Mouna**, mes frères **Mohamed** et **Sif Eddin** et mes petites nièces **Iris** et **Naya** pour leur présence, encouragement et leur amours.

À toute ma famille **Hamadouche & Boualem**, spécialement à ma grande mère **Fatma Zohra**, mes oncles, mes tantes, mes cousines et mes cousins et très particulièrement à **Abd Erraouf Akcm** pour sa précieuse aide et sa générosité.

À mes copines : **Noussa, Yasmine, Asma, Fida, Selma, Sonia, Nawel, Romaisa, Bouchera, Hanane, Imen, Nora** et **Fouzia** pour leur amitié, leur soutien inconditionnel et leur aide et encouragement.

À mes amis et frères de cœur : **Mohamed, Oussama, Sofiane, Oualid, Bakoura, Hacini** pour leur aide et leur soutien.

Je tiens à remercier ma binôme **Kaouthar** pour ses encouragements, sa patience et sa compréhension.

Enfin, je remercie tous mes Ami(e)s, mes collègues et les membres de **NSC** (Natural Sciences Club) Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

ABIR

Avec l'aide d'ALLAH, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

A mes parents,

Ma mère **Hayet**, La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, merci pour ton amour, ta tendresse, ta présence et ta patience.

Mon père **Abdelhalim**, l'homme de ma vie, mon exemple éternel, ma source de joie et de bonheur, merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Ce travail est le résultat de longues années de sacrifices et de privations que vous consentis pour mon éducation, et ma formation. Vous m'avez inculqué la droiture, la tolérance et l'amour.

Je vous souhaite la bonne santé et que dieu vous garde.

Acceptez ce travail comme le fruit de vos sacrifices.

Mon frère **Abderraouf**, qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite. J'espère que tu feras mieux que moi. Que dieu te protège.

A la mémoire de Ma grand-mère paternel **Houria** et mon grand-père maternel **Ameur** qui ont souhaité vivre pour longtemps juste pour nous voir réussir.

Puisse Allah vous garde dans son vaste paradis.

A mon grand-père paternel **Tayeb** et ma grand-mère maternel **Khiera**, ce travail est le résultat de vos prières incessantes et de votre tendresse et amour, que dieu vous procure santé et joie pour le restant de la vie.

A toutes ma famille **ATTOUCHE** et **SOUMATI** sans exception.

A toutes mes amies

Meriem, Wissam, Ouardia, Dikra, Safia.

Pour tous les moments de joie et de bonheur qu'on a pu vivre ensembles.

Ma chère binôme **Abir** qui a été à mes côtés durant cette expérience, et avec laquelle j'ai partagé de très bons moments et que je la souhaite beaucoup de bonheur et réussite.

Je tiens à remercier mon fiancé **Lokman** qui m'a beaucoup soutenu et encouragé à réaliser ce travail.

Kaouthar

Résumé :

Aedes albopictus, communément connu comme le moustique tigre asiatique le plus invasif dans le monde, face à ces menaces et afin de contrer la propagation de ce vecteur, des essais de toxicité de trois huiles essentielles (*Eucalyptus radiata*, *Citrus bigaradia* et *Lavandula officinalis*) à 1%, ont été conduits conformément au protocole standards OMS, au laboratoire sur les stades larvaires (L3 et L4) et le stade adulte du moustique tigre, *Aedes albopictus* vecteur de nombreux arboviroses. Ces tests préliminaires, montre que la mortalité induite par l'essence du *Citrus bigaradia* et d'*Eucalyptus radiata*, varie significativement en fonction des doses et du temps ($P = 0.000$).

Le stade adulte est le plus vulnérable à l'HE d'*Eucalyptus radiata* que les stades larvaires avec des DL50 et DL90 de 7.20 g/l et 28.11 g/l respectivement. Cependant, l'huile essentielle du *Citrus bigaradia* a montré des propriétés larvicides intéressantes, elle induit 92% de mortalité 24 heures après traitement avec la concentration (10 g/l), avec des DL50 et DL90 de 5.84 g/l et 10.89 g/l respectivement. Aucune mortalité larvicide n'a été notée avec l'essence de *lavandula officinalis*. Les adultes exposés à la concentration (10 g/l) expriment après 24h un taux de mortalité ne dépassant pas les 50%.

Mots clés : *Aedes albopictus*, Huile essentielle, *Citrus bigaradia*, *Eucalyptus radiata*, *Lavandula officinalis*, toxicité, DL50 et DL90.

Abstract :

Aedes albopictus, commonly known as the most invasive asian tiger mosquito in the world, facing these threats, and in order to counter the spread of this vector, toxicity tests of three essential oils (*Eucalyptus radiata*, *Citrus bigaradia* and *Lavandula officinalis*) 1%, were conducted in accordance with the WHO standard protocol, in the laboratory on the larval stages (L3 and L4) and the adult stage of the tiger mosquito, *Aedes albopictus*, vector of many arboviroses. These preliminary tests show that the mortality induced by the essence of *Citrus bigaradia* and *Eucalyptus radiata* varies significantly depending on the doses and the time ($P = 0.000$). The adult stage is more vulnerable to *Eucalyptus radiata* HE than the larval stages with LD 50 and LD 90 of 7.20 g / l and 28.11 g / l respectively. However, the essential oil of *Citrus bigaradia* has shown interesting larvicidal properties, it induces 92% mortality 24 hours after treatment with the concentration (10 g / l), with LD 50 and LD 90 of 5.84 g / l and 10.89 g / l respectively. No larvicidal mortality was noted with the essence of *lavandula officinalis*. Adults exposed to the concentration (10 g / l) express after 24 hours a mortality rate not exceeding 50%.

Key words : *Aedes albopictus*, Essential oil, *Citrus bigaradia*, *Eucalyptus radiata*, *Lavandula officinalis*, Toxicity, LD 50 and LD 90.

ملخص :

الزاعجة البيضاء ، المعروفة باسم بعوضة النمر الآسيوية الغازية في العالم. لمواجهة هذه التهديدات، و انتشار هذا الغزو، أجريت اختبارات السمية لثلاثة زيوت أساسية بنسبة 1% (الأوكالبتوس، البرتقال المر والخزامى) وفقا للبروتوكول القياسي لمنظمة الصحة العالمية OMS، على مراحل اليرقات L3، L4 و مرحلة البالغين من بعوضة النمر *Aedes albopictus*، ناقلات العديد من الفيروسات القهرية Arbovirus. تظهر هذه الاختبارات الأولية أن معدل الوفيات الناجمة عن *Eucalyptus radiata* و *Citrus bigaradia* تختلف اختلافا كبيرا مع الجرعة والوقت ($P = 0.000$). مرحلة الكبار هي الأكثر عرضة للزيت الأساسي للأوكالبتوس *Eucalyptus radiata*، حيث أن الجرعات المميتة DL50 و DL90 لمرحلة اليرقات هي 7.20 غرام / لتر و 28.11 غرام / لتر على التوالي ومع ذلك، فإن الزيت الأساسي للبرتقال المر *Citrus Bigaradia* أظهر خصائص مثيرة للاهتمام، سببت 92% من الوفيات بعد 24 ساعة من العلاج حيث أن الجرعات المميتة DL50 و DL90 هي 5.84 غرام / لتر و 10.89 غرام / لتر على التوالي. ولم تسجل أية وفيات للزيت الأساسي للخزامى على اليرقات *Lavandula officinalis* و يبلغ معدل وفيات البالغين المعرضين للتركيز (10 غرام/لتر) بعد 24 ساعة عن معدل وفيات لا يتجاوز 50 %.

الكلمات المفتاحية : *Aedes albopictus* بعوضة النمر، الزيوت الأساسية، *Citrus bigaradia* *Eucalyptus radiata* ، *Lavandula officinalis* ، السمية، الجرعة المميتة DL50 و DL90.

Liste des figures

Figures	Titres	pages
Figure 01	Œufs d' <i>Aedes albopictus</i>	3
Figure 02	Larve d' <i>Aedes albopictus</i>	4
Figure 03	Nymphe d' <i>Aedes albopictus</i>	5
Figure 04	Spécimens d' <i>Aedes albopictus</i> (A: Mâle et B: Femelle).....	7
Figure 05	Cycle biologique d' <i>Aedes albopictus</i>	8
Figure 06	Carte de la distribution prédite d' <i>Ae. albopictus</i> dans le monde	10
Figure 07	Carte prédictive des communes touchées par <i>Aedes albopictus</i> en Algérie.....	11
Figure 08	Carte prédictive des communes touchées par <i>Aedes albopictus</i> au nord de l'Algérie.....	11
Figure 09	Positionnement du jardin d'essai du Hamma sur la carte (Wilaya d'Alger).....	19
Figure 10	Les huiles essentielles.....	20
Figure 11	Plan du Jardin d'Essai du Hamma d'Alger et les sites de piégeages (E.P.A Jardin d'Essai).....	21
Figure 12	Pièges pondoirs.....	22
Figure 13	Piège BG SENTINEL 2.....	22
Figure 14	Aspirateur électrique : CDC Backpack.....	23
Figure 15	Insectarium de l'Institut Pasteur d'Algérie, Annexe - sidi Fredj.....	24
Figure 16	Bacs d'élevage.....	25
Figure 17	Croquettes de chat.....	25

Liste des figures

Figure 18	Larves et les nymphes d' <i>Aedes albopictus</i> dans les bacs d'élevage.....	25
Figure 19	Cages d'élevage.....	25
Figure 20	Gorgement des femelles sur la souris.....	25
Figure 21	Relaxant utilisé pour endormir les souris.....	25
Figure 22	Ponte des œufs d' <i>Aedes albopictus</i>	26
Figure 23	Œufs d' <i>Aedes albopictus</i> sous loupe binoculaire (Gr. 0,8x25).....	26
Figure 24	Préparation des concentration des huiles essentielles.....	27
Figure 25	Préparation des gobelets (99ml d'eau distillée) et répartition des larves de stade 3 et 4.....	27
Figure 26	Dispositif expérimental du test de toxicité sur les larves.....	28
Figure 27	Imprégnation des Papiers Buvard par l'huile essentielle.....	29
Figure 28	Insertion des papiers imprégnés après séchage.....	29
Figure 29	Aspiration et répartition des femelles dans les tubes d'observations.....	29
Figure 30	Transfert des femelles du tube d'observation vers le tube d'exposition...	29
Figure 31	Dispositif de l'OMS pour tester la sensibilité des moustiques adultes.....	30
Figure 32	Cage d'un couple d' <i>Ae. albopictus</i>	31
Figure 33	Emergence d'adulte d' <i>Ae. albopictus</i>	31
Figure 34	Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des larves (L3, L4) exposées à l'huile essentielle de l' <i>Eucalyptus radiata</i>	33

Liste des figures

Figure 35	Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des adultes d' <i>Aedes albopictus</i> exposées à l'huile essentielle de l' <i>Eucalyptus radiata</i>	34
Figure 36	Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des larves (L3,L4) exposées à l'huile essentielle de <i>Citrus bigaradia</i>	35
Figure 37	Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des adultes d' <i>Aedes albopictus</i> exposées à l'huile essentielle de <i>Citrus bigaradia</i>	35
Figure 38	Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des larves d' <i>Aedes albopictus</i> exposées à l'huile essentielle de <i>Lavandula officinalis</i>	36
Figure 39	Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des adultes d' <i>Aedes albopictus</i> exposées à l'huile essentielle de <i>Lavandula officinalis</i>	37
Figure 40	Droite de régression des doses d'HE d'Eucalyptus en fonction de la mortalité des larves (L4) après 24H d'exposition.....	38
Figure 41	Droite de régression des doses d'HE du Bigaradier en fonction de la mortalité des larves (L4) après 24H d'exposition.....	38
Figure 42	Droite de régression des doses d'HE d'Eucalyptus en fonction de la mortalité des adultes après 24H d'exposition.....	39
Figure 43	Droite de régression des doses d'HE du Bigaradier en fonction de la mortalité des adultes après 24H d'exposition.....	39
Figure 44	Corrélations des trois essences testées sur les stades larvaires du moustiques tigre avec les doses et la durée d'expositions.....	43
Figure 45	Corrélations des trois essences testées sur les stades adultes du moustiques tigre avec les doses et la durée d'expositions	44
Figure 46	Fécondité de la femelle.....	45

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	pages
Tableau 01	Composition chimique des huiles essentielles issues des différentes parties du bigaradier (<i>Citrus bigaradia</i>).....	18
Tableau 02	DL 50 et DL 90 de l'HE d' <i>Eucalyptus radiata</i> et <i>Citrus bigaradia</i> 24h après traitement sur les larves et les adultes d' <i>Aedes albopictus</i>	41
Tableau 03	Analyse de la variance multivariée (Larve).....	41
Tableau 04	Analyse de la variance multivariée (Adulte).....	42
Tableau 05	Analyse de la variance multivariée (Larve x Adulte).....	43
Tableau 06	Etude de quelques paramètres biologiques du moustique tigre en conditions contrôlés.	46

Liste des annexes

ANNEXE I :	Répartition mondiale d' <i>Ae. Albopictus</i> , 2016 (source ECDC).
ANNEXE II :	Méthodes d'extraction des huiles essentielles.
ANNEXE III :	Matériel non biologique.
ANNEXE IV :	Le kit de l'OMS (étude de la sensibilité des moustiques adultes).
ANNEXE V :	Analyse de la variance multivariée (MANOVA).
ANNEXE VI :	Tableau des sorties.

LISTE DES ABREVIATION

OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
WHO	World Health Organization.
<i>Ae.</i>	<i>Aedes.</i>
XIXème	19 ^{ème} siècle.
DENV	Virus du Dengue.
CHIKV	Virus du Chikungunya.
L	Larve.
ARN	Acide Ribo-Nucléique.
CDC	Center for Disease Control (centre épidémiologique).
BG	Biogents.
IPA	Institut Pasteur d'Algérie.
IRD	Institut de recherche pour le développement.
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
HE	Huile essentielle.
EO	Essentiel oil.
Gr	Grossissement.
F	Famille.
DL50	Dose létale qui tue 50% de la population.
DL90	Dose létale qui tue 90% de la population.
Log	Logarithme.
P	Probabilité.
Ddl	Degré de liberté.
Sig	Signification.
MANOVA	Multivariate analysis of variance (Analyse de variance multivariée).
PAST	Analyse des composantes principales.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
---------------------------	----------

Chapitre I : Partie bibliographique

I.1- Généralité sur <i>Aedes albopictus</i>	3
I.1.1- Position systématique	3
I.1.2 - Description morphologique	3
I.1.3 - Cycle biologique	7
I.1.4 - Stratégie de ponte : « Skip Oviposition »	8
I.1.5 - Répartition géographique	9
I.1.6 - Impact du réchauffement climatique sur le moustique tigre	12
I.1.7- Nuisance et maladies	12
I.1.8 - La lutte contre <i>Aedes albopictus</i>	14
I.2- Les Huiles Essentielles	16
I.2.1- Définition	16
I.2.2- Méthodes d'extraction des huiles essentielles	17
I.2.3- Huile essentielle d' <i>Eucalyptus radiata</i>	17
I.2.4- Huile essentielle du <i>Lavandula officinalis</i>	17
I.2.5- Huile essentielle du <i>Citrus bigaradia</i> « Orange amère »	18

Chapitre II : Matériel & Méthodes

II.1- Objectif de l'étude	20
II.2- Présentation de la station d'échantillonnage (Jardin d'Essai du Hamma, Alger)	20
II.3- Matériel biologique	21
II.4- Matériel non biologique	21
II.5- Méthodes	22
II.5.1- Piégeage	22
II.5.2- Elevage	25

Sommaire

II.5.3- Tests de toxicité	27
II.5.4- Etude de quelques paramètres biologiques du moustique tigre	31
II.6- Méthodes d'exploitations des résultats	32
II.6.1- Mortalité observée	32
II.6.2- Evaluation de la DL90 et la TL90	32
II.6.3- Analyse statistique	32
II.6.4- Analyse factorielle des correspondances	33

Chapitre III : Résultats & Discussion

III.1- Toxicité des huiles essentielles sur <i>Aedes albopictus</i>	34
III.1.1- Evolution de la mortalité moyenne cumulée	34
III.1.1.1- Huile essentielle d' <i>Eucalyptus radiata</i>	34
III.1.1.2- Huile essentielle du <i>Citrus bigaradia</i>	36
III.1.1.3- Huile essentielle du <i>Lavandula officinalis</i>	37
III.2- Evaluation de la DL 50 et DL 90 des huiles essentielles testés sur les larves et les adultes d'<i>Aedes albopictus</i>	39
III.3- Analyse de la variance multivariée	41
III.4- Analyse factorielle des correspondances	44
III.5- Etude de quelques paramètres biologiques du moustique tigre	46
Conclusion générale et perspectives	48

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction

Aedes albopictus, communément connu comme le moustique tigre asiatique le plus invasif dans le monde, grâce au transport intercontinental de ses œufs, capables de résister à la dessiccation et d'effectuer une diapause (**Benedict, 2007**). Il a une importance médicale en raison de son comportement piqueur sur l'homme, très agressif durant la journée, et sa capacité à être vecteur de virus (**Benedict, 2007**). Cette espèce peut potentiellement transmettre 26 virus (**Paupy et al., 2009**). Les principaux agents pathogènes potentiellement transmis par ce moustique sont les virus du Chikungunya, de la dengue, du Zika, de la fièvre jaune (**Paupy et al., 2009**).

L'importance du moustique tigre en santé publique provient également de la localisation de son biotope, car *Ae. albopictus* affectionne l'habitat humain dans les zones urbaines et périurbaines (**Hawley et al., 1988**). Cela augmente considérablement le contact avec l'Homme et peut être par conséquent une source importante de nuisance et peut constituer un risque pour la transmission de maladies (**Chan et al., 2011**).

Face à ces menaces, et afin de contrer la propagation des insectes et des épidémies y découlant, plusieurs méthodes ont été envisagées et adoptées. Ces stratégies de lutte se sont appuyées dans les premiers temps sur l'utilisation d'insecticides chimiques, comme les organochlorés le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoïdes de synthèse. L'utilisation fréquente et abusive de ces produits chimiques provoque des dommages irréversibles à l'environnement et à l'homme. En effet il a été prouvé qu'une perte massive de la biodiversité est liée à l'usage des insecticides à large spectre (**Denys & Tsharntke, 2002 ; Altieri & Nicholls, 2004 ; Bianchi et al, 2006**). L'effet toxique des produits chimiques entraînant de graves déséquilibres dans le milieu (pollution des eaux, contamination du sol et de l'air) (**Regnault-Roger, 2002 ; Gueye et al., 2011**), ou encore, l'érosion des sols, l'accumulation de résidus toxiques dans les produits récoltés (**Norman, 2000 ; Snedeker, 2001 ; Den Hond & Schoeters, 2006 ; Schoeters & Hoogenboom, 2006 ; Bonde et al., 2008**). Et en plus l'effet neurotoxiques qui agissant sur plusieurs systèmes physiologiques (croissance, reproduction et métabolisme) chez les organismes non visés. S'ajoute aussi à ces inconvénients, le problème de développement de résistance aux insecticides chimiques, chez les insectes traités (**Kemassi et al., 2016**). Ce qui a entraîné une plus grande attention aux produits naturels (**Pirali-Kheirabadi, 2010**). Parmi les bio insecticides, les végétaux qui connaissent actuellement un regain d'intérêt en raison de leurs propriétés éco-toxicologiques (**Cosimi et al., 2009**). En effet, les vertus thérapeutiques des plantes médicinales et aromatiques ont été expérimentées depuis des siècles et la valorisation de leurs huiles essentielles dans différentes applications notamment en tant que anti-inflammatoires, antiseptiques, antifongiques, bactéricides, antitoxiques, insecticides et

Introduction

insectifuges, tonifiantes, stimulantes, calmantes, a été rapportée (**Haddouchi, Benmansour, 2008 ; El Ouali Lalami et al., 2013**). Les huiles essentielles peuvent être utilisées comme une alternative aux insecticides synthétiques pour les programmes de lutte antivectorielle (**Govindarajan et al., 2013**). En général, les huiles essentielles de plantes ont été reconnues comme une ressource importante naturelle d'insecticides (**Gbolade, 2000**).

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de cette étude, qui consiste à évaluer l'effet toxique des huiles essentiels de trois plantes : *Eucalyptus radiata*, *Lavandula officinalis* et *Citrus bigaradia* à l'égard du moustique tigre *Aedes albopictus*, afin d'encourager l'utilisation des bio pesticides dans la lutte biologique. Pour cela notre travail s'articule sur deux parties :

La première partie est consacré sur l'utilisation des huiles essentielles et les méthodes d'échantillonnage d'*Ae. albopictus*, la deuxième partie décrit les résultats toxicologiques des essais des HE utilisées sur ce vecteur.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I.1-Généralités sur *Aedes albopictus* :

I.1.1- Position systématique :

Selon Skuse (1894), le moustique tigre *Aedes albopictus* est classé comme suit :

Phylum : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Diptera

Sous-ordre : Nematocera

Famille : Culicidae

Genre : *Aedes* (Stegomyia)

Espèce : *Aedes albopictus* (Skuse, 1894).

I.1.2.- Description morphologique :

a) Œufs :

Les œufs du genre *Aedes* sont fusiformes, elliptiques à coque dure et lisse pourvue au pôle antérieur d'un micropyle (**Danis et Mouchet, 1991**).

Ils mesurent environ 1 mm de long (**Lane et crosskey, 1993**), dépourvus de flotteurs latéraux et munis de petites saillies qui assurent leur stabilité sur le fond de l'eau (**Lema, 2000**). Pondus isolément à la surface de l'eau par les femelles, ces œufs sont blanchâtres au moment de la ponte puis s'assombrissent dans les heures qui suivent (24h) et deviennent bruns noirâtres (**Figure 01**). Ils sont très résistants à la dessiccation et peuvent résister pendant environ 6 mois (**Hawley, 1988 ; Hervé et al., 1998**). L'éclosion des œufs permet l'obtention des larves.

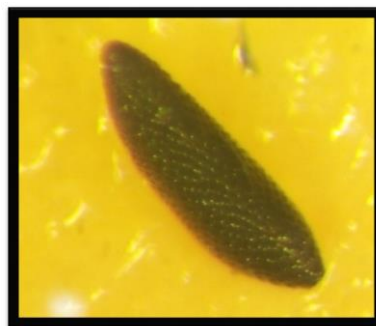


Figure 01 : Œuf d'*Aedes albopictus* (**Bendjafar et Bouguernout, 2018**).

b) Larve :

La larve a une taille d'environ 2 à 12 mm, elle est vermiforme, cylindro-conique et apode, se déplace par saccades et se nourrit généralement par filtration des débris organiques et des micro-organismes (algues, bactéries ect...) (**Rodhain et Perez, 1985**), soit à la surface, soit au fond du gîte larvaire (**Delaunay et al., 2001**). Elle préfère les collections d'eau ombragées contenant une eau claire avec peu de matières organiques (**Delatte et al., 2007**), et respire par l'intermédiaire d'un siphon respiratoire (**Robert, 1989**). Elle présente un corps nettement divisé en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen (**Figure 02**).

La larve subit trois mues successives et présente 4 stades post-embryonnaires (L1,L2,L3 et L4) tous aquatiques et durent de 5 à 20 jours, en fonction de la température et de la compétition intra spécifique (**Costanzo et al., 2011**). Au stade L4, la larve parvenue à son développement complet, subit une quatrième mue donnant une nymphe qui cesse de se nourrir.

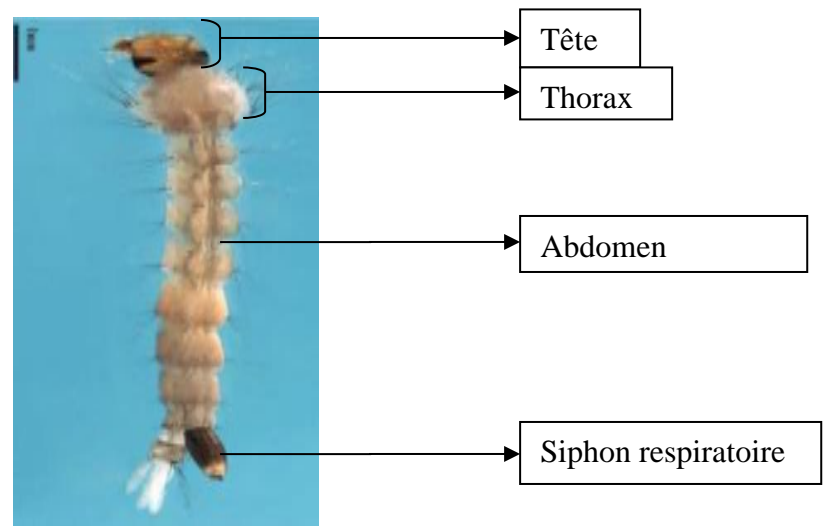


Figure 02: Larve d'*Aedes albopictus* (**Faraji et Price, 2013**).

c) Nymphe :

La nymphe est une pupe mobile, apode, en forme de virgule ou de point d'interrogation vivant dans l'eau, caractérisant le stade de repos qui s'intercale entre la larve et l'adulte. Elle est formée d'un céphalothorax globuleux et d'un abdomen (**Figure 03**).

Le céphalothorax porte des ébauches, des yeux et des appendices (antennes, trompe, pattes, ailes). Il présente deux trompettes siphonothoraciques respiratoires par lesquelles la nymphe respire l'air atmosphérique ou l'air des plantes aquatiques (**Grassé, 1979**).

L'abdomen est composé de huit segments visibles et d'un neuvième atrophié, tous portant des soies caractéristiques. Le dernier segment est muni de deux palettes natatoires ainsi qu'une soie palmée.

À la fin du stade nymphal, l'insecte subit une dernière mue libérant ainsi l'adulte.



Figure 03: Nymphe d'*Aedes albopictus* (**Henon, 2019**).

d) Adulte :

L'imago est un petit nématocère fin à corps allongé de 5 à 20 mm de long (**Rodhain et Perez, 1985**), et subdivisé en trois parties distinctes (la tête, le thorax, et l'abdomen) recouvertes d'écailles qui aident à l'identification (**Hawley, 1988**).

La tête est globuleuse et bien dégagée du thorax qui est renflé dorsalement et globuleux. Le moustique-tigre se reconnaît par la présence d'une ligne longitudinale d'écailles blanches en position centrale sur son thorax noir, visible à l'œil nu, il doit son nom à ses rayures blanches qu'il porte sur son corps et ses pattes et qu'il partage avec les espèces du même sous genre *Aedes* (*Stegomyia*) (**Duvallet et al., 2017**). Ses ailes sont entièrement noires et sans aucune tache.

L'abdomen allongé a une forme cylindrique. Il est constitué de dix segments distincts, le neuvième segment porte le génitalia pour le mâle (hypygium) et les cerques pour les femelles (**Lane et Crosskey, 1993**).

La femelle est généralement plus grosse que le mâle avec des antennes discrètes et ornées d'un petit nombre de soies. Celles du mâle sont plumeuses, touffues et munies de soies longues (**Figure 04**). Pour la plupart du temps, les mâles ne s'éloignent pas du gîte larvaire, à l'opposé des

femelles hématophages qui sont très mobiles vers les habitations pour rechercher leur repas sanguin (OMS, 2017). Les mâles ont un cycle légèrement plus court et émergent en premier des gîtes. Le sex ratio à l'émergence est d'environ 50% (Clements, 1999). L'accouplement débute généralement en vol et ne dure que quelques instants. Il s'effectue à proximité du gîte d'émergence ou de l'hôte à piquer et peut se produire avant ou juste après le premier repas de sang (Clements, 1999).

Les adultes sont nectarivores et les femelles sont en plus hématophages. Elles ont besoin d'un apport supplémentaire en protéines pour la maturation des œufs. Une femelle est capable de pondre une quantité variable d'œufs, en fonction de la quantité et de la qualité du repas pris, lors d'un repas sanguin qui peut durer 1 à 2 min, la quantité de sang prélevée fluctue entre 4 et 10 mm³. La trompe de la femelle pénètre un capillaire sanguin, le cathétérise et injecte de la salive à plusieurs reprises, ceci provoque une anesthésie locale et empêche le sang de se coaguler, c'est au cours de ce repas de sang que différents pathogènes peuvent être transmis du moustique vecteur vers leurs hôtes (Clements, 1999).

La femelle diurne est attirée par les odeurs corporelles, le gaz carbonique ou la chaleur émise par leurs hôtes (Rozendaal, 1999). Leur pique d'activité est souvent à l'aube et au crépuscule (Hawley 1988, Delatte 2009) entre 15h et 19h (Bouree et al., 2015).

Ae. albopictus est zoo-anthropophile (piquent les animaux et l'homme). Il est très bien adapté au milieu urbain. La femelle ne s'accouple qu'une seule fois et les spermatozoïdes sont stockés dans la spermathèque dont ils sont extraits progressivement pour féconder la totalité des œufs qu'elle produit pendant le reste de sa vie. La femelle est fécondée peu de temps après l'éclosion. Elle pond généralement après le premier repas sanguin. Le nombre de ponte varie de trois à cinq pontes. Une fois gravide, la femelle recherche un gîte aquatique adapté à la ponte (les vases, seaux, réserves d'eau de pluie...). Le temps qui s'écoule entre le repas sanguin et la ponte des œufs s'appelle cycle gonotrophique. La durée de ce cycle varie de deux à cinq jours. La longévité de l'adulte varie selon la température et l'humidité relative de l'air. En général, les femelles vivent en moyenne entre trente à quarante jours et les mâles trois à quatre jours (Rodhain et Perez, 1985). Les moustiques adultes du genre *Aedes* ne survivent que dans un climat humide, à des températures supérieures à 22°C jour et nuit.

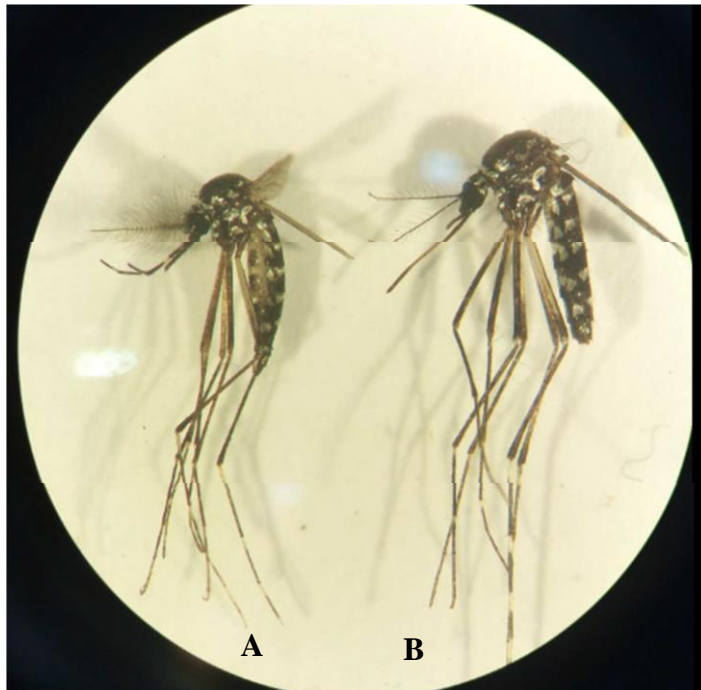


Figure 04: Spécimens d'*Aedes albopictus* (A: Mâle et B: Femelle) (Bendjafar et Bouguernout, 2018).

I.1.3.- Cycle biologique :

La femelle d'*Aedes albopictus* pond majoritairement ses œufs à l'ombre, sur un support humide foncé et à proximité d'une collection d'eau, c'est l'oviposition. La femelle disperse ses œufs dans plusieurs endroits. Elle pond dans diverses gîtes de petite dimension (Bouree et al., 2015). Les femelles colonisent des gîtes naturels ainsi que artificiels fournis par l'homme mais elles restent en mesure de coloniser les végétaux (Delaunay et al., 2009).

Elles sont présentes près des eaux stagnantes que l'on peut retrouver dans : Pneus de voitures, coques de noix de coco, souches de bambou, soucoupes de pots de fleurs, trous d'arbres, creux dans les pierres, cabosses de cacao...etc. La période d'activité d'*Aedes albopictus* commence en général du mois de mai à novembre. Durant l'hiver rentre en diapause ou hibernation survivent en état de dormance dans les régions tempérées. Les œufs sont au nombre de 50 à 300 par oviposition et éclosent dans les conditions favorables en 48h. Ils résistent à la dessiccation et ils peuvent ainsi attendre la mise en eau pendant plusieurs semaines, mois ou années avant d'éclore (Brasseur, 2011). Après l'éclosion, l'œuf va donner naissance à une larve pourvue d'un long siphon respiratoire lui permettant d'avoir une position perpendiculaire à la surface de l'eau. Ce cycle larvaire a une durée d'environ 8 jours (Figure 05).

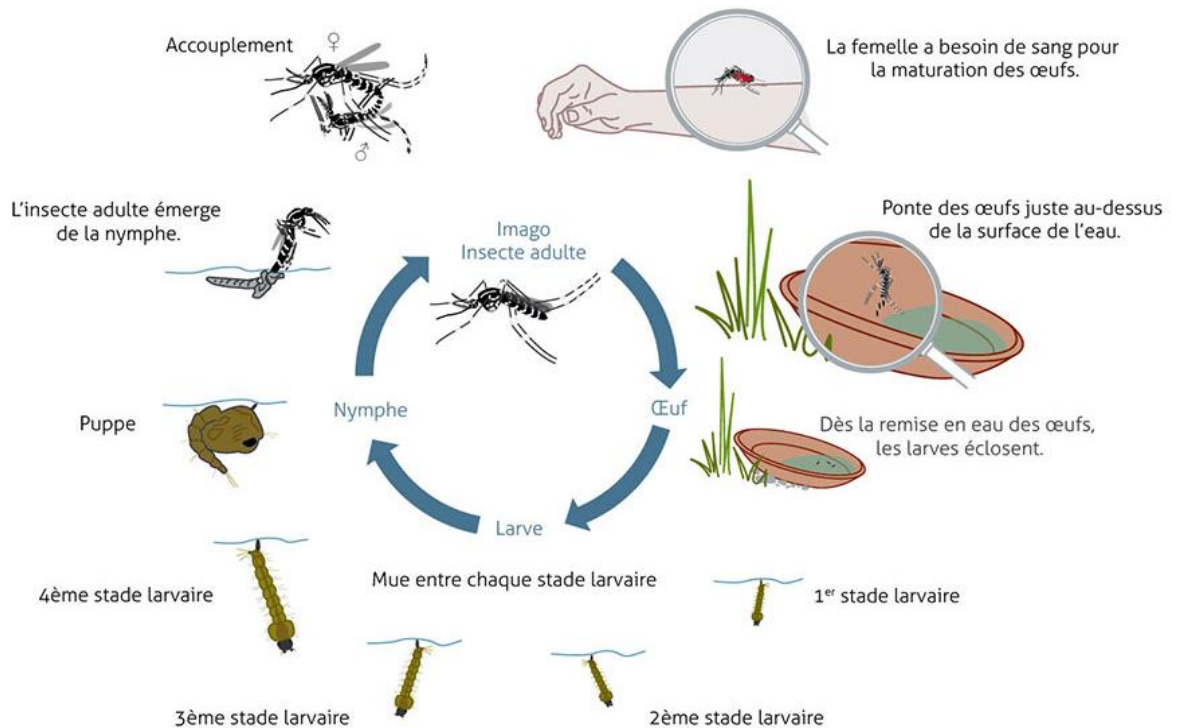


Figure 05 : Cycle biologique d'*Aedes albopictus* (Delabant, 2018).

I.1.4.-Stratégie de ponte : « Skip Oviposition » :

Les femelles pondent entre 50 et 500 œufs, 2 à 4 jours après le repas de sang (Cléments, 1999), sur des sols humides mais non inondés.

Les moustiques femelles utilisent des signaux sensoriels pour évaluer les gîtes de ponte (Thorsteinson et al., 1960 ; Wallis et al., 1954) et elles déposent leurs œufs en réponse à des stimuli spécifiques (Strickman et al., 1980 ; Bentley et Day, 1989 ; Ponnusamy et al., 2008 ; Ponnusamy et al., 2015), tels que : les conditions physico-chimiques, la présence de larves de la même espèce (stimuli physicochimiques), la présence de prédateurs, la végétation locale ..etc. (Cléments, 1999 ; Becker et al., 2010).

Les larves d'*Aedes albopictus* se développent dans des environnements qui varient en termes de disponibilité des gîtes larvaires propices (Walker et al., 1991). La concurrence pour des ressources limitées peut entraîner une mortalité larvaire (Mori, 1979). La compétition intraspécifique au sein de cette espèce, au stade larvaire, peut être forte et il a été démontré qu'elle affecte la taille du corps et le comportement adaptatif des adultes face à leur environnement (Juliano, 2009 ; Yoshioka et al., 2012). En conséquence, la mortalité des larves dépendant de la

densité est un facteur important de régulation des populations de ce genre de moustique (**Service, 1985**).

Pour atténuer la concurrence des larves pour les ressources alimentaires limitées, les moustiques peuvent disperser leurs œufs sur plusieurs gîtes comme une oviposition séquentielle (skip oviposition). Ce comportement a été observé chez plusieurs espèces (**Mogi & Mokry, 1980**).

Le skip oviposition a été rapporté chez *Ae. albopictus* (**Skuse**) dans plusieurs études (**Rozeboom et al., 1973 ; Makiya, 1976 ; Takagi et al., 1995 ; Rozilawati et al., 2007**), les chercheurs ont constaté que le nombre d'œufs collectés par gîte larvaire était souvent beaucoup plus faible que la moyenne du nombre d'œufs produit par cycle gonotrophique.

Parallèlement, la surveillance des œufs et des adultes révèle le point faible de la dynamique des populations locales d'*Ae. albopictus*. Ce comportement de skip oviposition constitue un atout en faveur de l'utilisation des pièges pondoirs létaux et de la technique d'auto dissémination (**Entwistle, 2011**) (**Boubidi, 2016**).

I.1.5.- Répartition géographique :

a) Dans le monde :

Aedes albopictus connu sous le nom de « moustique tigre », a pu coloniser tous les continents, excepté l'Antarctique, en l'espace de 40 ans (**Figure 06**). Son aire d'origine correspondait à la région de l'Asie du Sud-est, élargie à la portion sud de la Chine, du Japon, de la Corée ainsi qu'à la péninsule indienne limitée au nord par la chaîne de l'Himalaya (**Kobayashi et al., 2002**).

Le moustique est présent à Hawaï dès la fin du XIX^{ème} siècle et s'installe à Guam lors de la Seconde Guerre mondiale (**Gratz, 2004**). Il est décrit pour la première fois sur l'île de la Réunion dans les années 1900 (**Delatte et al., 2008**) au sein de l'Océan Pacifique.

Alors qu'*Ae. albopictus* restait localisé de façon stable en ces régions (Asie, Océan Indien et Océan Pacifique), on assista dès les années 1980, à une expansion des lieux d'observation de ce moustique. C'est en Europe, en Albanie plus précisément, qu'il fut signalé en 1979 (**Adhami & Reiter, 1998**) et aux USA en 1983 (**Reiter & Darsie, 1984**). Actuellement, ce moustique a envahi une trentaine d'états continentaux des USA. Sur le reste du continent américain, il s'est installé au Brésil dès 1986, au Mexique en 1988 et dans d'autres pays d'Amérique latine et les îles des caraïbes (**Annexe I**).

En 1990, il est remarqué en Australie, à Darwin (Territoire du Nord) et au Queensland. En Afrique, *Ae. albopictus* fut d'abord rapporté en Afrique du Sud en 1989. Deux ans plus tard, il est

signalé au Nigéria où il pullulait. Enregistré au Cameroun en 2000, il s'est étendu à la Guinée Equatoriale et au Gabon (**Delatte et al., 2008**).

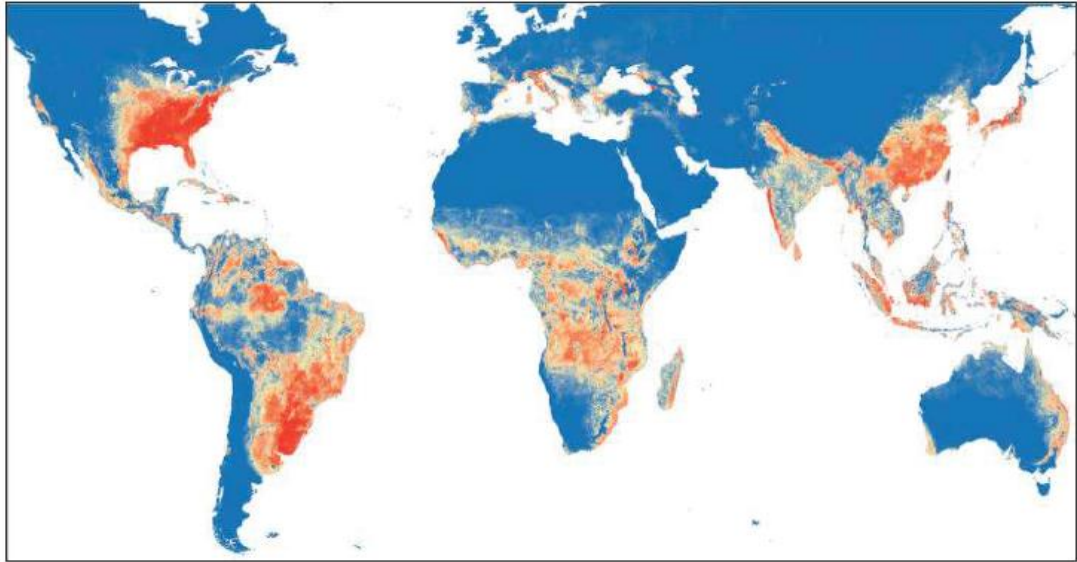


Figure 06 : Carte de la distribution prédite d'*Ae. albopictus* dans le monde (Probabilité d'occurrence) (**Kraemer et al., 2015**).

b) En Algérie :

Ae. albopictus a également été signalé en Algérie en 2010 (**Izri et al., 2011**) mais sa première installation a été constatée en 2015 à Oran au nord-ouest du pays (**Benallal et al., 2016**). Il a également été rapporté au Maroc en **2016** (**Bennouna et al., 2016**).

La carte (**Figure 07**) prédit que la répartition du moustique tigre est presque exclusivement limitée au nord du pays (**Figure 08**) 24 wilayas sont prédites :

22 wilayas avec une grande probabilité de présence du moustique tigre : Annaba, Médéa, Oran, Mascara, Aïn Defla, Aïn Témouchent, Alger, Annaba, Béjaïa, Blida, Bouira, Boumerdès, Chlef, El Tarf, Jijel, Mila, Mostaganem, Sétif, Skikda, Tipaza, Tizi Ouzou, Tlemcen.

Ainsi que deux wilayas intérieures avec une faible probabilité dans quelques endroits de deux wilayas intérieures : Batna et de Biskra (**Aouissi & Belmadani, 2019**).

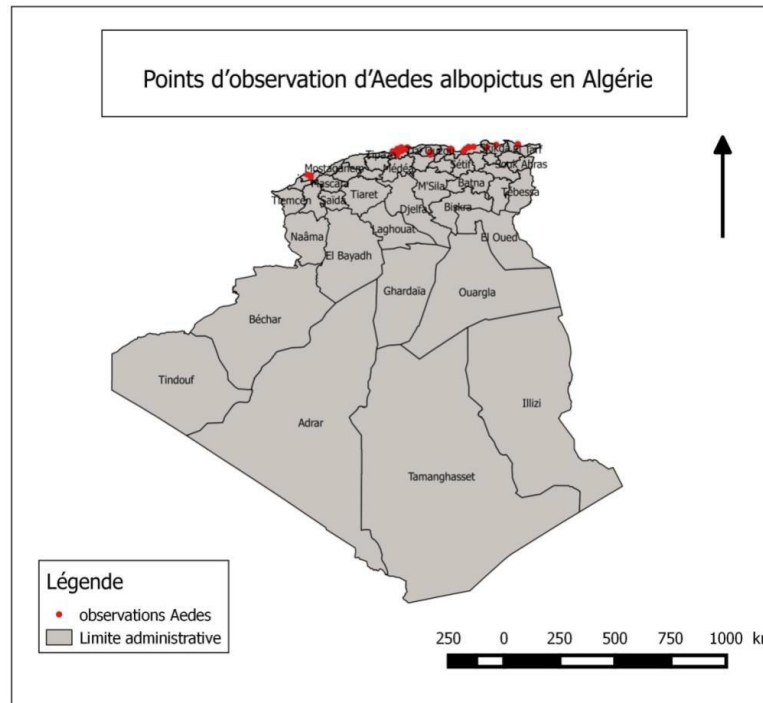


Figure 07 : Carte prédictive des communes touchées par *Aedes albopictus* en Algérie (Aouissi & Belmadani, 2019).

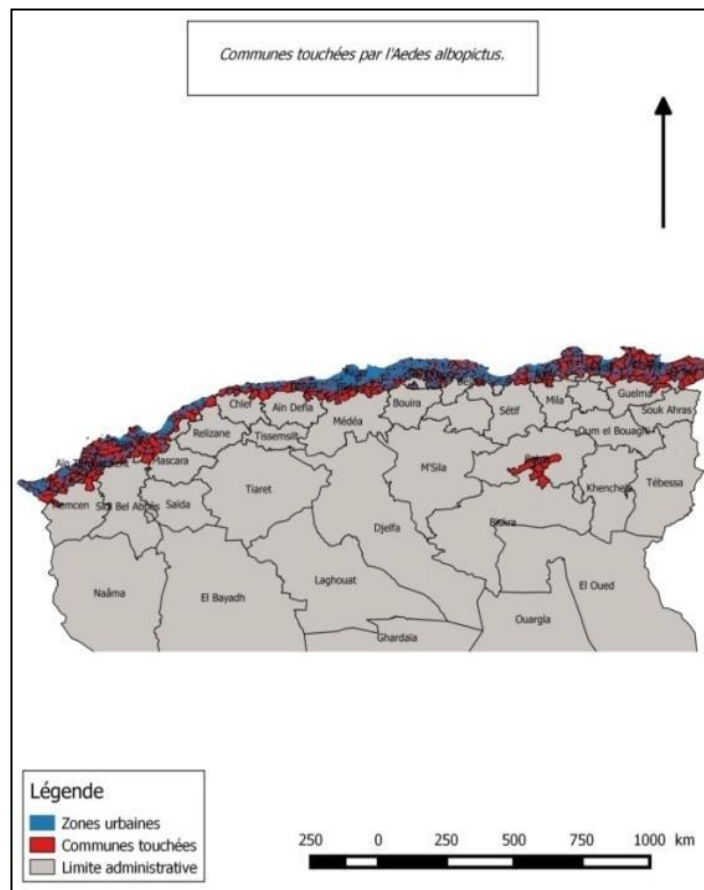


Figure 08 : Carte prédictive des communes touchées par *Aedes albopictus* au nord de l'Algérie (Aouissi & Belmadani, 2019).

I.1.6.- Impact du réchauffement climatique sur le moustique tigre :

Le réchauffement climatique engendre des modifications de la température, des précipitations et de l'humidité. Elle aurait un impact important sur les moustiques et les maladies qu'ils transmettent. En effet, ce changement climatique intervient sur la répartition, l'abondance, le comportement, la dynamique ainsi que la structuration génétique des populations de moustiques vectrices de maladie (**Bechini, 2017**).

Une étude récente sur *Aedes albopictus* a décrit la réponse de ce moustique au réchauffement climatique. Cette étude s'est penchée sur les effets du réchauffement saisonnier et son influence sur le développement annuel d'*Aedes albopictus*. A travers des modèles mathématiques, l'étude a montré que le cycle de vie du moustique est sensible au réchauffement saisonnier. Le développement semble en effet être inhibé par le réchauffement de l'été mais facilité par le réchauffement au printemps et en hiver. En effet, la hausse des températures en hiver et au printemps diminue le temps de diapause des œufs. Le réchauffement en automne prolonge la période favorable pour la reproduction et retarde la diapause. En revanche, les hausses de température en été semblent augmenter la mortalité du moustique. Cette étude a donc montré que le cycle de vie du moustique était perturbé par les changements de températures (**Bechini, 2017**).

La compréhension de la réponse d'*Aedes albopictus* au réchauffement climatique permettrait de mieux contrôler les épidémies transmises par ce moustique (**Jia et al., 2017**). D'autre part, d'après la directrice de recherche spécialiste des insectes à l'Institut Pasteur de Paris, Anna-Bella Failloux, le moustique tigre a davantage besoin de piquer à 25°C. Et lorsqu'il est infesté, plus la température augmente, plus l'organisme du moustique fait en sorte de produire davantage de virus. Il y aura ainsi une plus forte concentration de virus dans le moustique et potentiellement plus de virus qui sera injecté par la femelle lors de la piqûre (**Bechini, 2017**).

I.1.7.-Nuisance et maladies :

Les piqûres d'*Aedes albopictus* sont beaucoup plus douloureuses que celles des autres moustiques et laissent des lésions très inflammatoires et très prurigineuses. C'est un véritable fléau économique (tourisme, activités de plein air, ventes immobilières...etc).

En dehors de la seule nuisance de sa piqûre, *Aedes albopictus* représente un risque vectoriel majeur, il est en effet potentiellement transmetteur de 25 arboviroses dont les trois plus pathogènes sont : la Dengue, le Chikungunya et le Zika (**Paupy et al., 2009**).

➤ Principaux virus transmis par *Aedes albopictus* :

a) Dengue :

La dengue est de loin l'arbovirose la plus importante et un problème majeur de santé publique dans la plupart des régions tropicales et certaines régions subtropicales.

Le DENV est un flavivirus à ARN monocaténaire à polarité positive et divisé en quatre sérotypes distincts : DENV-1, DENV-2, DENV-3, DENV-4. Une personne infectée par l'un des sérotypes sera immunisée à vie pour celui-ci mais pourra encore être infectée par les autres sérotypes (**Gubler, 1998**). Cette maladie virale est transmise majoritairement par les moustiques du sous-genre *Stegomyia*. Les réservoirs urbains du virus sont l'homme et le vecteur infecté. C'est une maladie d'évolution bénigne dans sa forme commune, dite fièvre dengue classique, mais elle peut revêtir un caractère sévère avec mise en jeu du pronostic vital.

La transmission de la dengue reste insidieuse et compliquée à évaluer dans la majorité des cas où de nombreux cas sont peu symptomatiques ou asymptomatiques (**Reiter, 2010**).

b) Chikungunya

Le virus du Chikungunya (CHIKV) est un alphavirus transmis par les moustiques provoquant de la fièvre, une arthralgie sévère, invalidante et souvent chronique (**Coffey et al., 2014**). Le virus circule dans un cycle enzootique en Afrique entre les moustiques vivant dans les forêts et les primates non-humains (**Jupp et al., 1990**).

CHIKV a historiquement été maintenu dans un cycle urbain transmis à l'homme par le moustique *Ae. aegypti*, dans une moindre mesure *Ae. albopictus* (**Tsetsarkin et al., 2011**). Le virus a été détecté comme l'agent étiologique des épidémies sporadiques en Afrique et en Asie.

c) Zika

Le virus Zika (famille des Flaviviridae, genre *Flavivirus*) a d'abord été isolé à partir d'un singe rhésus dans la forêt Zika de l'Ouganda en 1947 (**Dick et al., 1952**). Depuis lors, il est apparu en dehors de son aire naturelle de répartition, en Afrique et en Asie: sur l'île de Yap (Micronésie) en 2007 (**Duffy et al., 2009**), en Polynésie française en 2013 (**Dupont-Rouzeyrol et al., 2015**), en Nouvelle-Calédonie en 2014 (**Tognarelli et al., 2016**), sur l'île de Pâques en 2014 (**Musso et al., 2014**), les îles Cook en 2014 (**Musso et al., 2015**), et plus récemment, au nord du Brésil en mai 2015 (**Zanluca et al., 2015 ; Campos et al., 2015**), puis dans de nombreux pays des Amériques et Caraïbes, avec au moins 26 pays touchés par la transmission de ce virus. Ce virus est maintenant

importé en Asie, où il génère des foyers locaux. Le ZIKV est composé de trois grandes lignées : Afrique de l'Est, Afrique de l'Ouest, Asiatique (Faye et al., 2014).

Le génotype asiatique est responsable de l'expansion actuelle de ZIKV dans les Amériques (Faye et al., 2014 ; Haddow et al., 2012). Bien que les rapports indiquent que la plupart des infections produisent des signes/symptômes comme l'éruption cutanée, la fièvre, l'arthrite ou l'arthralgie et la conjonctivite, les récentes infections ont été associées à des maladies neurologiques ou auto-immunes plus graves avec des complications telles que le syndrome de Guillain-Barré (Oehler et al., 2014) et des microcéphalies qui se manifestent par une croissance anormalement faible de la boîte crânienne et du cerveau chez le fœtus. Ce virus a un fort potentiel d'expansion géographique dans des pays où les moustiques *Aedes spp* sont présents notamment les moustiques *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*.

I.1.8.- La lutte contre *Aedes albopictus* :

Moyens de luttés contre *Aedes albopictus*:

Le contrôle des populations de vecteurs est la seule stratégie actuelle pour prévenir de nombreuses infections transmises par les moustiques (Bonizzoni et al., 2013).

a) Lutte physique :

La base de toute lutte anti-vectorielle repose sur une gestion environnementale des populations de moustiques qui passe tant par une modification des habitats destinée à prévenir, limiter ou supprimer les gîtes larvaires potentiels (drainage de milieux humides, traitement des eaux usées, remblai) que par une adaptation du comportement humain en vue de réduire au mieux le contact hôte-vecteur (gestion des déchets, suppression ou bâchage de récipients d'eau potentiels) (Bawin et al., 2014).

b) Lutte chimique :

Divers composés chimiques sont utilisés pour lutter contre les larves et les adultes d'*Aedes albopictus*. Les pyréthrinoïdes sont les adulticides les plus couramment utilisés en raison de leur faible toxicité pour les mammifères (Ranson et al., 2010).

Les plus couramment utilisées sont la perméthrine, la deltaméthrine, la cyperméthrine et lacyfluthrine pour les traitements par pulvérisation résiduelle et spatiale, généralement en prévision ou pendant une épidémie. Les pyréthrinoïdes sont couramment utilisés dans les

serpentins anti-moustiques. Il faut noter que certaines populations d'*Aedes albopictus* sont résistantes aux pyréthriinoïdes (Duvallet et al., 2017).

c) Lutte génétique :

Un contrôle génétique (par une altération ou un remplacement du matériel héréditaire) des moustiques selon deux stratégies est aussi envisageable :

-La Technique de l'Insecte Stérile (TIS), qui a permis l'éradication ou la suppression des populations de nombreux insectes nuisibles aux cultures et à l'homme, représente un moyen de lutte prometteur contre les moustiques. Cette technique s'appuie sur des lâchés en masse de mâles stérilisés par rayonnements ionisants qui en transférant un sperme stérile aux femelles sauvages vont permettre une diminution progressive de la population cible (Oliva, 2012).

-Remplacement d'une population par des individus rendus non compétents vis-à-vis d'un pathogène par le biais de manipulations génétiques (et dès lors incapables de le transmettre) semble prometteuse mais pose des problèmes d'ordre éthique et légal dans la mesure où l'impact de moustiques transgéniques sur l'environnement n'a pas été évalué (persistance des moustiques, apparition de phénotypes inattendus, expansion de maladies minoritaires non ciblées.....) (Bawin et al., 2014).

d) Lutte biologique :

Le contrôle biologique peut être défini comme «la réduction d'une population par l'utilisation de compétiteurs, prédateurs, parasites, pathogènes ou de toxines dérivées de ceux-ci» (Woodring et Davidson, 1996).

Il s'agit ainsi de maintenir une population sous un seuil acceptable en termes de nuisance et de risque épidémique par l'intermédiaire d'un organisme (dit auxiliaire) ou de substances d'origine naturelle tout en évitant des effets délétères à l'écosystème (Bawin et al., 2014).

d.1- Les entomophages : l'utilisation d'organismes prédateurs de moustiques est limitée par une production massive, difficile et coûteuse de l'entomophage de son activité prédatrice peu spécifique, ainsi qu'un déséquilibre potentiel des écosystèmes. Notons toutefois l'utilisation réussite de Copépodes dans des récipients de stockage d'eau permettant d'éliminer les stades immatures d'*Aedes aegypti* au Vietnam. Une exception peut encore être faite des poissons prédateurs larvivore tels le gambusie (*Gambusia affinis*) et le guppy (*Poecilia reticulatapers*), mais ils sont rarement employés dans ses programmes de gestion (Fanny, 2008).

d.2- Les entomopathogènes : Les organismes pathogènes ou parasites sont potentiellement plus intéressants dans le contrôle biologique des moustiques que les entomophages. Le terme de « Lutte microbiologique » sera préféré car l'organisme antagoniste sera un micro-organisme: un champignon, une bactérie, un virus ou encore un protozoaire.

Ces pathogènes possèdent la capacité de surpasser les défenses de l'insecte hôte et de l'infecter, il s'y multiplie et provoque sa mort à plus ou moins long terme que ce soit par l'émission de substances toxiques et/ou la destruction de certains tissus (**Bawin et al., 2014**).

d.3- Les extraits des plantes : L'utilisation des extraits de plantes comme insecticides est connue depuis longtemps. Les extraits de plantes aqueux ou sous forme d'huiles essentielles contiennent des substances toxiques pouvant agir efficacement sur les moustiques. Ce sont des sources de molécules naturelles présentant un grand potentiel d'application contre les insectes et d'autres parasites des plantes et du monde animal (**Guarrera, 1999**). Dans de nombreux pays, l'utilisation de plantes contre les invasions de moustique est une pratique très courante surtout dans les régions rurales (**Fanny, 2008**).

I.2- Les Huiles Essentielles :

I.2.1- Définitions :

Une HE est une substance odorante et volatile, non grasse, extraite d'un végétal sous forme liquide. Elle provient d'une sécrétion élaborée par certains végétaux et contenue dans des structures spécialisées (poils, poches et canaux sécréteurs) (**Couic-Marinier & Lobstein, 2013**). Elle pourrait être bio-synthétisée dans différents organes de la plante en tant que métabolite secondaire (**Asbahanni et al., 2015**), comme moyen de défense contre les ravageurs phytophages (**Cseke et Kaufman, 1999**).

Une HE a une composition moléculaire complexe qui lui confère des vertus uniques. Elle est liposoluble, soluble dans les solvants organiques, mais non miscibles à l'eau (**Asbahanni et al., 2015**). Elle ne contient ni protéines, ni lipides, ni glucides et ne renferme pas de minéraux ni de vitamines (**Couic-Marinier & Lobstein, 2013**). La majorité d'entre eux sont assez stables et contiennent des antioxydants naturels et des agents antimicrobiens naturels, comme dans les agrumes (**Somesh et al., 2015**).

I.2.2-Méthodes d'extractions des huiles essentielles :

Plusieurs méthodes sont actuellement utilisées pour extraire les HE des différents organes végétaux, parmi ces procédés, nous citons :

- **La distillation**
 - L'hydrodistillation (**Voir Annexe II**)
 - Entraînement à la vapeur d'eau (**Voir Annexe II**)
- **L'expression à froid (Voir Annexe II)**
- **Extraction au moyen de solvants (Voir Annexe II)**
- **L'extraction par enfleurage**
- **Hydro-diffusion (Voir Annexe II)**

I.2.3- Huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* :

- **Composition chimique et activité insecticide :**

Selon Werner (2008), l'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* est principalement composée de 65-75% des Oxydes (surtout 1,8-cinéole) ; 10-18% de Monoterpènes (surtout α -pinène, limonène) ; 8-15% de Monoterpénols (surtout α -terpinéol) ; des Sesquiterpènes jusqu'à 2% et des Aldéhydes monoterpéniques (1%). La présence de 1,8-cinéole dans l'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* va lui conférer des propriétés répulsives et insecticides. Et pourra être utiliser en diffusion pour éloigner les moustiques en été (**Batish et al., 2008**).

Une étude montre également que cette essence est une bonne alternative naturelle contre les mouches domestiques (**Kumar et al., 2012**).

Certaines publications annoncent une efficacité contre *Pediculus humanus capitis*, plus communément appelé pou (**Yang et al., 2004**).

I.2.4- Huile essentielle de *Lavandula officinalis* :

- **Composition chimique et activité insecticide :**

L'essence de *Lavandula officinalis* est riche en monoterpénols et en esters terpéniques (linalol et acétate de linalyle, respectivement) (**Couic-Marinier et al., 2014**). En quantités plus négligeables sont présents du terpinén-4-ol (monoterpène), du 3-octanone, du lavandulol, de l'acétate de lavandulyle, du limonène, du cinéole, du camphre et de l'alpha terpinéol (**Gainard, 2016**). En ce qui concerne l'HE du lavande, plusieurs bio-activités ont été documentées, dont l'effet répulsif et insecticide, d'où il a déjà été démontrées que les constituants chimiques principaux de cette huile, sont l'acétate de linalyle et le linalol, qui sont probablement responsables de l'activités

insecticides, aussi il a été démontrée que cette huile a une activité acaricide sur de nombreux parasites ravageurs de cultures ou ectoparasites des animaux (**Harnist, 2013**).

Lavandula officinalis présente un effet répulsif contre le puceron *Myzus persica* (**Koschier et Sedy, 2003**), un effet insecticide contre *Acanthoscelides obtectus*, insecte envahissant qui pond et se nourri de graines de haricots principalement (**Regnault-Roger et al., 2008**), un effet larvicide contre *Thaumetopoea pityocampa* (chenille processionnaire du pin) (**Kanat et Alma, 2004**) et un effet acaricide contre les tiques femelles au stade adulte de *Rhipicephalus annulatus* appartenant à la famille des Ixodidae (**Pirali-Kheirabadi et Teixeira Da Silva, 2010**).

I.2.5- Huile essentielle de *Citrus bigaradia* « Orange amère » :

➤ Compositions chimique :

Le tableau 01, illustre la composition chimique de l'huile essentielle du bigaradier selon les organes.

Tableau 01 : Composition chimique des huiles essentielles issues des différentes parties du bigaradier ou oranger amer (*Citrus aurantium*) (**Laurain-Mattar, 2018**).

Parties de plante	Nom de l'huile essentielle	Composés majoritaires
Écorce du fruit	Essence d'orange amère	Monoterpènes : limonène
Feuilles	Petit grain bigarade	+ 50 % d'esters terpéniques : acétate de linalyle. 30 %d'alcoolmonoterpénique : linalol.
Fleurs	Néroli bigarade	30 % de monoterpènes 40 % d'alcools terpéniques 5 % d'alcools sesquiterpéniques : trans-nérolidol

➤ **Activité insecticide**

L'HE du bigaradier agit comme un insectifuge puissant et insecticide qui va détruire les germes, les œufs et larves. Les extraits de *citrus* possèdent un bon potentiel larvicide contre les culicidés (notamment contre *Aedes albopictus*) (Mwaiko, 1992 ; Mwaiko et Savaeli, 1994). Il a été démontrée que *Citrus aurantium* possède une activité larvicide intéressante contre *Culex pipiens* (El Akhal et al., 2014).

Chapitre II

Matériels & Méthodes

II.1- Objectif de l'étude :

Le présent travail a pour objectif, d'une part l'évaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus radiata*, *Lavandula officinalis* et du *Citrus bigaradia* sur les stades larvaires et adultes du moustique tigre, *Aedes albopictus*. Et d'autre part à l'étude de quelques paramètres biologiques de ce vecteur. L'expérimentation a été réalisée au niveau de l'annexe de Sidi Fredj de l'Institut Pasteur d'Algérie dans l'Insectarium du laboratoire d'éco-épidémiologie parasitaire et génétique des populations. Elle s'est déroulée sur une période de cinq mois « du mois de mars jusqu'au mois de juillet de l'année 2019 ».

II.2- Présentation de la station d'échantillonnage (Jardin d'Essai du Hamma, Alger) :

Le Jardin d'Essai du Hamma situé au fond de la baie d'Alger dans la partie Nord-Est dans le quartier du Hamma à Alger (figure 10). Il s'étend en amphithéâtre, au pied du Musée National des beaux-arts d'Alger, de la rue Mohammed Belouizdad à la rue Hassiba Ben Bouali, et à l'Ouest par l'esplanade du Hamma avec l'hôtel Sofitel et la bibliothèque nationale sur une superficie de 32 hectares. Il est localisé à la latitude 36°43'Nord et à la longitude 03°05'Est, à une altitude qui varie de 10 à 100 m.. Il se caractérise par un climat méditerranéen tempéré typique avec un été chaud et sec et un hiver doux (**Indexe seminum, 2009-2010**).



Figure 09 : Positionnement du Jardin d'Essai du Hamma sur la carte (Wilaya d'Alger).

II.3- Matériel biologique :

a) Le moustique tigre (*Aedes albopictus*) :

Les larves et les adultes d'*Aedes albopictus* soumises aux tests biopesticides appartiennent à la 1^{ère} et 2^{ème} génération, issue de l'élevage d'une population collectée en 2019 au niveau du Jardin d'Essais du Hamma (Alger).

b) Les huiles essentielles :

Les huiles essentielles testées (**figure 10**) ont été achetées de la société (Extral-Bio) de production des huiles essentielles et cosmétique Bio, sise à Chifa (Blida), extraites à partir de la partie aérienne fraîche de chaque plante correspondante (tige et feuilles), par entraînement à la vapeur d'eau. Aussi, L'HE est certifiée (100% naturelle) car n'ayant été additionnée ou mélangée à aucun solvant organique durant la phase de production. Elle est aussi certifiée (Biologique) car provenant d'une culture où aucun engrais ou pesticides chimique n'ont été utilisés durant la phase de culture.



Figure 10: Les huiles essentielles (Originale, 2019)

c) Les souris de laboratoire :

Des souris blanches de la souche Balb/c (*Mus musculus*) (**figure 22**) élevées dans l'animalerie de l'IPA sont utilisées pour gorger les femelles du moustique tigre.

II.4- Matériel non biologique :

Tout le matériel non biologique utilisé au cours de la présente étude (outils, appareillage, produits) est consigné dans l'annexe III.

II.5- Méthodes :

➤ Sur terrain

II.5.1- Piégeage :

Dans le but de lancer un élevage en masse du moustique tigre afin d'évaluer l'activité insecticide des huiles essentielles, d'*Eucalyptus radiata*, *Lavandula officinalis* et de *Citrus bigaradia* sur ce vecteur. Trois méthodes de captures ont été utilisées : capture des œufs par des pièges pondoirs et capture des moustiques adultes par des pièges BG Sentinel 2 et aspirateur CDC Backpack. Le piégeage a été effectué dans les serres de productions et les serres de vente (**figure 11**).

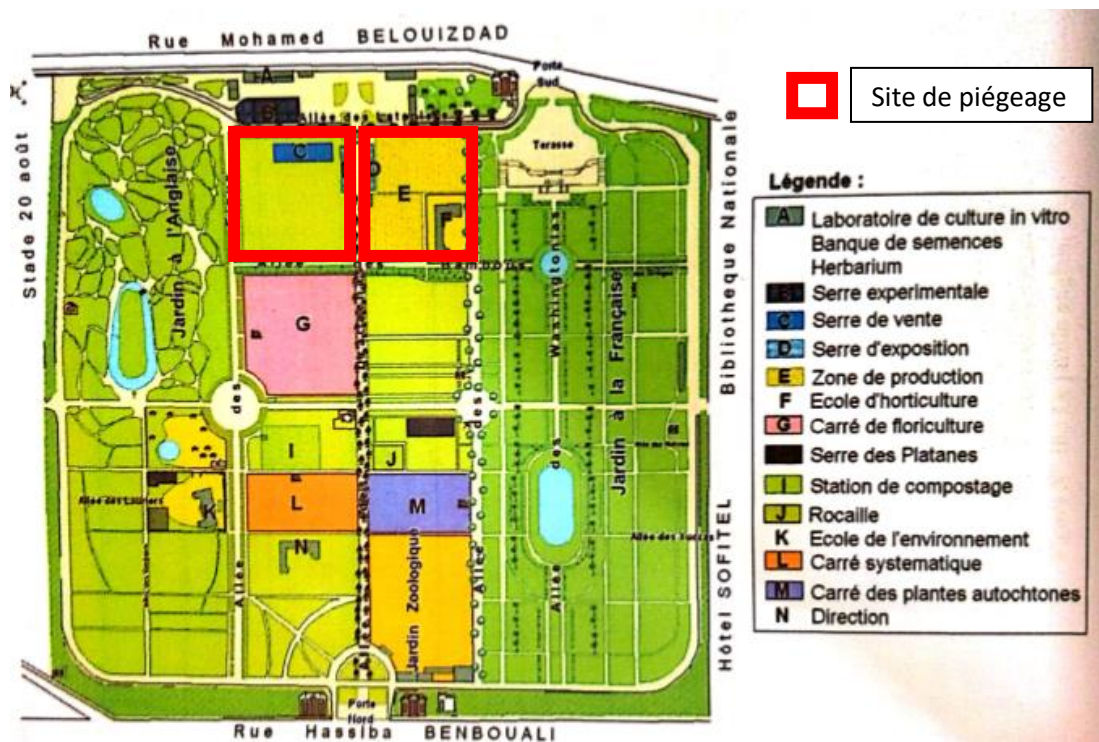


Figure 11 : Plan du Jardin d'Essai du Hamma d'Alger et les sites de piégeages (E.P.A Jardin d'Essai).

a) Pièges pondoirs :

Des pièges pondoirs constitués de seaux noirs remplis aux trois quarts avec de l'eau, recouverts intérieurement tout autour avec du papier buvard, sont soigneusement étiquetés (lieu et date de piégeage) (**figure 12**) et déposés sur le sol, sous le couvert végétal et dans des endroits humides et ombragés. La collecte des œufs et le remplacement des pondoirs se fait d'une façon hebdomadaire (de mars à juillet).



Figure 12 : pièges pondoirs (Originale, 2019).

b) **Piège BG SENTINEL :**

Le piège BG SENTINEL 2 combine de nombreuses technologies et permet des taux de captures importants et ciblés sur les insectes piqueurs nuisibles et souvent vecteurs de maladies. Les insectes sont attirés par BG LURE, “cocktail” breveté de molécules imitant la sueur humaine. Particulièrement attractif pour *Aedes albopictus*, cette espèce est alors aspirée dans une poche de capture grâce à un petit ventilateur (très économe en énergie : 3 à 4 W/j) (Biogents).

On a utilisé ce piège dans deux sites de la Wilaya d’Alger (Madania et Jardin d’Essai du Hamma) (figure 13).



Figure 13 : Piège BG SENTINEL 2 (Originale, 2018 – 2019)

c) Aspirateur électrique (CDC Backpack) :

L'aspirateur CDC Backpack, mis au point en 1990 par le centre de contrôle et de prévention des maladies (Maia *et al.*, 2011). Cet aspirateur à dos modifié CDC est utilisé pour la collecte des moustiques adultes au repos et d'autres espèces au repos dans les cultures en rangs, les plantes ornementales.

Cet appareil a été utilisé une fois au niveau du Jardin d'essai du Hamma (le 22/05/2019) (**figure14**).



Figure 14 : Aspirateur électrique : CDC Backpack (**Originale, 2019**).

➤ **Au laboratoire**

1- Mise en eau des œufs récoltés dans des boîtes d'éclosion :

Une fois au laboratoire, les œufs du moustique tigre (**Figure 23**) sont mises en eau dans des bacs d'éclosions dans le but de lancer un élevage en masse de ce vecteur.

2- Identification des larves du quatrième stade et des adultes :

L'identification des larves et des adultes a été faite à l'aide d'un logiciel très performant : « **Les Moustiques de l'Afrique méditerranéenne** ». Ce logiciel a été réalisé par l'IRD de Montpellier en collaboration avec l'Institut Pasteur de Tunis (**Brunhes et al., 2000).**

II.5.2- Elevage :

L'élevage d'*Aedes albopictus* a été maintenu dans une chambre conditionnée à une température entre 23 ° et 25 ° C, une humidité relative comprise entre 60% et 85% et une photopériode de 12 heures (**Figure 15**). Après éclosion, les larves sont nourries avec des croquettes de chats riches en protéines (**Figure 17**), l'eau du récipient doit avoir une température moyenne d'environ 25°C (**Figure 16**). Lorsque les larves atteignent le stade nymphal (**Figure 18**), elles sont placées dans d'autres récipients à l'aide d'une pipette en plastique et disposées dans une cage où elles se transformeront en adulte.

Après émergence, les adultes se nourrissent de jus sucré à 10%, contenu dans du coton imbibé déposé au-dessus des cages (**Figure 19**). Après accouplement les femelles ont besoin d'un repas de sang afin de permettre la maturation des œufs. Le gorgement des femelles (pendants 1h), se fait via des souris Balb C (**Figure 20**) traitées avec un relaxant (**Figure 21**) leur permettant de rester immobile pendant toute la période du repas sanguin. Après 3 à 4 jours, les œufs pondus (**Figure 22**) sont utilisés pour des nouvelles générations d'*Aedes albopictus*.



Figure 15 : Insectarium de l'Institut Pasteur d'Algérie, Annexe - sidi Fredj (**Originale, 2019**).



Figure 16: Bacs d'élevage (Originale, 2019).



Figure 17 : Croquettes de chat (nourriture des larves) (Originale, 2019).



Figure 18 : Larves et nymphes d'*Aedes albopictus* dans les bacs d'élevage (Originale, 2019).



Figure 19 : Cages d'élevage (Originale, 2019).



Figure 20 : Gorgement des femelles sur souris (Originale, 2019).



Figure 21 : Relaxant utilisé pour endormir les souris (Originale, 2019).



Figure 22 :Ponte des œufs d'*Aedes albopictus* (Originale, 2019).



Figure 23 :Œufs d'*Aedes albopictus* sous loupe binoculaire(G 0,8x25) (Originale, 2019).

II.5.3- Tests de toxicité des huiles essentielles (Bigaradier, Eucalyptus et Lavande) :

➤ Test sur les larves :

La méthodologie de nos tests ainsi que les formules utilisées pour calculer le pourcentage de mortalité sont inspirés de la technique des tests de sensibilité normalisés par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S.). A partir d'une solution stock de 1% pour chacune des huiles essentielles étudiées. Quatre concentrations ont été préparées D1=10g/l, D2= 6.25g/l, D3= 4.7g/l et D4=3.125 g/l (**Figure 27**). Ces concentrations ont été testées sur le troisième et le quatrième stade larvaire d'*Aedes albopictus*. En effet, 25 larves ont été prélevées à l'aide d'une pipette pasteur et mises dans des gobelets en plastique de 5 cm de diamètre contenant chacun 99 ml d'eau distillée (**figure 28**) Par introduction d'un millilitre de chaque dose ainsi préparée dans les gobelets précédemment préparés (**Figure 29**), 3 répétitions ont été réalisées pour chaque dose, trois gobelets témoins ont été également constitués dans les conditions identiques aux gobelets tests. Le témoin ne contenait que de l'eau avec du tween 80 à 3%. Le comptage des larves mortes a été noté 24h, 48h et 72 h après le traitement.



Figure 24 : Préparation des concentrations des huiles essentielles (Originale, 2019).



Figure 25 : Préparation des goblets (99ml d'eau distillée) et répartition des larves de stade 3 et 4 (Originale, 2019).

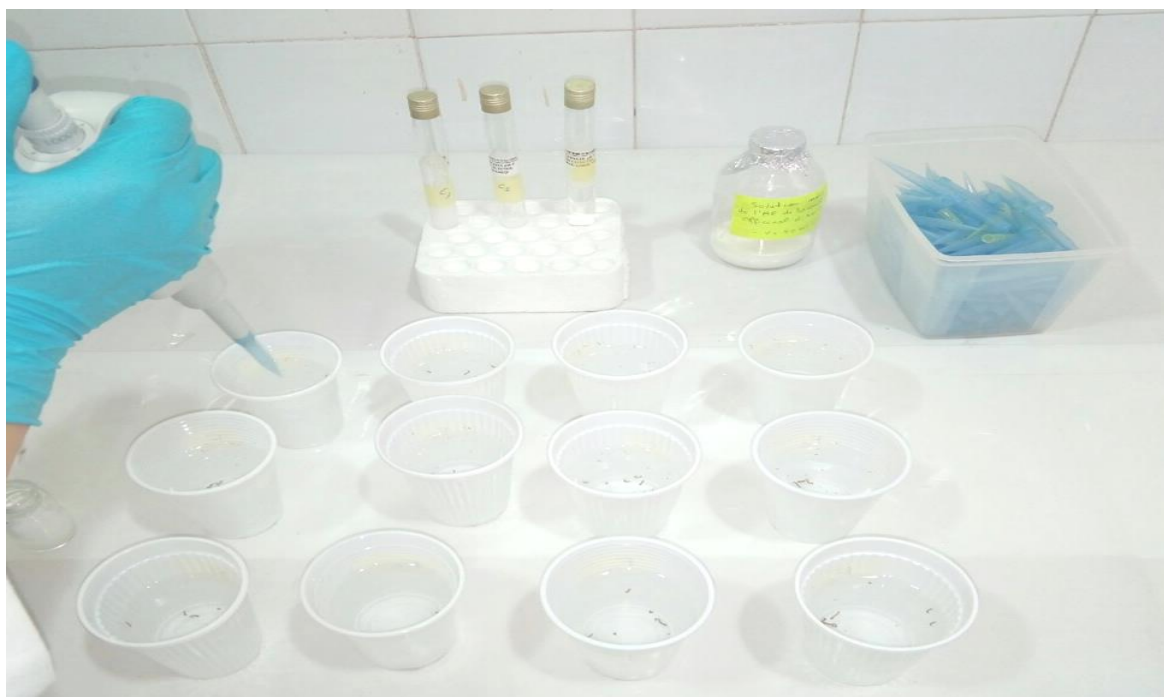


Figure 26 : Dispositif expérimental du test de toxicité sur les larves (Originale, 2019).

➤ **Test sur les adultes :**

Les mêmes concentrations d'huiles essentielles appliquées sur les larves (D1= 10 g/l ; D2=6.25 g/l ; D3= 4.7 g/l ; D4= 3.125 g/l) ,ont été testées sur les adultes. Des papiers rectangulaires de 12 x 15 cm (papier buvard) sont imprégnés (**Figure 28**) avec 2 ml de chacune des doses des 3 huiles essentielles testées et laisser a l'air libre pendant 24h jusqu'à séchage. Le papier est inséré dans un tube en plastique (**figure 29**) pour être exposé aux moustiques (le kit de l'OMS). Les tests sont pratiqués avec des lots de 25 femelles adultes non gorgées âgées de 2 à 5 jours (**figure 30**) obtenues à partir des œufs collectés sur le terrain puis mises en élevage au laboratoire). Ils sont exposés pendant 1h20 dans les tubes contenant les papiers imprégnés des différentes concentrations d'huiles essentielles. Après 1h20 d'exposition, les moustiques sont transférés par un soufflage doux dans les tubes d'observation où la mortalité est évaluée après 24 heures (**figure 31**).

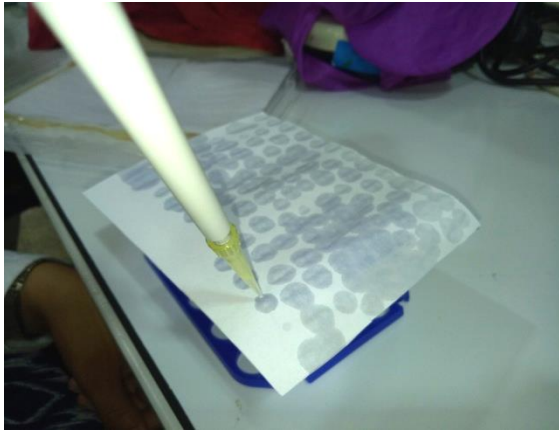


Figure 27 : Imprégnation du papier buvard par l'huile essentielle. (Originale, 2019)

Figure 28 : Insertion des papiers imprégnés après séchage dans les tubes d'expositions (Originale, 2019)

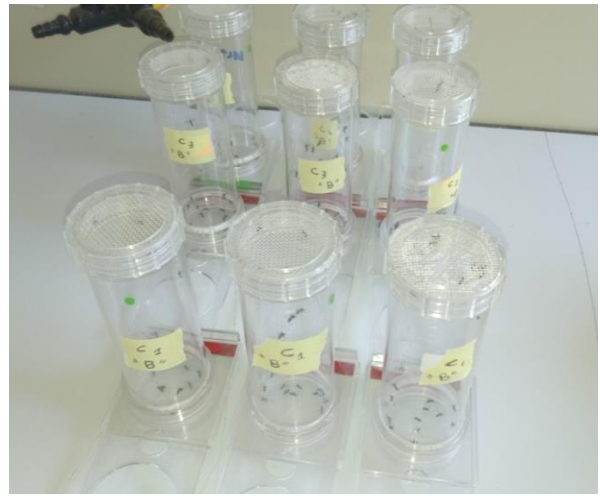


Figure 29 : Aspiration et répartition des femelles dans les tubes d'observations (Originale, 2019).



Figure 30 : Transfert des femelles du tube d'observation vers le tube d'exposition. (Originale, 2019).



Figure 31 : Dispositif de l'OMS pour tester la sensibilité des moustiques adultes (Originale, 2019).

II.5.4- Etude de quelques paramètres biologiques du moustique tigre :

Cette étude a été réalisée sur un couple (mâle et femelle nouvellement émergés), mis dans une cage (figure 33). La femelle a été gorgée 4 à 5 jours par semaine pendant 15 à 30 min sur une souris préalablement anesthésié. À partir de ce couple, nous avons évalué la fécondité qui est le nombre d'œufs pondue après avoir pris un repas sanguin, la fertilité qui nous permet de savoir quel est le nombre d'œufs éclos) par rapport aux œufs pondus et le taux d'émergence des adultes à partir des nymphes (Figure 34).



Figure 32 : Cage d'un couple d'*Ae. albopictus* (Originale, 2019)



Figure 33 : Emergence d'adulte d'*Ae. albopictus* (Originale, 2019)

II.6- Méthodes d'exploitations des résultats :

II.6.1- Mortalité observée :

Nous avons calculé la mortalité dans l'échantillon testé en sommant le nombre de moustiques morts dans l'ensemble des tests d'exposition répliqués et en exprimant cette somme sous forme de pourcentage par rapport au nombre total de moustiques exposés. Le même taux a été calculé pour les témoins

$$\text{➤ Mortalité observée} = \frac{\text{Nombre total de moustiques morts}}{\text{Effectif total de l'échantillon}} \times 100$$

Si le taux de mortalité observée est $\geq 20\%$ chez les témoins, les résultats du test devront être écartés. Lorsque ce dernier est compris entre 5% et 20%, la mortalité observée doit être corrigée à l'aide de la formule d'Abbott de la façon suivante :

$$\text{➤ Mortalité corrigée} = \frac{(\% \text{ mortalité observée} - \% \text{ mortalité chez les témoins})}{(100 - \% \text{ mortalité chez les témoins})} \times 100$$

Si la mortalité chez les témoins est $< 5\%$, aucune correction n'est nécessaire sur les résultats de test.

II.6.2- Evaluation de la DL 50 et DL90 :

Un insecticide est d'autant plus puissant à l'égard d'une population d'insectes donnée si la dose utilisée est faible pour détruire un pourcentage de cette population. Cette dose d'insecticide nécessaire pour obtenir un pourcentage donné de mortalité est appelée dose létale.

Pour la détermination des DL50 et DL90, les résultats des mortalités provoquées par les différentes concentrations des essences testées sont transcrits et analysés par le logiciel **WinDL32** version 4.6 du CIRAD-CA à partir du modèle probit-log de **Finney (1971)**.

Ce logiciel permet de calculer les pourcentages de mortalité (éventuellement corrigée) et les transformer en probit puis calculer la droite de régression fonction du Log_{10} et de la concentration.

II.6.3- Analyse statistique :

Pour analyser nos résultats nous avons utilisé le test MANOVA qui analyse simultanément la relation entre plusieurs variables (multi variables) de réponse et un ensemble commun de prédicteurs, dont le but est de vérifier si les paramètres correspondant aux différentes modalités d'un facteur sont significativement différents ou non (**Manova**).

II.6.4- Analyse factorielle des correspondances :

Afin d'interpréter les résultats obtenus sur l'efficacité insecticides des trois HE testés en fonction des différents facteurs étudié, une analyse factoriel des composantes principales a été établi par le logiciel PAST.

Chapitre III

Résultats & Discussion

III.1- Toxicité des huiles essentielles sur *Aedes albopictus* :**III.1.1- Evolution de la mortalité moyenne cumulée :****III.1.1.1- Huile essentielle de l'*Eucalyptus radiata* :****a) Résultats**

Les résultats de l'évolution de la mortalité moyenne cumulée des larves et des adultes d'*Aedes albopictus* en fonction des doses décroissantes de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus radiata* et de la durée d'exposition sont présentés par la **figure 34 et 35**.

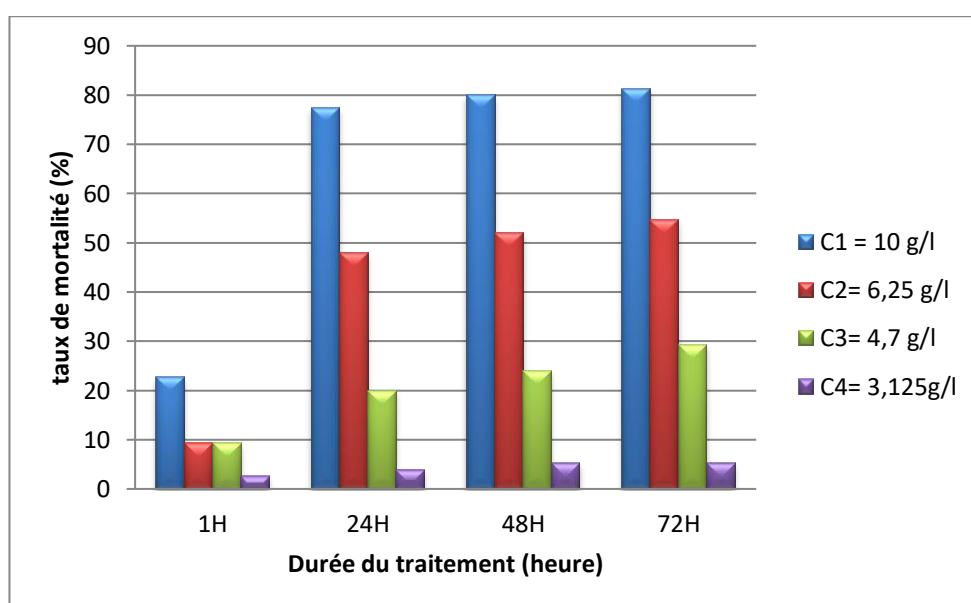


Figure 34 : Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des larves (L3, L4) exposées à l'huile essentielle de l'*Eucalyptus radiata*.

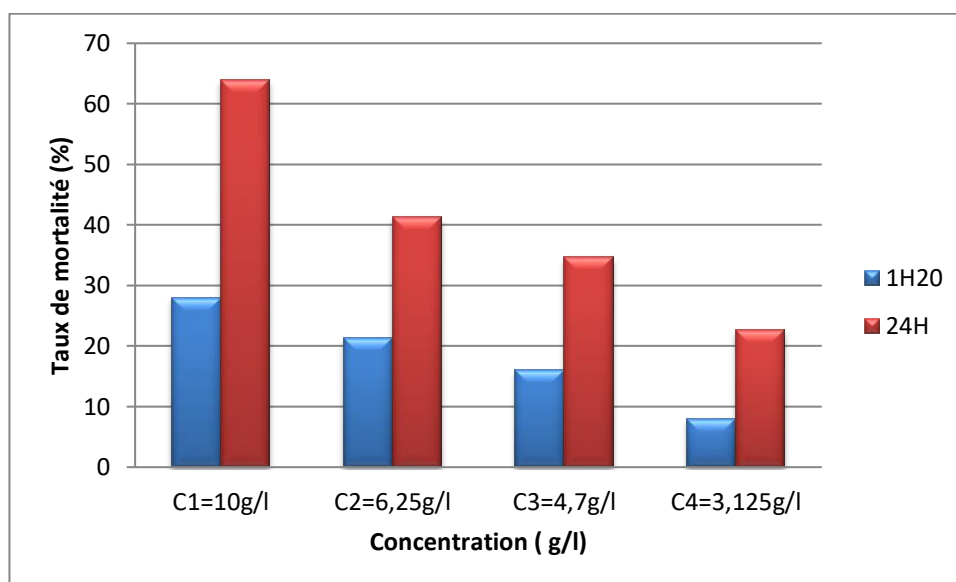


Figure 35 : Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des adultes d'*Aedes albopictus* exposées à l'huile essentielle de l'*Eucalyptus radiata*.

b) Discussion :

À la lecture des résultats (**Figure 34, 35**), nous notons que la mortalité du moustique tigre induite par l'essence de l'Eucalyptus varie significativement en fonction du temps et de la dose ($P=0.000$). Chez les larves du troisième et quatrième stade (L3, L4), 72 heures après traitement, nous avons enregistré des taux de mortalités de 81.33%, 54.66 %, 29.33% et 5.33% respectivement pour les doses D1= 10 g/l, D2= 6.25g/l, D3= 4.7g/l et D4= 3.125g/l. L'absence de mortalité dans le témoin fait déduire que l'huile essentielle de l'Eucalyptus a un effet toxique sur les larves du moustique tigre. Quant aux adultes, après 1heure20minutes de traitement nous avons observé des taux de mortalité de 28%, 21.33%, 16%, 8% respectivement pour les doses D1= 10 g/l, D2= 6.25g/l, D3= 4.7g/l et D4= 3.125g/l. La mortalité la plus forte (64%) a été enregistrée 24 H après traitement avec la plus grande dose (D1= 10 g/l). Cependant la même dose et le même temps a induit une mortalité dépassant les 80 % chez les stades larvaires.

Le fort pouvoir insecticide de cette essence sur le stade larvaire est probablement lié à la nature du tégument, en effet Isman (2000) a montré que les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des arthropodes à corps mous. La toxicité engendrée par l'HE d'*Eucalyptus radiata* sur le moustique tigre est probablement due à son composé majoritaire, le 1,8 cinéole, dont l'activité insecticide a été déjà notée par Adhikari et al. (1992). De même Benazzeddine (2010) a montré la forte mortalité engendrée par l'HE de l'*Eucalyptus radiata* sur *Tribolium confusum* (coléoptère des denrées stockés). Kumar et al., (2012) a montré également l'efficacité insecticides de cette huile à l'égard des mouches domestiques (72%).

III.1.1.2- Huile essentielle de *Citrus bigaradia* :

a) Résultats :

Les résultats de l'évolution de la mortalité moyenne cumulée des larves et des adultes d'*Aedes albopictus* en fonction des doses décroissantes de l'huile essentielle de *Citrus bigaradia* et de la durée d'exposition sont présentés par la **figure 36, 37**.

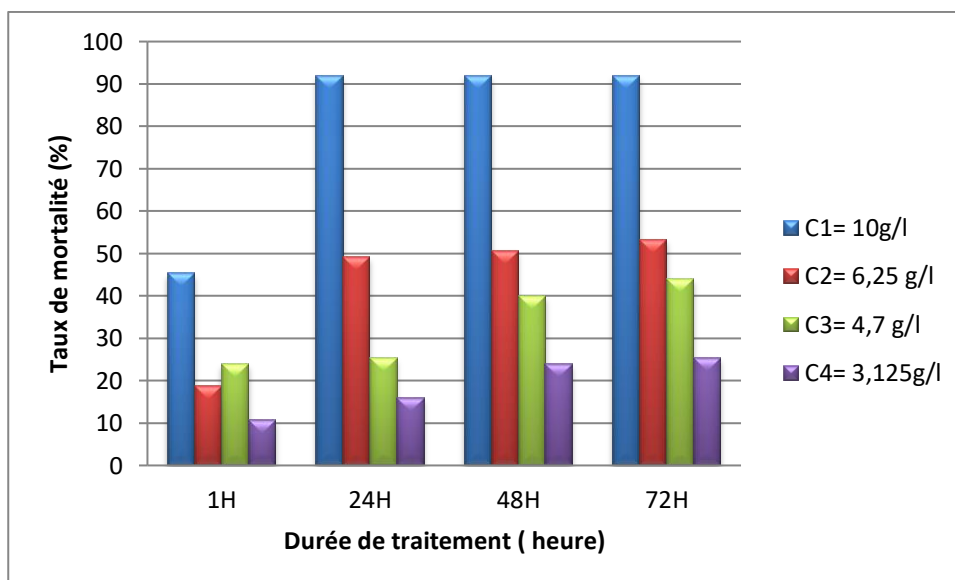


Figure 36 : Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des larves (L3, L4) Exposées à l'huile essentielle de *Citrus bigaradia*.

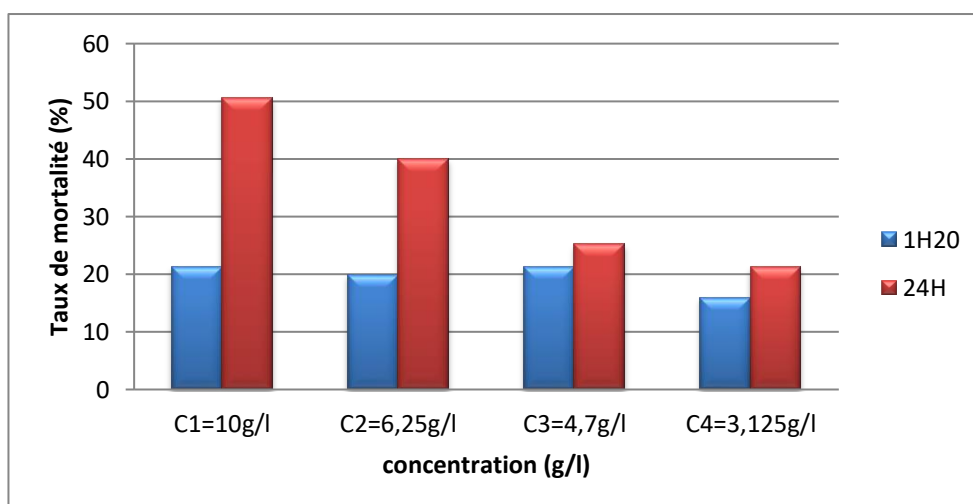


Figure 37 : Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des adultes d'*Aedes albopictus* exposées à l'huile essentielle de *Citrus bigaradia*.

b) Discussion :

Les résultats de la **figure (36 et 37)**, montrent que la mortalité des larves et des adultes du moustique tigre évolue en fonction du temps et des doses testées. Chez les stades larvaires, la dose (D1=10g/l) a engendré un taux de mortalité de 92 % au bout de 24H, suivi de la dose D2= 6.25 g/l, D3= 4.7 g/l et D4= 3.125 g/l avec des taux de mortalité de 49.33 %, 25.33 % et 16 % respectivement. Cependant chez les adultes, la mortalité occasionnée par le l'HE du Bigaradier est de 50.66% au bout de 24H avec la plus forte dose (D1=10g/l), ce qui laisse supposer que les stades larvaires sont plus sensibles à cette essence par rapport aux stades adultes. Le faible taux de mortalité enregistré chez les stades adultes d'*Aedes albopictus* a été déjà rapporté par Bendjafar et Bouguernout (2018), avec l'HE de *Rosmarinus officinalis*.

Nos résultats rejoignent les travaux de El Akhal et *al.* (2014) qui ont prouvé le pouvoir insecticide de l'HE de *Citrus bigaradia* contre les stades larvaires de *Culex pipiens*. Des travaux effectués par Mwaiko (1992) et par Mwaiko et Savaeli (1994) ont rapporté que les extraits de citrus possèdent un bon potentiel larvicide contre les culicidés (notamment contre *Aedes albopictus*). D'autres auteurs Chansang et *al.* (2005) ont trouvé également une toxicité importante des extraits de cinq plantes médicinales de la famille de citrus contre le quatrième stade larvaire de *Culex quinquefasciatus*.

III.1.1.3- Huile essentielle de *Lavandula officinalis* :

a- Résultats : Les résultats de l'évolution de la mortalité moyenne cumulée des larves et des adultes d'*Aedes albopictus* en fonction des doses décroissantes de l'huile essentielle de *Lavandula officinalis* et de la durée d'exposition sont présentés par la **figure 38, 39**.

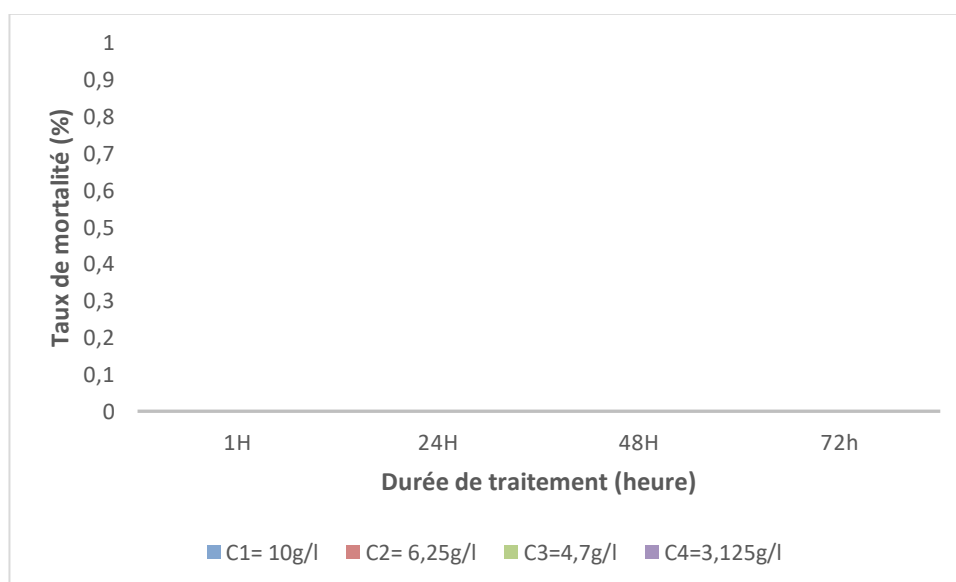


Figure 38 : Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des larves d'*Aedes albopictus* exposées à l'huile essentielle de *Lavandula officinalis*.

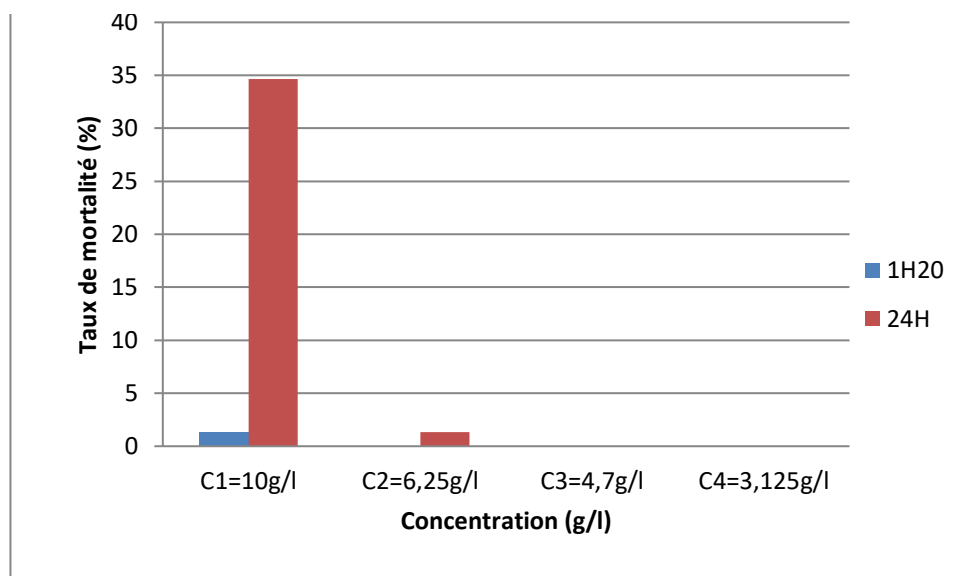


Figure 39 : Représentation graphique du taux de mortalité moyen cumulé des adultes d'*Aedes albopictus* exposées à l'huile essentielle de *Lavandula officinalis*.

b- Discussion :

La figure 38, montre que les doses testées de l'HE de *Lavandula officinalis* (D1= 10 g/l, D2= 6.25g/l, D3= 4.7g/l et D4= 3.125g/l) n'ont engendré aucune mortalité chez les stades larvaires du moustique tigre. Chez les adultes la dose C4= 3.125 g/l, n'a induit aucune mortalité. Un début de mortalité est noté 1h20min après traitement pour C1= 10 g/l et 24h après traitement, avec C2= 6.25 g/l et C3= 4.7 g/l. La plus forte mortalité 34.33 % s'affiche 24h après traitement avec C1= 10 g/l (**Figure 39**). Selon Ngamo et Hance (2007) une huile essentielle n'exerce pas forcément la même activité aux différents stades du cycle biologique d'un insecte, comme il existe une grande variation dans la sensibilité des espèces d'insectes pour une même huile essentielle. A ce propos les travaux de Youhari (2016), ont déjà révélés la faible toxicité de l'HE de la Lavande vis-à-vis de *sitophilus oryzae*. De même les travaux réalisés par Aouati (2016), ont montré que la mortalité occasionnée par l'HE de *lavandula officinalis* sur les larves de *Culex pipiens* n'excède pas les 50%. D'après Koschier et Sedy (2003), *Lavandula officinalis* présente un effet répulsif contre l'insecte phytophage *Thrips tabaci*. Une autre étude par Kanat (2004) montre l'effet larvicide contre *Thaumetopoea pityocampa* (chenille processionnaire du pin). Le pouvoir acaricide de cette essence a été également montré par Pirali-Kheirabadi et Teixeira Da Silva (2010) sur les tiques femelles au stade adulte de *Rhipicephalus annulatus*.

III.2- Evaluation de la DL 50 et DL 90 des huiles essentielles testés sur les larves et les adultes d’Aedes albopictus :

Le calcul des DL 50 et DL 90 des deux HE (*Eucalyptus radiata* et *Citrus bigaradia*), après 24h de traitement sur les larves L4 et les adultes d’*Aedes albopictus*, nous renseigne sur le degré de toxicité de chaque huile. Les résultats obtenus sont rapportés respectivement dans les figures (40, 41 et 42, 43) et le tableau 02.

➤ **Cas des larves :**

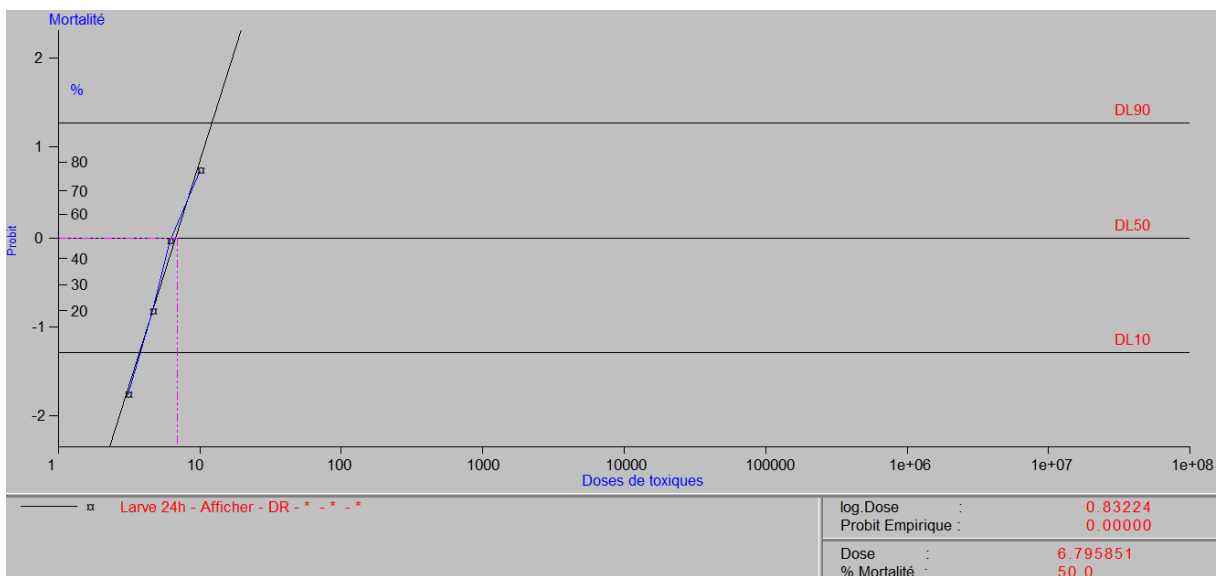


Figure 40 : Droite de régression des doses d’HE d’Eucalyptus en fonction de la mortalité des larves (L4) après 24H d’exposition.

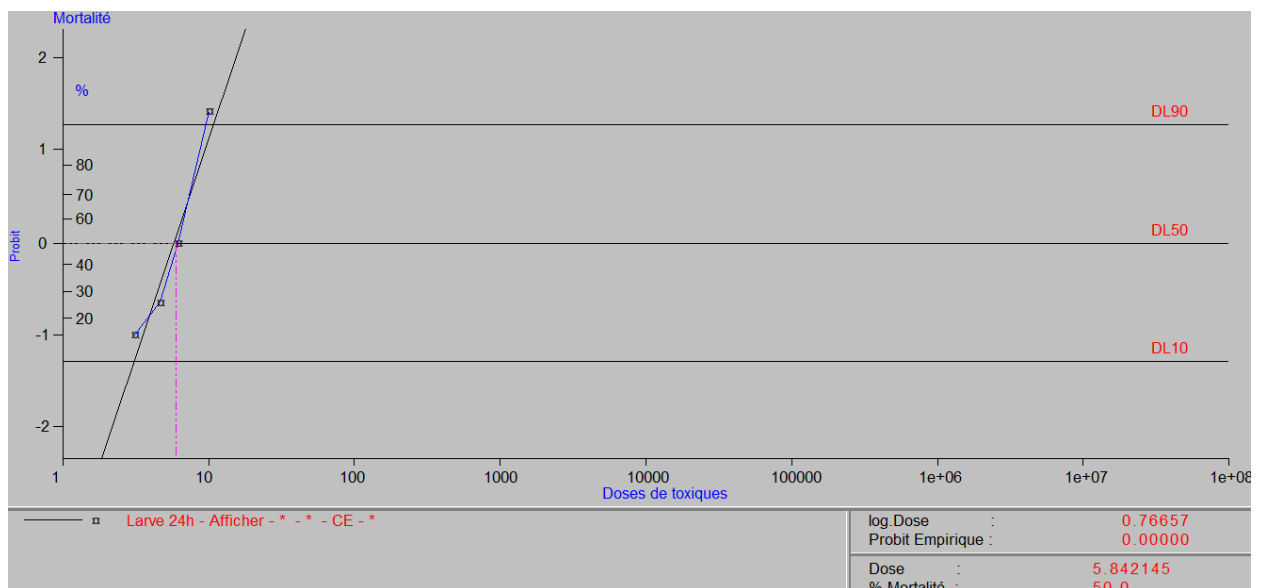


Figure 41 : Droite de régression des doses d’HE du Bigaradier en fonction de la mortalité des larves (L4) après 24H d’exposition.

➤ Cas des adultes :

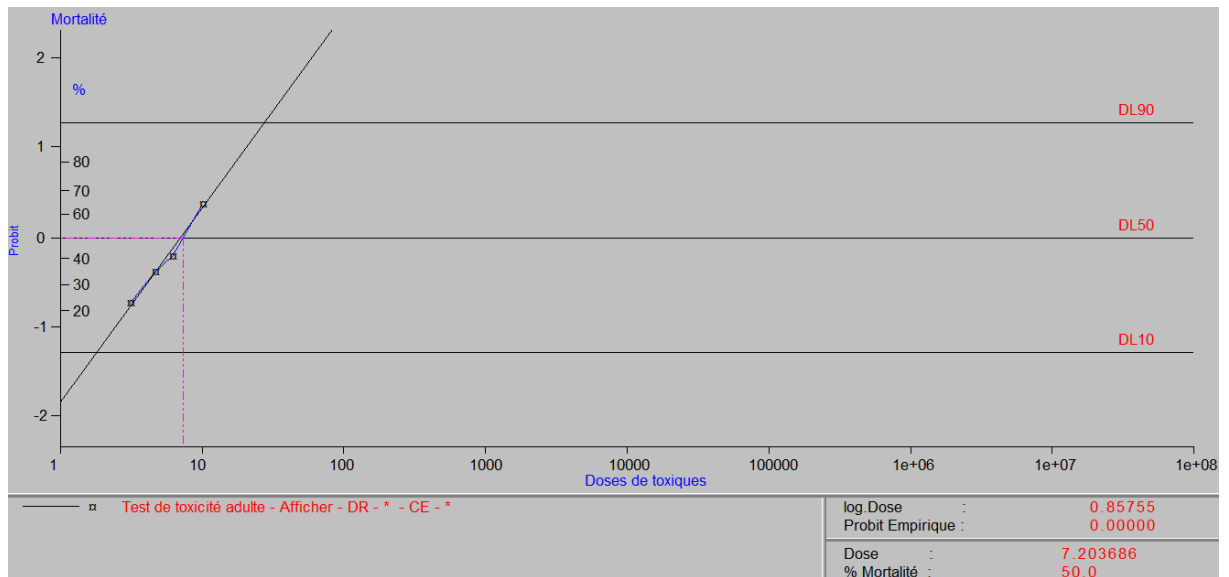


Figure 42 : Droite de régression des doses d’HE d’Eucalyptus en fonction de la mortalité des adultes après 24H d’exposition.

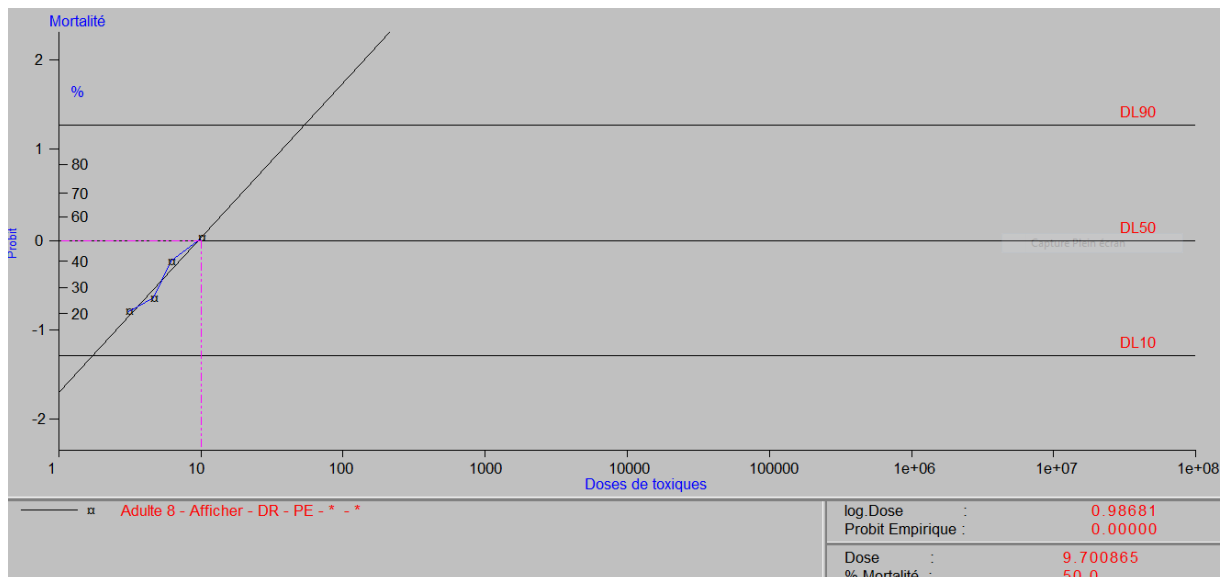


Figure 43 : Droite de régression des doses d’HE du Bigaradier en fonction de la mortalité des adultes après 24H d’exposition.

Tableau 02 : DL 50 et DL 90 de l'HE d'*Eucalyptus radiata* et *Citrus bigaradia* 24h après traitement sur les larves et les adultes d'*Aedes albopictus*.

Stade		Larvaire		Adulte	
DL		DL50	DL 90	DL 50	DL 90
HE	<i>Eucalyptus radiata</i>	6.79 g/l	12.35 g/l	7.20 g/l	28.11 g/l
	<i>Citrus bigaradia</i>	5.84 g/l	10.89 g/l	9.7 g/l	54 g/l

L'huile essentielle du *Citrus bigaradia* s'est montré plus toxique vis-à-vis des larves d'*Aedes albopictus* (DL 50= 5.84 g/l et DL 90= 10.89 g/l) par rapport à l'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* (DL 50= 6.79 g/l et DL 90= 12.35 g/l). La forte toxicité de l'HE du Bigaradier a été déjà rapporter par les travaux de Sayah et al. (2014) sur les larves de *Culex pipiens* a 100% de mortalité.

Cependant l'HE d'*Eucalyptus radiata* a présenté une grande efficacité en termes de toxicité vis-à-vis des adultes d'*Aedes albopictus* (DL 50= 7.20 g/l et DL 90= 28.11 g/l).

III.3- Analyse de la variance multivariée :

Pour que nos résultats soit plus explicites, nous nous sommes appuyés sur l'analyse de la variance a trois critères de classification, facteur 1, doses avec 4 niveaux (D=10g/l, D2= 6.25g/l, D3=4.7g/l, D4= 3.125g/l), facteur 2, temps avec 4 niveaux (1H, 24H, 48H et 72H), facteur 3, huiles essentielles avec 3 niveaux (Bigaradier, Lavande et Eucalyptus).

➤ **Cas des larves :**

Tableau 03 : Analyse de la variance multivariée (MANOVA).

Source		Somme des carrés de type III	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	TM % (1H)	7294,578 ^a	14	521,041	10,775	,000
	TM % (24H)	39443,200 ^b	14	2817,371	39,422	,000
	TM % (48H)	41661,867 ^c	14	2975,848	38,928	,000
	TM % (72H)	43439,644 ^d	14	3102,832	47,687	,000
Ordonnée à l'origine	TM % (1H)	4070,756	1	4070,756	84,184	,000
	TM % (24H)	22044,800	1	22044,800	308,463	,000
	TM % (48H)	27084,800	1	27084,800	354,307	,000
	TM % (72H)	29696,356	1	29696,356	456,399	,000
Plante	TM % (1H)	2931,911	2	1465,956	30,316	,000
	TM % (24H)	11355,733	2	5677,867	79,448	,000

	TM % (48H)	14158,933	2	7079,467	92,609	,000
	TM % (72H)	15428,978	2	7714,489	118,563	,000
Dose	TM % (1H)	2626,133	4	656,533	13,577	,000
	TM % (24H)	18557,867	4	4639,467	64,918	,000
	TM % (48H)	17996,089	4	4499,022	58,853	,000
	TM % (72H)	18330,311	4	4582,578	70,429	,000
Plante *	TM % (1H)	1736,533	8	217,067	4,489	,001
Dose	TM % (24H)	9529,600	8	1191,200	16,668	,000
	TM % (48H)	9506,844	8	1188,356	15,545	,000
	TM % (72H)	9680,356	8	1210,044	18,597	,000
Erreur	TM % (1H)	1450,667	30	48,356		
	TM % (24H)	2144,000	30	71,467		
	TM % (48H)	2293,333	30	76,444		
	TM % (72H)	1952,000	30	65,067		
Total	TM % (1H)	12816,000	45			
	TM % (24H)	63632,000	45			
	TM % (48H)	71040,000	45			
	TM % (72H)	75088,000	45			
Total corrigé	TM % (1H)	8745,244	44			
	TM % (24H)	41587,200	44			
	TM % (48H)	43955,200	44			
	TM % (72H)	45391,644	44			

a. R deux = ,834 (R deux ajusté = ,757)

b. R deux = ,948 (R deux ajusté = ,924)

c. R deux = ,948 (R deux ajusté = ,923)

d. R deux = ,957 (R deux ajusté = ,937)

Les résultats d'analyse de la variance (Tableau 03) révèlent une différence très hautement significative ($P= 0.000$) pour le facteur dose, temps et pour l'HE du Bigaradier et d'Eucalyptus. Ce qui signifie que ces facteurs, ont une influence sur la mortalité des larves d'*Aedes albopictus*. Tandis que les doses de l'HE de la lavande n'engendrent aucune différence statistiquement significatives (**Voir Annexe V**).

➤ **Cas des adultes :**

Tableau 04 : Analyse de la variance multivariée (MANOVA).

Source		Somme des carrés de type III	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	TM % (1H)	4679,111 ^a	14	334,222	18,077	,000
	TM % (24H)	19209,244 ^b	14	1372,089	4,149	,001
Ordonnée à l'origine	TM % (1H)	4702,222	1	4702,222	254,327	,000
	TM % (24H)	22758,756	1	22758,756	68,827	,000
Plante	TM % (1H)	2238,578	2	1119,289	60,538	,000

	TM % (24H)	5270,044	2	2635,022	7,969	,002
Dose	TM % (1H)	1543,111	4	385,778	20,865	,000
	TM % (24H)	11973,689	4	2993,422	9,053	,000
Plante *	TM % (1H)	897,422	8	112,178	6,067	,000
Dose	TM % (24H)	1965,511	8	245,689	,743	,654
Erreur	TM % (1H)	554,667	30	18,489		
	TM % (24H)	9920,000	30	330,667		
Total	TM % (1H)	9936,000	45			
	TM % (24H)	51888,000	45			
Total corrigé	TM % (1H)	5233,778	44			
	TM % (24H)	29129,244	44			

a. R deux = ,894 (R deux ajusté = ,845)

b. R deux = ,659 (R deux ajusté = ,501)

Les résultats d'analyse de la variance (Tableau 04), révèlent une différence très hautement significative pour les facteurs (doses, temps) (P= 0.000) et une différence hautement significative pour les trois huiles essentielles (P= 0.002). Ce qui explique la variation significative de la mortalité des adultes d'*Aedes albopictus*, en fonction de ces trois facteurs.

➤ **Comparaison entre le taux de mortalité chez les larves et chez les adultes 24h après traitement :**

Tableau 05 : Analyse de la variance multivariée.

Source	Somme des carrés de type III	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	44417,600 ^a	29	1531,641	42,863	,000
Ordonnée à l'origine	20430,400	1	20430,400	571,746	,000
Stade	4494,400	1	4494,400	125,776	,000
Plante	4125,867	2	2062,933	57,731	,000
Dose	9278,933	4	2319,733	64,918	,000
Stade *	7709,867	2	3854,933	107,881	,000
Plante					
Stade *	9278,933	4	2319,733	64,918	,000
Dose					
Plante *	4764,800	8	595,600	16,668	,000
Dose					
Stade *	4764,800	8	595,600	16,668	,000
Plante *					
Dose					
Erreur	2144,000	60	35,733		
Total	66992,000	90			
Total corrigé	46561,600	89			

a. R deux = ,954 (R deux ajusté = ,932)

L'analyse de la variance à trois critères de classification révèle (Tableau 05) une différence très hautement significative ($p=0.000$) entre le stade larvaire et le stade adulte concernant les taux de mortalités enregistrés après 24h d'exposition, en fonction de différentes doses et de trois huiles essentielles testées.

III.4- Analyse factorielle des correspondances « PAST » :

➤ Cas des larves :

L'analyse des composantes principales (ACP), réalisée aux axes 1 (97,7%) et 2 (1,79), révèle trois groupes différents (**Figure 44**).

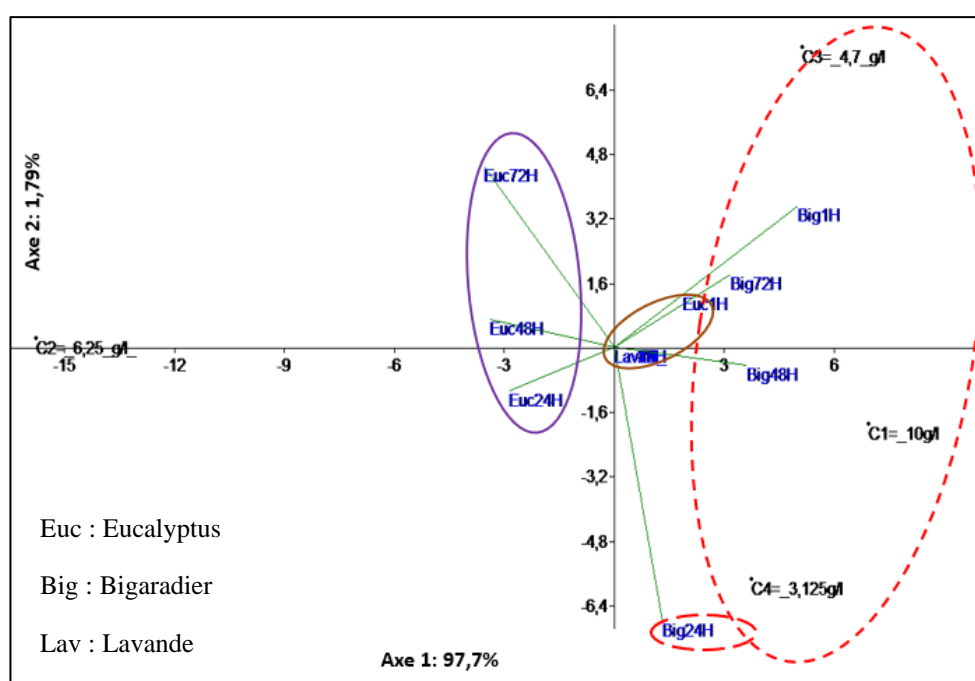


Figure 44 : Corrélations des trois essences testées sur les stades larvaires du moustique tigre avec les doses et la durée d'expositions.

- Groupe 1 : Est représenté par l'huile du *Citrus bigaradia* qui a donné une meilleure activité insecticide avec la première concentration (C1= 10 g/l) la troisième (C3= 4.7 g/l) et la quatrième concentration (C4= 3.125 g/l) tout au long du test biocide, notamment 24h après traitement.
- Groupe 2 : Est représenté par l'huile de *Eucalyptus radiata* qui a causé une mortalité considérable sur le moustique tigre. Après 24, 48, et 72 h d'applications. La deuxième concentration de cette huile, (C2= 6.25 g/l) s'est avéré plus efficace que celle du bigaradier en termes d'impact biocide (**Figure 44**).

- Groupe 3 : Est représenté par l'essence de la lavande, localisé au centre de l'axe, dont l'effet biocide est nulle sur les stades larvaires durant tout l'essai. Ce dernier groupe renferme également l'essence d'*Eucalyptus radiata* dont le pouvoir insecticide est très faible 1H après traitement avec les quatre concentrations testées.

➤ Cas des adultes :

L'analyse des composantes principales (ACP), réalisée aux axes 1 (83,41%) et 2 (12,71), révèle trois groupes différents (Figure 45).

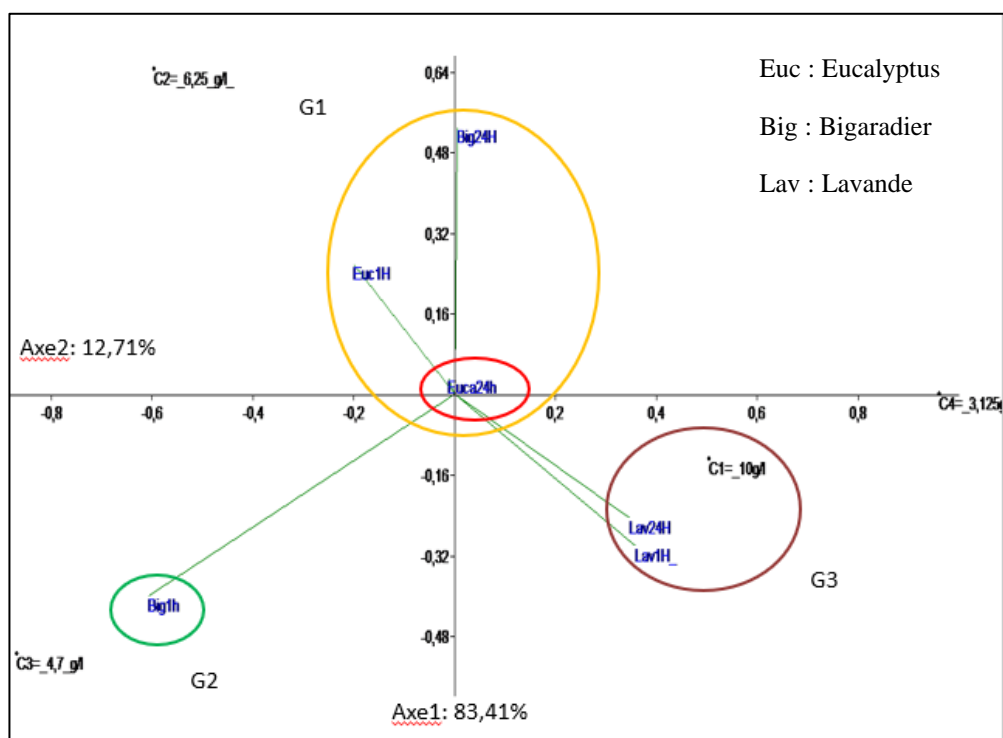


Figure 45 : Corrélations des trois essences testées sur les stades adultes du moustique tigre avec les doses et la durée d'expositions.

- Groupe 1: est représenté par l'huile d'*Eucalyptus radiata* qui a donné une meilleure activité insecticide 24h après traitement, suivi par l'essence du *Citrus bigaradia*, 24h et l'huile d'*Eucalyptus radiata* 1h20, après traitement notamment avec la concentration (C2= 6.25g/l).
- Groupe 2: est représenté par l'huile du *Citrus bigaradia*, qui a causé une mortalité considérable sur les adultes du moustique tigre, 1h20, après traitement avec la concentration (C3= 4.7g/l).

- Groupe 3 : est représenté par l'essence de la lavande, dont l'effet insecticide est faible durant l'essai avec la plus forte concentration (C1= 10g/l).

III.5- Etude de quelques paramètres biologiques du moustique tigre :

a) Résultat :

Les résultats de la fécondité, la fertilité, ainsi que le taux d'émergence des adultes sont consignés dans le tableau 06 et la figure 46.

Tableau 06 : Etude de quelques paramètres biologiques du moustique tigre en conditions contrôlés.

Paramètres biologique	Nombre d'œufs pondus	Nombre d'œufs éclos	Taux de fertilité	Nymphose (nymphe)	Emergence (adulte)	Taux d'émergence	Longévité	
							♂	♀
	547	300	54.84 %	140	139	99.28 %	5jrs	49jrs

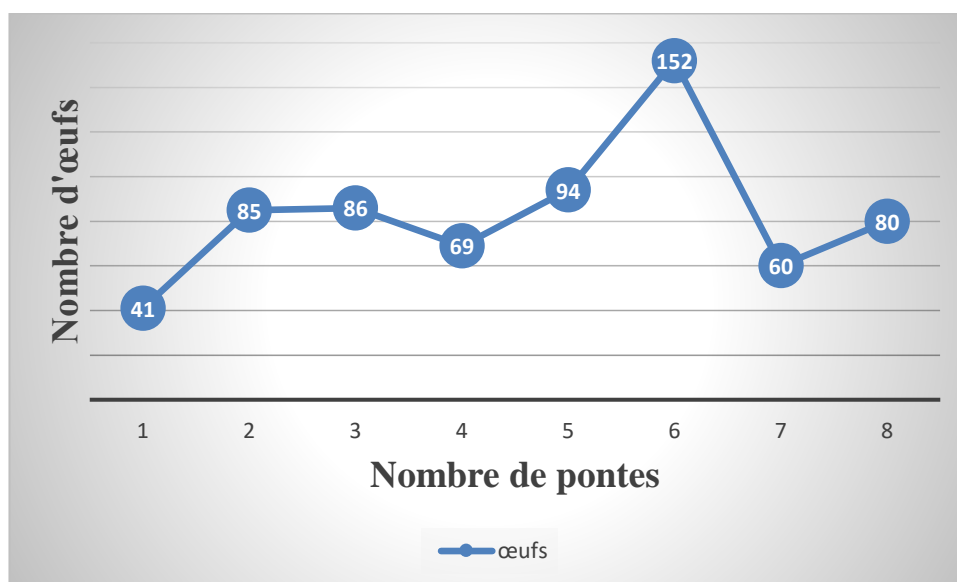


Figure 46 : Fécondité de la femelle.

b) Discussion :

Durant le cycle de vie de la femelle qui est de 49 jours, celle-ci a pondu 547 œufs échelonnés en 8 pontes. La première ponte a été obtenue 3 jours après le premier repas sanguin avec un nombre de 41 œufs. Une augmentation du nombre d'œufs a été obtenue au cours de la 2^{ème} et 3^{ème} ponte. Nous avons marqué une chute brutale au cours de la 4^{ème} ponte. Le nombre le plus élevé d'œufs a été obtenu après le 22^{ème} repas sanguin, au cours de la 6^{ème} ponte (152 œufs). (**Figure 46**). Le nombre d'œuf pondus est nettement inférieur à celui avancé par Vacus (2012), où la fécondité totale d'une femelle d'*Aedes albopictus* varie de 800 à 2500 œufs. Cette variation est probablement due à la quantité et la nature du sang absorbé. Sur 547 œufs pondus seulement 300 ont éclos, soit un taux de fertilité de 54.84 %, quant au taux d'émergence, nous avons noté 99.28 % d'adultes émergés sur 140 nymphes.

Conclusion

Conclusion générale et perspectives

A l'issue de cette étude consacrée essentiellement à l'évaluation de la toxicité de trois huiles essentielles (*Eucalyptus radiata*, *Citrus Bigaradia* et *Lavandula officinalis*) à l'égard du moustique tigre, *Aedes albopictus*, les principaux résultats acquis sont :

🎓 L'huile essentielle de la lavande a révélé une activité insecticide nulle sur les larves d'*Aedes albopictus* et faible sur les adultes. En effet le taux de mortalité engendré par cette essence n'a pas dépassé les 50% chez les adultes.

🎓 La mortalité induite par l'huile essentielle du *Citrus bigaradia* et *Eucalyptus radiata*, varie significativement en fonction des doses et du temps (P= 0.000).

🎓 L'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* a montré une activité insecticide plus importante sur les stades larvaires (L3, L4) que sur les adultes. En effet avec la plus forte dose (C1= 10g/l), après 24h d'exposition, la mortalité est de 77.33% et 64% respectivement chez les larves et les adultes.

🎓 Le pouvoir insecticide de l'essence du *Citrus bigaradia* est plus important sur les stades larvaires que sur les stades adultes. En effet avec la plus forte dose (C1= 10g/l), la mortalité chez les larves est de 92% après 24h de traitement alors que chez les adultes, elle est de 50.66%.

🎓 L'huile essentielle du *Citrus bigaradia* a présenté une grande efficacité en termes de toxicité vis-à-vis des larves d'*Aedes albopictus* (DL50= 5.84 g/l ; DL90= 10.89 g/l) par rapport à l'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* (DL50= 6.79 g/l ; DL90= 12.35 g/l).

🎓 L'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata*, est plus toxique sur les adultes d'*Aedes albopictus* (DL50= 7.20 g/l ; DL90= 28.11 g/l) par rapport à l'huile essentielle du *Citrus bigaradia* (DL50= 9.7 g/l ; DL90= 54 g/l)

🎓 Durant le cycle de vie d'une femelle d'*Aedes albopictus* qui est de 49 jours, celle-ci a pondu 547 œufs échelonnés en 8 pontes, avec un taux de fertilité de 54.84 % et un taux d'émergence de 99.28 %.

Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour l'application de l'huile essentielle du *Citrus bigaradia* et *Eucalyptus radiata* à l'égard du moustique tigre dans le cadre de la lutte biologique. L'efficacité de ces essences, nous encourage à tester les HES d'autres espèces végétales contre ce vecteur.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Adhami, J. & Reiter, P. (1998).** Introduction and establishment of *Aedes (Stegomyia) albopictus* skuse (Diptera: Culicidae) in Albania. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 14(3), 340-343.
- Adhikari Sr., Shakya R., Shrestha Hd., Shakya Dm., Shrivastava D. (1992).** Variation of essential oil and eucalyptol content of randomly selected *eucalyptus Camaldulensis* trees. Banko janakari; 3 : 3-7.
- Altieri M.A. & Nicholls C.I. (2004).** Biodiversity and pest management in agro ecosystems. *2nd edn Food Products Press*. New York.
- Aouati A. (2016).** Etude de la toxicité de certaines plantes sur les larves de culex pipiens (Diptera, Culicidae). Thèse de doctorat. Université des frères mentouri, Algérie, 129P.
- Aouissi M., Belmadani M. (2019).** Déterminants bioécologiques et cartographie de l'extension d'*Aedes albopictus* (Diptères) Skuse, 1894 en Algérie. Mémoire de Master , Algérie. 68P
- Asbahani, A. E., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. H. A., Casabianca, H., Elaissari, A. (2015).** Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1-2), 220—243.
- Batish, Daizy R., Singh, Harminder Pal, Kohli, Ravinder Kumar et Kaur, Shalinder. (2008).** Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. Décembre 2008. Vol. 256, n° 12, pp. 2166-2174.
- Bawin T., Seye F., Boukraa S., Zimmer JY., Delvigne F. et Francis F. (2014).** La lutte contre les moustiques (Diptera: Culicidae): diversité des approches et application du contrôle biologique, *Entomological Society of Canada*, 476-500.
- Bechini, Léa. (2017).** Piqures de moustiques, un risque sanitaire à ne pas négliger. Diplôme d'état de docteur en pharmacie. Université d'Aix-Marseille. France, 134P.
- Becker, N. et al. (2010).** Mosquitoes and Their Control, Second edition (Springer; 2nd ed. edition).
- Benallal K., Allal-Ikhlef A., Benhamouda K., Schaffner F., Harrat Z. (2016).** First report of *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Diptera: Culicidae) in Oran, West of Algeria. *Acta Tropica*. 164: 411-413. doi: 10.1016/j.actatropica.2016.09.027. Epub 2016 Sep 30.
- Benazzeddine Siali. (2010).** Activité de cinq huiles essentielles vis-à-vis de *stophilus Oryzae* et *tribolium confusum* (coleoptera : tenebrionidae), thèse ing. Agro. E.n.s.a. Alger,75p.
- Bendjafar N. et Bouguernout D. (2018).** Evaluation de la toxicité de l'huile essentielle formulée du romarin et du champignon *Metarhizium anisopliae* à l'égard du moustique tigre *Aedes*

Références bibliographiques

albopictus (skuse, 1894) (Diptera : Culicidae). Mémoire de master 2. Université de Blida1. Algérie, 41P.

Benedict Marck Q., Levine, R. S., Hawley, W. A. & Lounibos, L. P. (2007). Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vectors Borne and Zoonotic Diseases*, 7(1), 76-85 P.

Bennouna, A., Balenghien, T., EL Rhaffouli, H., Schaffner, F., Garros, C., Gardès, L., ... Fassi Fihri, O. (2016). First record of *Stegomyia albopicta* (= *Aedes albopictus*) in Morocco: a major threat to public health in North Africa? *Medical and Veterinary Entomology*, 31(1), 102–106.

Bentley, M. D. & Day, J. F. (1989). Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. *Annual review of entomology*, 34(1), 401-421.

Bianchi F.J., Booij C.J. & Tscharrntke T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings. Biological sciences/ The Royal Society.*, 273: 1715-1727.

Biogents : <https://www.bg-sentinel.com/>

Bonde J.P., Toft G., Rylander L., Rignell-Hydbom A., Giwercman A., Spano M., Manicardi G.C., Bizzaro D., Ludwicki J.K., Zvezday V., Bonefeld-Jorgensen E.C., Pedersen H.S., Jonsson B.A. & Thulstrup A.M., (2008) - Fertility and markers of male reproductive function in Inuit and European populations spanning large contrasts in blood levels of persistent organochlorines. *Environ Health Perspect.*, 116: 269-277.

Bonizzoni M., Gasperi G., Chen X. et Anthony A. J. (2013). The invasive mosquito species *Aedes albopictus*: current knowledge and future perspectives *Trends Parasitol.* 29(9): 460– 468.

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

Bouree P., Zambon P., Ensaf A. (2015). *Aedes albopictus*, un moustique multifonctions. *Janv*;26(519):13-6.

Brasseur A. (2011). Analyse des pratiques actuelles destinées à limiter la propagation d'*Aedes albopictus* dans la zone sud est de la France et propositions d'amélioration. Ecole des Hautes Etudes en Sante Publique. (E.H.E.S.P). Rennes, FRANCE

Brunhes J., Abdl Rahim., Geoffroy B., Angel G. & Hervet J. P. (2000). Identification des culicides d'afrique méditerranéenne. CDROM I.R.D. Montpellier. France.

Références bibliographiques

- Campos, G. S., Bandeira, A. C. & Sardi, S. I. (2015).** Zika virus outbreak, Bahia, Brazil. *Emerging infectious diseases*, 21(10), 1885.
- Chan, H. H. et al., (2011).** Assessing the susceptibility status of *Aedes albopictus* on Penang Island using two different assays. *Universiti Sains Malaysia*, 11800 Penang, Malaysia.
- Chansang U., N. Zahiri, S. Bansiddhi, Jaree, B. Thidarat, T. Ratom, M. Jiranuch, B. Nipa, Mulla, S. Mir., Mosquito. (2005).** Larvicidal activity of aqueous extracts of long pepper (*Piper retrofractum* vahl) from Thailand, *J. vect. Ecol.*, 30195.
- Clements A. N. (1999).** *The Biology of mosquitoes: Sensory, Reception, and Behaviour*, (CABI Publishing, Eastbourne).
- Coffey, L. L., Failloux, A. B. & Weaver, S. C. (2014).** Chikungunya virus–vector interactions. *Viruses*, 6(11), 4628-4663.
- Cosimi S., Rossi E., Cioni P.L., Canale A. (2009).** Bioactivity and qualitative analysis of some essential oils from Mediterranean plants against stored-product pests: Evaluation of repellency against *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Tenebriomolitor* (L.), *Journal of Stored Products Research*, 45 125–132.
- Costanzo, K., Muturi, E. J., Kesavaraju, B. & Alto, B. W. (2011).** *Can Pesticides and Larval competition Alter Susceptibility of Aedes Mosquitoes (Diptera: Culicidae) to Arbovirus Infection?* *Journal of Medical Entomology*, 48(2), 429-436.
- Couic-Marinier, F., & Lobstein, A. (2013).** Les huiles essentielles gagnent du terrain à l'officine. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(525), 18-21.
- Couic-Marinier, Françoise., HARNIST, Florine., LOBSTEIN, Annelise. (2014).** En savoir plus sur l'huile essentielle de Lavande officinale. *Actualités pharmaceutiques* • n° 535.
- Cseke, L. J. et P.B. Kaufman. (1999).** How and why these compounds are synthesized by plants. Pages 37-90 in P.B.
- Danis M., & Mouchet J., (1991).** *Paludisme* Ed. Ellipses/UREF, Paris. 240 p.
- Delabant Jean-Luc. (2018).** *Aedes albopictus : la Guerre est déclarée*, *Médecine Libérale - URPS Médecins Libéraux Nouvelle-Aquitaine*. n°5. p10.
- Delaunay P., Jeannin C., Schaffner F., Marty P. (2009).** Actualités sur la présence du moustique tigre *Aedes albopictus* en France métropolitaine. *Arch Pédiatrie*. Oct 2009 ;16:S66-71

Références bibliographiques

- Delaunay P., Fauran P. et Marty P. (2001).** Les moustiques d'intérêt médical. *Revue Française des Laboratoires*, 338 : 27-36.
- Delatte H., Dehecq J.S., Thiria J., Domerg C., Paupy C. & Fontenille D. (2007).** Geographic distribution and developmental sites of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) during a Chikungunya epidemic event. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, 7, 1-11.
- Delatte, H., Paupy, C., Dehecq, J. S., Thiria, J., Failloux, A. B. & Fontenille, D. (2008).** [*Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue viruses in Reunion Island: biology and control]. *Parasite* (Paris, France), 15(1), 3-13.
- Dellate, G. (2009).** Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean. *Journal of Medical Entomology*, 46(1), 33-41.
- Den Hond E. & Schoeters G., (2006).** Endocrine disruptors and human puberty. *Int J Androl.*, 29: 264-271.
- Denys C. & Tsscharntke T. (2002).** Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields and fallows. *Oecologia.*, 130: 315-324.
- Dick G. W., Kitchen S. F., Haddow A. J. (1952).** Zika virus (I). Isolation and serological specificity. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1952. September; 46(5):509-20.
- Duffy, M. R., Chen, T. H., Hancock, W. T., Powers, A. M., Kool, J. L., Lanciotti, R. S. & Guillaumot, L. (2009).** Zika virus outbreak on Yap Island, Federated States of Micronesia. *New England Journal of Medicine*, 360(24), 2536-2543.
- Dupont-Rouzeyrol, M., O'Connor, O., Calvez, E., Daures, M., John, M., Grangeon, J. P. & Gourinat, A. C. (2015).** Co-infection with Zika and dengue viruses in 2 patients, New Caledonia, 2014. *Emerg Infect Dis*, 21(2), 381-2.
- Duvallet G., Fontenille D. et Robert V. (2017).** *Entomologie médicale et vétérinaire*, Institut De Recherche Pour Le Développement, éditions Quae 667 P.
- EL-Akhal, F., Guemmouh, R., Greche, H., El Ouali Lalami, A. (2014).** Valorisation en tant que bioinsecticide de deux huiles essentielles de *Citrus sinensis* et *Citrus aurantium* cultivées au centre du Maroc (Valorization as a bio-insecticide of essential oils of *Citrus sinensis* and *Citrus aurantium* cultivated in center of Morocco).
- El Ouali Lalami A., EL-Akhal F., Ouedrhiri W., Ouazzani Chahdi F., Guemmouh R., Greche H. (2013).** Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de

Références bibliographiques

deux plantes aromatiques du centre nord marocain : *Thymus vulagris* et *Thymus satureioidis* LES TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE, 8 N°31 (2013) 27-33.

Entwistle J. (2011). Emerging technologies for control of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae). *International Pest Control* Nov 53(6):318-322.

Fanny B. (2008). Effet larvicide des huiles essentielles sur *Stomoxys calcitrans* à la Réunion., Thèse Docteur vétérinaire, Université *Paul-Sabatier de Toulouse*, 87 P.

Faraji A., Price D. C. (2013). A Rapid Identification Guide for Larvae of the Most Common North American Container-Inhabiting *Aedes* Species of Medical Importance. *Journal of the American Mosquito Control Association*,29(3):203-21.

Faye, O., Freire, C. C., Iamarino, A., Faye, O., de Oliveira, J. V. C., Diallo, M. & Zanotto, P. M. (2014). Molecular evolution of Zika virus during its emergence in the 20 th century. *PLoS Negl Trop Dis*, 8(1), e2636.

Finney, D. J. (1971). Probit Analysis, 3rd ed. Cambridge University Press, 333 p.

Gagné F., André C. & Blaise C. (2008). The Dual Nature of Metallothioneins in the Metabolism of Heavy Metals and Reactive Oxygen Species in Aquatic Organisms: Implications of Use as a Biomarker of Heavy-Metal Effects in Field Investigations. *Biochemistry Insights*, 1: 23-33.

Gainard, Audrey. (2016). Lavandes et lavandin, utilisation en aromathérapie. Enquete aupres des pharmaciens d'officine , thèse, n°47.

Gbolade, A.A., Oyedele, A.O., Sosan, M.B., Adewayin, F.B., Soyela, O.L., Mosquito (2000). Repellent activities of essential oils from two Nigerian *Ocimum* species. *J. Trop. Med. Plants* 1 146–148.

Govindarajan M., Sivakumar R., Rajeswary M., Yogalakshmi K. (2013). Chemical composition and larvicidal activity of essential oil from *Ocimum basilicum* (L.) against *Culex tritaeniorhynchus*, *Aedes albopictus* and *Anopheles subpictus* (Diptera: Culicidae). *Experimental Parasitology* 134 7–11.

Grassé P.P. (1979). Anatomie-Systématique-Biologie des Insectes Supérieurs et Hémiptéroïdes. Tome X. Masson. Pp 1-755.

Gratz, N. G. (2004). Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Medical and veterinary entomology*, 18(3), 215-227.

Guarrera P. M. (1999). Traditional antihelminthic, antiparasitic and repellent uses of plants in Central Italy. *Journal of Ethnopharmacology*. Volume 68, Issues 1–3, 15 December 1999, PP.183-192.

Références bibliographiques

- Gubler, D. J. (1998).** Dengue and dengue hemorrhagic fever. *Clinical microbiology reviews*, 11(3), 480-496.
- Gueye M.T., Seck D., Wathelet J-P. & Lognay G., (2011).** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15(1): 183-194.
- Haddouchi F., Benmansour A. (2008).** Huiles essentielles, utilisations et activités biologiques. Application à deux plantes aromatiques. *Les technologies de laboratoire* : 8, 20-27.
- Haddow, A. D., Schuh, A. J., Yasuda, C. Y., Kasper, M. R., Heang, V., Huy, R., ... & Weaver, S. C. (2012).** Genetic characterization of Zika virus strains: geographic expansion of the Asian lineage. *PLoS Negl Trop Dis*, 6(2), e1477.
- Harnist, Florine. (2013).** L'huile essentielle de lavande officinale : état des connaissances sur ses potentialités thérapeutiques. Mémoire de docteur en pharmacie, 247.
- Hawley, W.A. (1988).** The biology of *Aedes albopictus*. *Journal of the American Mosquito Control Association*. Supplement, 1, 1–39.
- Hervé J.P., Diarrassouba S., Saracino J., Kone A. & Carnevale P. (1998).** Epidémisation de la fièvre jaune : Comportements humains et risques entomologiques. *Séminaire International sur la fièvre jaune en Afrique -Dakar, Sénégal, 25-27 juin 1998*. 37-42.
- Indexe seminum (2009-2010) :** <https://fr.calameo.com/books/0003186547a729957c3f5>
- Isman. (2000).** Plant essential oils for pest and disease management. Faculty of agricultural Sciences, university of british columbia, suite 248, 2357 main mall, vancouver, bc, Canada v6t 1z4, *crop protection* 19
- 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.
- Jia P., Chen X., Chen J., Lu L., Liu Q., Tan X. (2017).** How does the dengue vector mosquito *Aedes albopictus* respond to global warming? *Parasit Vectors*.10(1):140.
- Juliano, S. A. (2009).** Species interactions among larval mosquitoes: context dependence across habitat gradients. *Annual review of entomology*, 54, 37.
- Jupp, P. G. & McIntosh, B. M. (1990).** *Aedes furcifer* and other mosquitoes as vectors of chikungunya virus at Mica, northeastern Transvaal, South Africa. *J Am Mosq Control Assoc*, 6(3), 415-420.

Références bibliographiques

- Kanat M., Alma Hakki M. (2004).** Insecticidal effects of essential oils from various plants against larvae of pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Pest Manag Sci.*; 60 (2): 173-177
- Kemassi A., Cherif R., Boual Z., Bouziane N., Benbrahim F., Hadjseyd A., Gharib T., Ould el Hadj-Khelil A., M.L. Sakeur et M.D. Ould el Hadj. (2016).** Biological activity of aqueous extracts of *Pergularia tomentosa* L. (Asclepiadaceae). *Lebanese Science Journal*, 17(1): 25-35.
- Kobayashi, M., Nihei, N. & Kurihara, T. (2002).** Analysis of northern distribution of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Japan by geographical information system. *Journal of Medical Entomology*, 39(1), 4-11.
- Koschier E. H., Sedy K. A. (2003).** Labiate essential oils affecting host selection and acceptance of *Thrips tabaci* lindeman. *Crop Prot*; 22 (7): 929-934
- Kraemer, M. U. G., Golding, N., Brady, O. J., Messina, J. P., Smith, D. L., Wint, G. R.W. & Hay, S. I. (2015).** The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *Tropical Medicine & International Health*, 20, 38.
- Kumar, Peeyush, Mishra, Sapna, Malik, Anushree et Satya, Santosh, (2012).** Compositional analysis and insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* (family: Myrtaceae) essential oil against housefly (*Musca domestica*). *Acta Tropica*. mai. Vol. 122, n° 2, pp. 212-218
- Lane, P. R. & Crosskey, R. W. (1993).** *Medical insects and arachnids*. Chapman and Hall, 723p.
- Laurain-Mattar, Dominique. (2018).** Critères de qualité des huiles essentielles, *Actualités pharmaceutiques* • n° 580.
- Lema E. (2000).** Etude qualitative de la faune culicidienne et son influence sur la prévalence plasmodiale en milieu urbain et périurbain de Yaoundé. Mémoire D.I.P.E.S II. ENS, U.Y.I. 41 p.
- Maia Marta F., Robinson Ailie., John Alex., Mgando Joseph., Simfukwe Emmanuel. et Moore Sarah J. (2011).** Comparision of the CDC Backpack aspirator and the Prokopack aspirator for sampling indoor- and outdoor- resting mosquitoes in southern Tanzania.
- Makiya, K. (1976).** Some considerations on the distribution pattern of the mosquito *Aedes albopictus* (Skuse) and the practical usefulness of the log (x+ 1) transformation for the field collection data. *Medical Entomology and Zoology*, 27(4), 399-404.
- Manova :** <http://wikistat.fr/pdf/st-m-modmixt5-manova.pdf>.

Références bibliographiques

- Mogi, M. & Mokry, J. (1980).** Distribution of *Wyeomyia smithii* (Diptera, Culicidae) eggs in pitcher plants in Newfoundland, Canada. *Tropical Medicine*,22(1), 1-12.
- Mori, A. (1979).** Effects of larval density and nutrition on some attributes of immature and adult *Aedes albopictus*. *Tropical Medicine*, 21(2), 85-103.
- Musso, D. & Gubler, D. J. (2015).** Zika virus: following the path of dengue and chikungunya?. *The Lancet*, 386(9990), 243-244.
- Musso, D., Nilles, E. J. & Cao-Lormeau, V. M. (2014).** Rapid spread of emerging Zika virus in the Pacific area. *Clinical Microbiology and Infection*,20(10), O595-O596.
- Mwaiko, G. L. and Z. X. Savaeli (1994).** Lemon peel oil extract as mosquito larvicide. *East Afr. Med.J.*, 71 797-799.
- Mwaiko, G. L. (1992).** Citrus peel oil extracts as mosquito larvae insecticides. *East Afr. Med. J.*, 69 223-226.
- Ngamo L.S.T., Hance Th. (2007).** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 25 (4): 215-220.
- Henon Nicolas. (2019).** TIGER- Tri-national Initiative Group of Entomology in Upper Rhine valley.
- Norman K.N.T., (2000).** The persistence of methyl bromide residues in rice, dried fruits, seeds and nuts following laboratory fumigation. *Pest. Manag. Sci.*, 56: 154-158.
- Oliva Clelia. (2012).** Études biologiques et comportementales de deux espèces de moustiques (*Aedes albopictus* et *Anopheles arabiensis*) vectrices de maladies en vue du développement de la Technique de l’Insecte Stérile (TIS) contre ces vecteurs à l’île de la Réunion. Thèse de doctorat. Université de La Réunion. 206 P
- O.M.S. (2017).** The use of impregnated bednets and other materials for vector- borne disease control. Doc. WHONBC 1989, 861.
- Oehler, E., Watrin, L., Larre, P., Leparc-Goffart, I., Lastere, S., Valour, F., et al. (2014).** Zika virus infection complicated by Guillain-Barre syndrome--case report, French Polynesia, December 2013. *Euro Surveill*,19 (9), 20720.
- Paupy, C., Delatte, H., Bagny, L., Corbel, V. & Fontenille, D. (2009).** *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes and Infection / Institut Pasteur*, 11(14), 1177-1185.

Références bibliographiques

- Pirali-Kheirabadi K., Teixeira da Silva J.A. (2010).** Lavandula angustifolia essential oil as a novel and promising natural candidate for tick (*Rhipicephalus (Boophilus) annulatus*) control. *Exp Parasitol*; 126 (2): 184-186.
- Ponnusamy, L., Schal, C., Wesson, D. M., Arellano, C. & Apperson, C. S. (2015).** Oviposition responses of *Aedes* mosquitoes to bacterial isolates from attractive bamboo infusions. *Parasites & vectors*, 8(1), 1.
- Ponnusamy, L., Xu, N., Nojima, S., Wesson, D. M., Schal, C. & Apperson, C. S. (2008).** Identification of bacteria and bacteria-associated chemical cues that mediate oviposition site preferences by *Aedes aegypti*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(27), 9262-9267.
- Ranson H., Burhani J., Lumjuan N. et Black WC. (2010).** Insecticide resistance in dengue vectors. *Tropica net journal*. vol.1 no.1.
- Regnault-Roger C., Philogène B. J. R., Vincent C. (2008).** Biopesticides d'origine végétale. Deuxième édition. Editions Tec & Doc, Paris, 2008, 546 p
- Regnault-Roger C. (2002).** De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième millénaire, 18-39, in « Biopesticides d'origine végétale », Tec et Doc Lavoisier, Paris.
- Reiter, P. (2010).** Yellow fever and dengue: a threat to Europe. *Euro Surveill*, 15(10), 19509.
- Reiter, P. & Darsie JR, R. F. (1984).** *Aedes albopictus* in Memphis, Tennessee (USA): an achievement of modern transportation. *Mosquito News*, 44(3), 396-399.
- Robert V. (1989).** Biologie des anophèles vecteurs du paludisme en Afrique Centrale. *Bull. Liais. Doc.* OCEAC N° 89-90.71-75.
- Rodhain F. & Perez C. (1985).** Précis d'Entomologie médicale et vétérinaire. Maloine. Ed. Paris. 73-153.
- Rozeboom, L. E., Rosen, L. & Ikeda, J. (1973).** Observations on oviposition by *Aedes* (*S.*) *albopictus* Skuse and *A.*(*S.*) *polynesiensis* Marks in nature. *Journal of medical entomology*, 10(4), 397-399.
- Rozendaal J. A. (1999).** La lutte antivectorielle : Méthodes à usage individuel et communautaire. OMS, Genève .09-46.

Références bibliographiques

- Rozilawati, H., Zairi, J. & Adanan, C. R. (2007).** Seasonal abundance of *Aedes albopictus* in selected urban and suburban areas in Penang, Malaysia. *Trop Biomed*, 24(1), 8394.
- Sayah Mohamed Yassine., El Ouali Lalami Abdelhakim., , Greech Hassan., Errachidi Faouzi., Rodi El Kandri Youssef. and Ouazzani Chahdi Fouad. (2014).** Activité Larvicide des Extraits de Plantes Aromatiques sur les Larves de Moustiques Vecteurs de Maladies Parasitaires, *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 7 No. 3 Aug. 2014, pp. 832-842
- Schoeters G. & Hoogenboom R. (2006)** - Contamination of free-range chicken eggs with dioxins and dioxin-like polychlorinated biphenyls. *Mol Nutr Food Res.*, 50: 908-914.
- Service, M. W. (1985).** Population dynamics and mortalities of mosquito preadults. In L. P. Lounibos, J. R. Rey, & J. H. Frank (Eds.), *Ecology of mosquitoes: Proceedings of a workshop* (pp. 185-201). Vero Beach: Florida Medical Entomology Laboratory.
- Skuse, F.A.A., (1894).** The banded mosquito of Bengal. *Indian Museum Note*. 3(5): p. 20.
- Snedeker S.M., (2001).** Pesticides and breast cancer risk: a review of DDT, DDE, and dieldrin. *Environ. Health Perspect.*, 109 Suppl 1: 35-47.
- Somesh, M., S. Rupali, S. Swati, M. Jose, M. Manish, (2015).** In-vitro Comparative Study on Antimicrobial Activity of five Extract of Few Citrus Fruit: Peel & Pulp vs Gentamicin. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(1): 165-173
- Strickman, D. (1980).** Stimuli affecting selection of oviposition sites by *Aedes vexans* (Diptera: Culicidae): moisture. *Mosq News*, 40, 236-245.
- Takagi, M. & Tsuda, Y. (1995).** Temporal and spatial distribution of released *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Nagasaki, Japan. *Medical Entomology and Zoology*, 46(3), 223-228.
- Thorsteinson, A. J. (1960).** Host selection in phytophagous insects. *Annual review of entomology*, 5(1), 193-218.
- Tognarelli, J., Ulloa, S., Villagra, E., Lagos, J., Aguayo, C., Fasce, R., ... & Vera, L. (2016).** A report on the outbreak of Zika virus on Easter Island, South Pacific, 2014. *Archives of virology*, 161(3), 665-8.
- Tsetsarkin, K. A., Chen, R., Sherman, M. B. & Weaver, S. C. (2011).** Chikungunya virus: evolution and genetic determinants of emergence. *Current opinion in virology*, 1(4), 310317.

Références bibliographiques

- Vacus, G. (2012).** Expansion géographique d'*Aedes albopictus*, Quel risque de maladies émergentes en France métropolitaine ?. Mémoire pour l'obtention du diplôme de médecine agricole. INMA, France, 111 P.
- Walker, E. D., Lawson, D. L., Merritt, R. W., Morgan, W. T. & Klug, M. J. (1991).** Nutrient dynamics, bacterial populations, and mosquito productivity in tree hole ecosystems and microcosms. *Ecology*, 72(5), 1529-1546.
- Wallis, R.C. (1954).** A study of oviposition activity of mosquitoes. *Am. J. Hyg.* 60: 135–168.
- Werner, Monika et Braunschweig, Ruth von, (2008).** L'aromathérapie principes, indications, utilisations. Paris : Vigot,
- Woodring J. et Davidson E. W. (1996).** Biological control of mosquitoes. The biology of disease vectors. Sous la direction de B.J. Beaty et W.C. Marquardt. University Press of Colorado, Boulder, Colorado, Les États-Unis d'Amérique. P. 530–548.
- Yang, Young-Cheol., Choi, Han-Young., Choi, Won-Sil., Clark, J. M. et Ahn, Young-Joon. (2004).** Ovicidal and Adulticidal Activity of *Eucalyptus globulus* Leaf Oil Terpenoids against *Pediculus humanus capitis* (Anoplura: %Pediculidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 52, n° 9, pp. 2507-2511.
- Yoshioka, M., Couret, J., Kim, F., McMillan, J., Burkot, T. R., Dotson, E. M. et al. (2012).** Diet and density dependent competition affect larval performance and oviposition site selection in the mosquito species *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Parasites & vectors*, 5(1), 1.
- Zanluca, C., Melo, V. C. A. D., Mosimann, A. L. P., Santos, G. I. V. D., Santos, C. N. D. D. & Luz, K. (2015).** First report of autochthonous transmission of Zika virus in Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(4), 569-572.

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE I : Répartition mondiale d'*Ae. Albopictus*, 2016 (source ECDC)

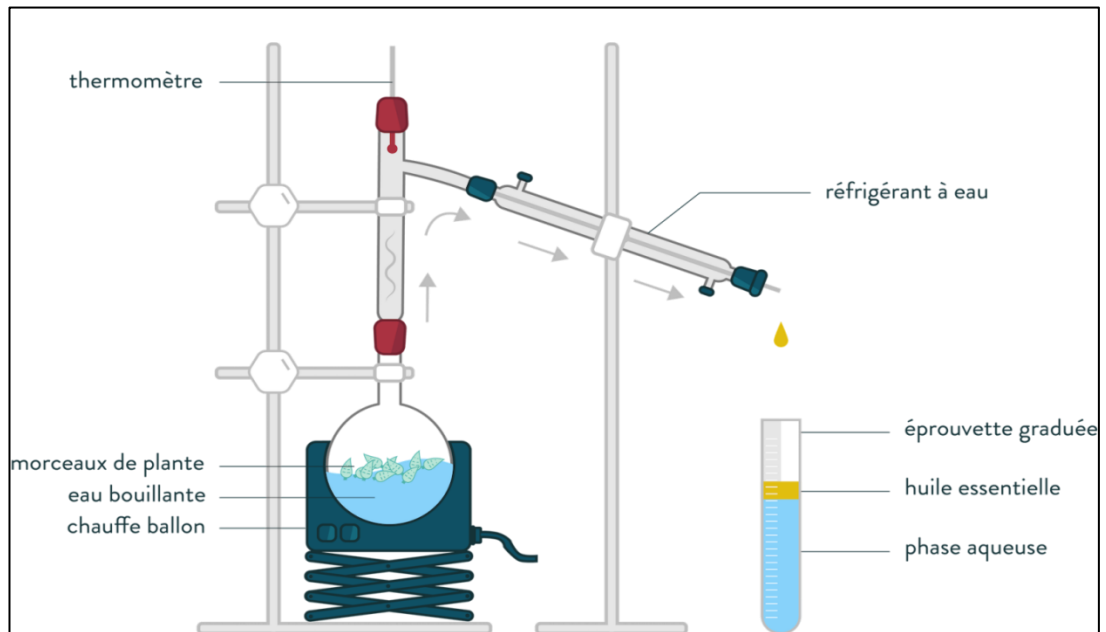
Europe	Moyen-Orient	Asie et Australie	Amérique du Nord, Centrale et Caraïbes	Amérique du Sud	Afrique
<p>Albanie, Belgique (non établi), Bosnie- Herzégovine, Bulgarie, Croatie, République tchèque (pas établi), France (Corse comprise), l'Allemagne (non établi), la Grèce, l'Italie (y compris la Sardaigne et la Sicile), Malte, Monaco , le</p>	<p>Israël, le Liban, la Syrie.</p>	<p>L'Australie, le Japon, la Nouvelle- Zélande (pas établi), de nombreuses îles de l'océan Pacifique et l'océan Indien et l'Asie du Sud.</p>	<p>Barbade (non établi), Îles Caïmans, Costa Rica, Cuba, République dominicaine, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexique, Nicaragua, Panama, Trinidad (pas établie), États- Unis.</p>	<p>Argentine, Bolivie (pas établi), Brésil, Colombie, Paraguay, Uruguay, Venezuela.</p>	<p>Algérie, Maroc, Cameroun, Guinée équatoriale, Gabon, Madagascar, Nigeria, Afrique du Sud (pas établi).</p>

ANNEXES

Monténégro, les Pays-Bas (pas établi), Saint- Marin, Serbie, Slovénie, Espagne, Suisse, Turquie et Vatican.					
--	--	--	--	--	--

ANNEXES

ANNEXE II : Méthodes d'extraction des huiles essentielles



L'appareil de subventionnement schématisé pour l'hydrodistillation.

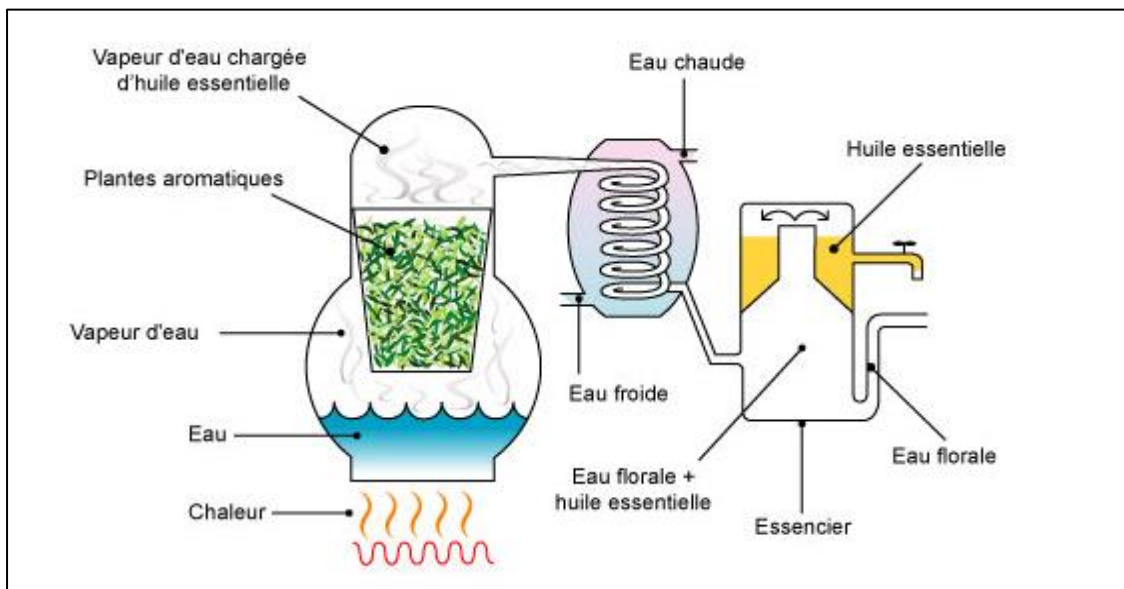
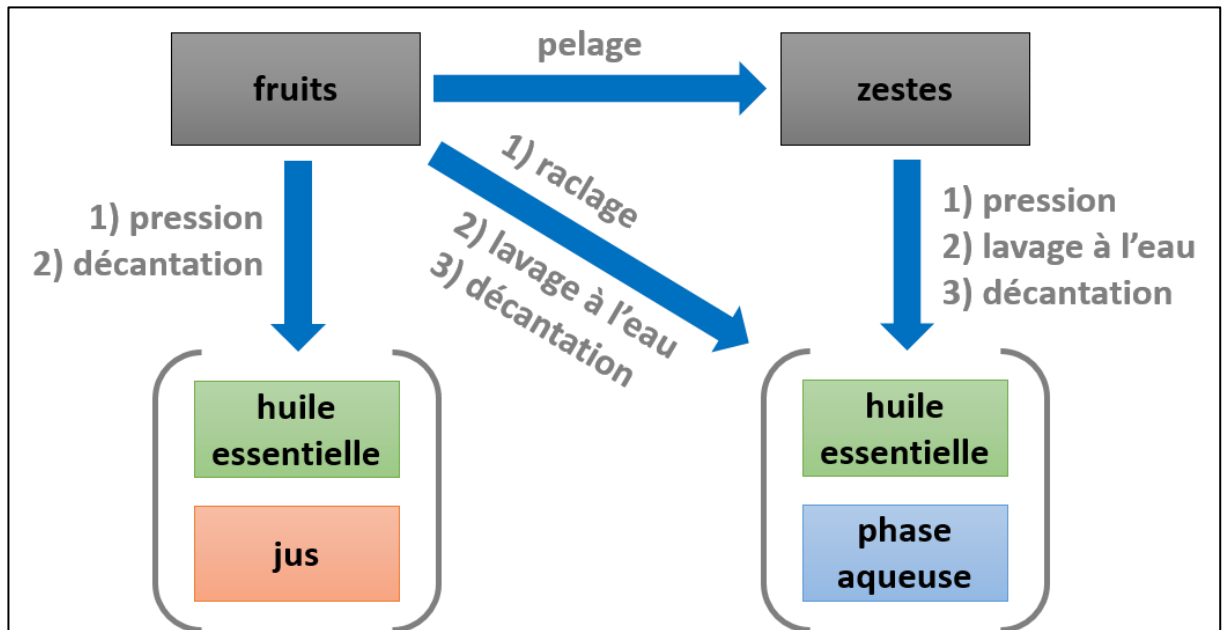
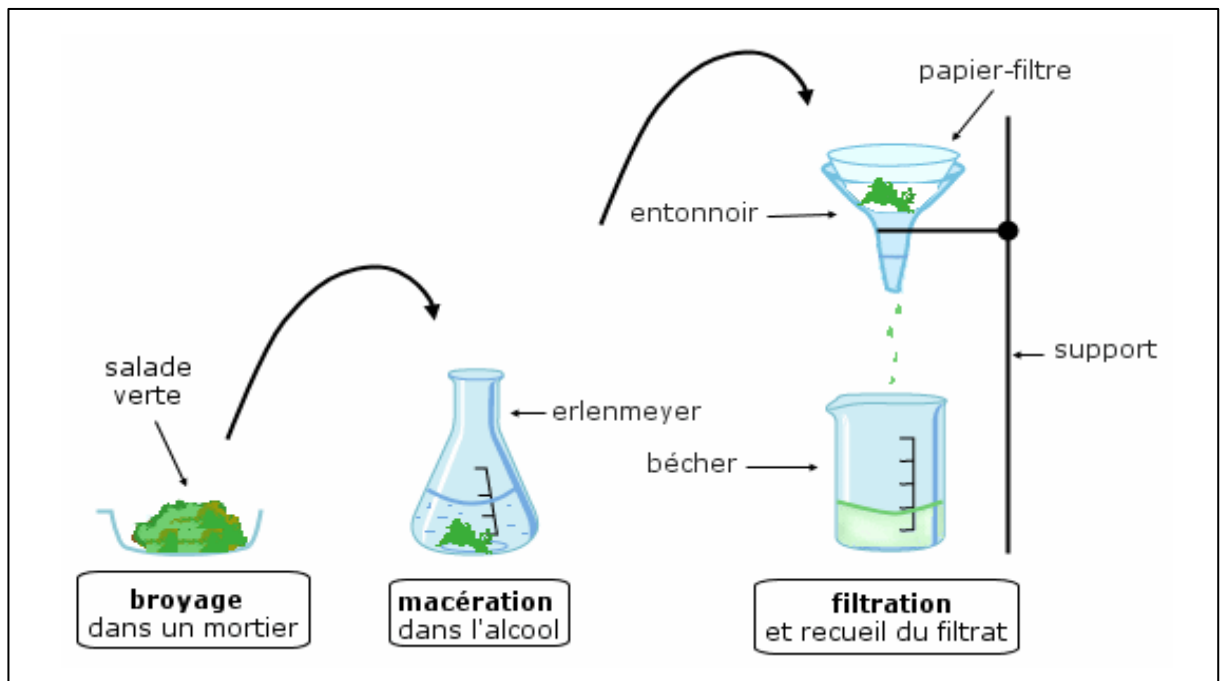


Schéma du montage vapo-hydrodistillation. (E. Bocchio, 1985)

ANNEXES

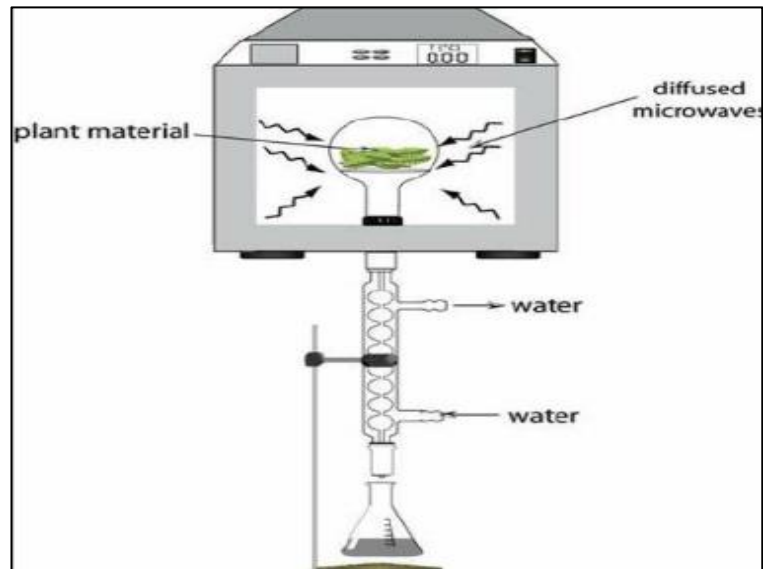


L'expression à froid (Dugo et Di Giacomo, 2002).



Extraction au moyen de solvants (Garnero, 1996).

ANNEXES



Hydro-diffusion par micro-ondes et gravité (MHG) (**Hesham et al., 2016**).

ANNEXES

ANNEXE III : Matériel non biologique

A - Outils de laboratoire :

- Cages d'élevages 30cm x 30cm.
- Bacs d'élevage identifiés.
- Aspirateur à bouche.
- Gobelets en plastique.
- Papier buvard.
- Pipettes en plastique.
- Passoir.
- Seringue 1cc pour l'injection.
- Trousse à dissection composée :Scalpels, pinces, aiguilles lancéolées, ciseaux, sonde cannelée et spatule pour peser.
- Le kit insecticide de l'OMS.
- Verrerie (Éprouvette graduée, Fiole jaugée, Pipette, tube a essai, bécher, entonnoir, boîte de Pétri, Cristallisoir, flacons).
- Micropipettes (100 µl, 200 µl, 1000 µl, 5000 µl).
- Pointes (bleu, jaune, blanc)
- Coton.

B-Outils de terrain :

- Pièges pondoirs PP (des seaux noirs).
- Papier cuisson.
- Les étiquettes.
- Enveloppes

C- Appareillage :

- Microscope optique.
- Loupe binoculaire.
- Ordinateur de bureau
- Humidificateur.
- Climatiseur.
- Balance.
- Thermo-hygromètres : permettent de mesurer très facilement la température et le taux d'humidité de l'air.
- BG Sentinel 2 (BGs).

ANNEXES

- Aspirateur électrique « CDC Backpack »

D- Produits :

- Relaxant : COMBISTRESS, solution injectable pour administration I.M. profonde ou I.V. lente.

- Croquette de chat.

- Jus sucré à 10% (10g de sucre /1ml d'eau distillée).

- Eau distillée.

- Tween 80.



Matériel utilisé pour le maintien des larves.



Micropipettes (100µl, 20 µl, 5000µl).



Balance.



Aspirateur à bouche.

ANNEXES



Matériel utilisé pour la préparation des concentrations des huiles essentielles.



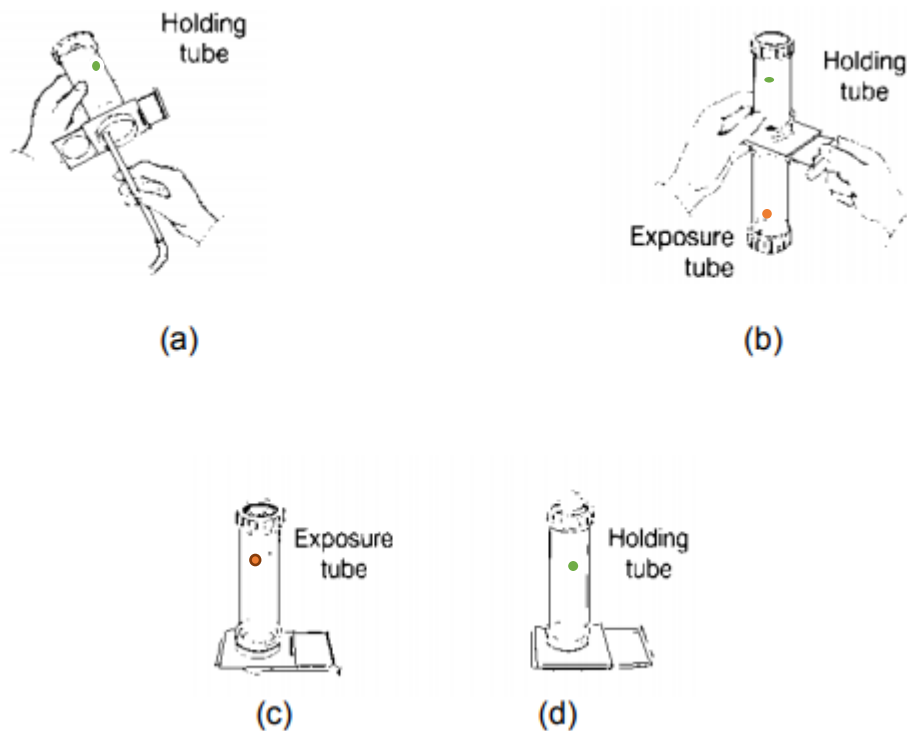
Humidificateur.

ANNEXES

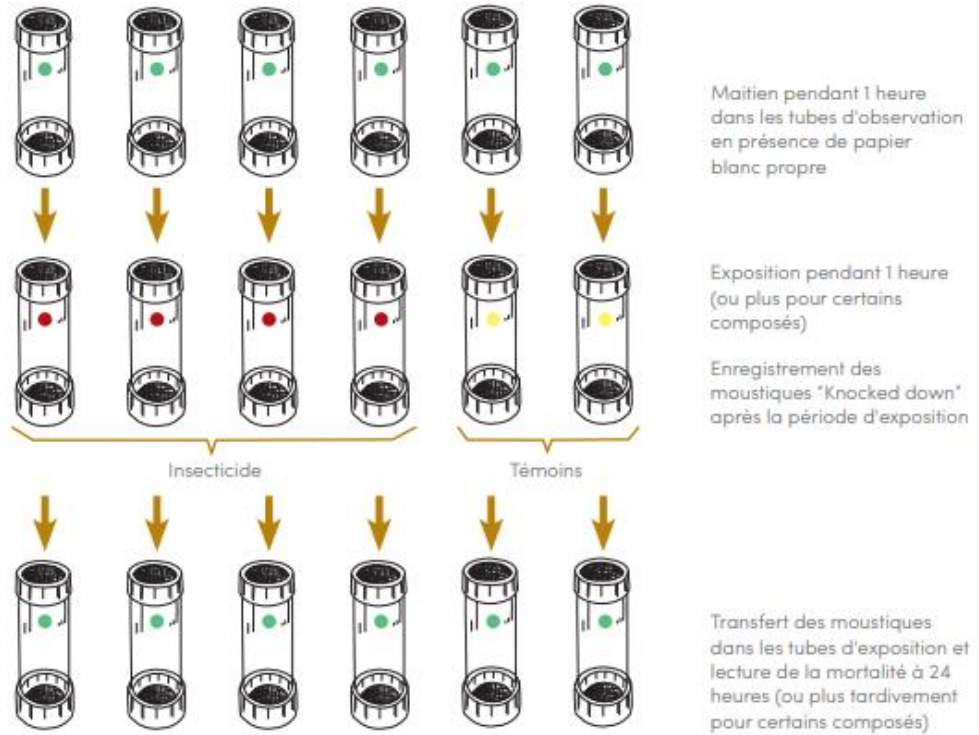
ANNEXE IV : Le kit de l'OMS (étude de la sensibilité des moustiques adultes)

Description et procédure d'essai :

Le kit de test de l'OMS se compose de deux tubes en plastique (125 mm de longueur, 44 mm de diamètre), chaque tube étant équipé à une extrémité d'un tamis de 16 mailles. Un tube (tube d'exposition) est marqué avec un point rouge, l'autre (tube de maintien) avec un point vert. Le tube de maintien est vissé sur une unité coulissante avec un trou de 20 mm dans lequel un aspirateur s'adaptera pour introduire les moustiques dans le tube de maintien. Le tube d'exposition est ensuite vissé de l'autre côté de l'unité coulissante. Glisser la cloison dans cette unité ouvre une ouverture entre les tubes de sorte que les moustiques peuvent être soufflés doucement dans le tube d'exposition pour commencer le traitement, puis soufflé dans le tube de maintien après l'exposition chronométrée (généralement une heure). Les papiers filtres sont maintenus en place contre les parois des tubes par quatre pinces à ressort: deux pinces en acier pour fixer le papier ordinaire aux parois du tube de maintien et deux pinces en cuivre pour fixer le papier insecticide à l'intérieur du tube d'exposition.



ANNEXES



ANNEXES

ANNEXE V : Analyse de la variance (MANOVA)

Comparaisons par paire

Variable dépendante				Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig. ^b	Intervalle de confiance de la différence à 95% ^b	
							Borne inférieure	Limite supérieure
TM % (1H)	Eucalyptus radiata	Témoin	C1	-22,667*	5,68	0,00	-34,26	-11,07
			C2	-9,33	5,68	0,11	-20,93	2,26
			C3	-9,33	5,68	0,11	-20,93	2,26
			C4	-2,67	5,68	0,64	-14,26	8,93
		C1	Témoin	22,667*	5,68	0,00	11,07	34,26
			C2	13,333*	5,68	0,03	1,74	24,93
			C3	13,333*	5,68	0,03	1,74	24,93
			C4	20,000*	5,68	0,00	8,40	31,60
		C2	Témoin	9,33	5,68	0,11	-2,26	20,93
			C1	-13,333*	5,68	0,03	-24,93	-1,74
			C3	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C4	6,67	5,68	0,25	-4,93	18,26
	C3	Témoin	9,33	5,68	0,11	-2,26	20,93	
		C1	-13,333*	5,68	0,03	-24,93	-1,74	
		C2	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60	
		C4	6,67	5,68	0,25	-4,93	18,26	
	C4	Témoin	2,67	5,68	0,64	-8,93	14,26	
		C1	-20,000*	5,68	0,00	-31,60	-8,40	
		C2	-6,67	5,68	0,25	-18,26	4,93	
		C3	-6,67	5,68	0,25	-18,26	4,93	
Citrus bigaradia	Témoin	C1	C1	-45,333*	5,68	0,00	-56,93	-33,74
			C2	-18,667*	5,68	0,00	-30,26	-7,07
			C3	-24,000*	5,68	0,00	-35,60	-12,40
			C4	-10,67	5,68	0,07	-22,26	0,93
		C1	Témoin	45,333*	5,68	0,00	33,74	56,93
			C2	26,667*	5,68	0,00	15,07	38,26
			C3	21,333*	5,68	0,00	9,74	32,93
			C4	34,667*	5,68	0,00	23,07	46,26
		C2	Témoin	18,667*	5,68	0,00	7,07	30,26
			C1	-26,667*	5,68	0,00	-38,26	-15,07
			C3	-5,33	5,68	0,36	-16,93	6,26
			C4	8,00	5,68	0,17	-3,60	19,60
	C3	Témoin	24,000*	5,68	0,00	12,40	35,60	
		C1	-21,333*	5,68	0,00	-32,93	-9,74	
		C2	5,33	5,68	0,36	-6,26	16,93	
		C4	13,333*	5,68	0,03	1,74	24,93	
	C4	Témoin	10,67	5,68	0,07	-0,93	22,26	
		C1	-34,667*	5,68	0,00	-46,26	-23,07	
		C2	-8,00	5,68	0,17	-19,60	3,60	
		C3	-13,333*	5,68	0,03	-24,93	-1,74	
Lavandulaofficinalis	Témoin	C1	C1	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60

ANNEXES

			C2	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C3	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C4	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
		C1	Témoin	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C2	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C3	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C4	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
		C2	Témoin	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C1	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C3	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C4	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
		C3	Témoin	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C1	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C2	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C4	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
		C4	Témoin	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C1	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C2	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
			C3	0,00	5,68	1,00	-11,60	11,60
TM %	Eucalyptus radiata	Témoin	C1	-77,333*	6,90	0,00	-91,43	-63,24
(24H)			C2	-48,000*	6,90	0,00	-62,10	-33,90
			C3	-20,000*	6,90	0,01	-34,10	-5,90
			C4	-4,00	6,90	0,57	-18,10	10,10
		C1	Témoin	77,333*	6,90	0,00	63,24	91,43
			C2	29,333*	6,90	0,00	15,24	43,43
			C3	57,333*	6,90	0,00	43,24	71,43
			C4	73,333*	6,90	0,00	59,24	87,43
		C2	Témoin	48,000*	6,90	0,00	33,90	62,10
			C1	-29,333*	6,90	0,00	-43,43	-15,24
			C3	28,000*	6,90	0,00	13,90	42,10
			C4	44,000*	6,90	0,00	29,90	58,10
		C3	Témoin	20,000*	6,90	0,01	5,90	34,10
			C1	-57,333*	6,90	0,00	-71,43	-43,24
			C2	-28,000*	6,90	0,00	-42,10	-13,90
			C4	16,000*	6,90	0,03	1,90	30,10
		C4	Témoin	4,00	6,90	0,57	-10,10	18,10
			C1	-73,333*	6,90	0,00	-87,43	-59,24
			C2	-44,000*	6,90	0,00	-58,10	-29,90
			C3	-16,000*	6,90	0,03	-30,10	-1,90
	Citrus bigaradia	Témoin	C1	-92,000*	6,90	0,00	-106,10	-77,90
			C2	-49,333*	6,90	0,00	-63,43	-35,24
			C3	-25,333*	6,90	0,00	-39,43	-11,24
			C4	-16,000*	6,90	0,03	-30,10	-1,90
		C1	Témoin	92,000*	6,90	0,00	77,90	106,10
			C2	42,667*	6,90	0,00	28,57	56,76
			C3	66,667*	6,90	0,00	52,57	80,76
			C4	76,000*	6,90	0,00	61,90	90,10
		C2	Témoin	49,333*	6,90	0,00	35,24	63,43

ANNEXES

TM % (48H)	Lavandula officinalis	C3	C1	-42,667*	6,90	0,00	-56,76	-28,57
			C3	24,000*	6,90	0,00	9,90	38,10
			C4	33,333*	6,90	0,00	19,24	47,43
			Témoin	25,333*	6,90	0,00	11,24	39,43
		C4	C1	-66,667*	6,90	0,00	-80,76	-52,57
			C2	-24,000*	6,90	0,00	-38,10	-9,90
			C4	9,33	6,90	0,19	-4,76	23,43
			Témoin	16,000*	6,90	0,03	1,90	30,10
		Témoin	C1	-76,000*	6,90	0,00	-90,10	-61,90
			C2	-33,333*	6,90	0,00	-47,43	-19,24
			C3	-9,33	6,90	0,19	-23,43	4,76
			C1	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C2	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C3	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C4	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C1	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C2	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C3	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C4	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
			C1	Témoin	0,00	6,90	1,00	-14,10
		C2		0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
		C3		0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
		C4		0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
		C2	Témoin	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10
	C1		0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
	C3		0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
	C4		0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
	C3	Témoin	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
		C1	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
		C2	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
		C4	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
	C4	Témoin	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
		C1	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
		C2	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
		C3	0,00	6,90	1,00	-14,10	14,10	
	Eucalyptus radiata	Témoin	C1	-80,000*	7,14	0,00	-94,58	-65,42
			C2	-52,000*	7,14	0,00	-66,58	-37,42
			C3	-24,000*	7,14	0,00	-38,58	-9,42
			C4	-5,33	7,14	0,46	-19,91	9,25
		C1	Témoin	80,000*	7,14	0,00	65,42	94,58
			C2	28,000*	7,14	0,00	13,42	42,58
			C3	56,000*	7,14	0,00	41,42	70,58
			C4	74,667*	7,14	0,00	60,09	89,25
		C2	Témoin	52,000*	7,14	0,00	37,42	66,58
			C1	-28,000*	7,14	0,00	-42,58	-13,42
			C3	28,000*	7,14	0,00	13,42	42,58
			C4	46,667*	7,14	0,00	32,09	61,25
	C3	Témoin	24,000*	7,14	0,00	9,42	38,58	
C1		-56,000*	7,14	0,00	-70,58	-41,42		
C2		-28,000*	7,14	0,00	-42,58	-13,42		
C4		18,667*	7,14	0,01	4,09	33,25		
C4	Témoin	5,33	7,14	0,46	-9,25	19,91		

ANNEXES

			C1	-74,667*	7,14	0,00	-89,25	-60,09
			C2	-46,667*	7,14	0,00	-61,25	-32,09
			C3	-18,667*	7,14	0,01	-33,25	-4,09
	Citrus bigaradia	Témoïn	C1	-92,000*	7,14	0,00	-106,58	-77,42
			C2	-50,667*	7,14	0,00	-65,25	-36,09
			C3	-40,000*	7,14	0,00	-54,58	-25,42
			C4	-24,000*	7,14	0,00	-38,58	-9,42
		C1	Témoïn	92,000*	7,14	0,00	77,42	106,58
			C2	41,333*	7,14	0,00	26,75	55,91
			C3	52,000*	7,14	0,00	37,42	66,58
			C4	68,000*	7,14	0,00	53,42	82,58
		C2	Témoïn	50,667*	7,14	0,00	36,09	65,25
			C1	-41,333*	7,14	0,00	-55,91	-26,75
			C3	10,67	7,14	0,15	-3,91	25,25
			C4	26,667*	7,14	0,00	12,09	41,25
		C3	Témoïn	40,000*	7,14	0,00	25,42	54,58
			C1	-52,000*	7,14	0,00	-66,58	-37,42
			C2	-10,67	7,14	0,15	-25,25	3,91
			C4	16,000*	7,14	0,03	1,42	30,58
	C4	Témoïn	24,000*	7,14	0,00	9,42	38,58	
		C1	-68,000*	7,14	0,00	-82,58	-53,42	
		C2	-26,667*	7,14	0,00	-41,25	-12,09	
		C3	-16,000*	7,14	0,03	-30,58	-1,42	
	Lavandulaofficinalis	Témoïn	C1	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C2	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C3	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C4	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
		C1	Témoïn	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C2	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C3	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C4	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
		C2	Témoïn	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C1	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C3	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C4	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
		C3	Témoïn	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C1	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C2	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
			C4	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58
	C4	Témoïn	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58	
		C1	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58	
		C2	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58	
		C3	0,00	7,14	1,00	-14,58	14,58	
TM % (72H)	Eucalyptus radiata	Témoïn	C1	-81,333*	6,59	0,00	-94,78	-67,88
			C2	-54,667*	6,59	0,00	-68,12	-41,22
			C3	-29,333*	6,59	0,00	-42,78	-15,88
			C4	-5,33	6,59	0,42	-18,78	8,12

ANNEXES

Citrus bigaradia	C1	Témoin	81,333*	6,59	0,00	67,88	94,78	
		C2	26,667*	6,59	0,00	13,22	40,12	
		C3	52,000*	6,59	0,00	38,55	65,45	
		C4	76,000*	6,59	0,00	62,55	89,45	
		C2	Témoin	54,667*	6,59	0,00	41,22	68,12
			C1	-26,667*	6,59	0,00	-40,12	-13,22
			C3	25,333*	6,59	0,00	11,88	38,78
			C4	49,333*	6,59	0,00	35,88	62,78
		C3	Témoin	29,333*	6,59	0,00	15,88	42,78
			C1	-52,000*	6,59	0,00	-65,45	-38,55
			C2	-25,333*	6,59	0,00	-38,78	-11,88
			C4	24,000*	6,59	0,00	10,55	37,45
		C4	Témoin	5,33	6,59	0,42	-8,12	18,78
			C1	-76,000*	6,59	0,00	-89,45	-62,55
			C2	-49,333*	6,59	0,00	-62,78	-35,88
			C3	-24,000*	6,59	0,00	-37,45	-10,55
		Témoin	C1	-92,000*	6,59	0,00	-105,45	-78,55
			C2	-53,333*	6,59	0,00	-66,78	-39,88
			C3	-44,000*	6,59	0,00	-57,45	-30,55
			C4	-25,333*	6,59	0,00	-38,78	-11,88
		C1	Témoin	92,000*	6,59	0,00	78,55	105,45
			C2	38,667*	6,59	0,00	25,22	52,12
			C3	48,000*	6,59	0,00	34,55	61,45
			C4	66,667*	6,59	0,00	53,22	80,12
		C2	Témoin	53,333*	6,59	0,00	39,88	66,78
			C1	-38,667*	6,59	0,00	-52,12	-25,22
			C3	9,33	6,59	0,17	-4,12	22,78
			C4	28,000*	6,59	0,00	14,55	41,45
		C3	Témoin	44,000*	6,59	0,00	30,55	57,45
			C1	-48,000*	6,59	0,00	-61,45	-34,55
			C2	-9,33	6,59	0,17	-22,78	4,12
			C4	18,667*	6,59	0,01	5,22	32,12
		C4	Témoin	25,333*	6,59	0,00	11,88	38,78
			C1	-66,667*	6,59	0,00	-80,12	-53,22
			C2	-28,000*	6,59	0,00	-41,45	-14,55
			C3	-18,667*	6,59	0,01	-32,12	-5,22
		Lavandulaofficinalis	Témoin	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
			C2	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
			C3	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
			C4	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C1	Témoin	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45	
		C2	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45	
		C3	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45	

ANNEXES

	C4	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
C2	Témoin	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C1	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C3	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C4	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
C3	Témoin	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C1	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C2	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C4	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
C4	Témoin	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C1	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C2	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45
	C3	0,00	6,59	1,00	-13,45	13,45

Basée sur les moyennes marginales estimées

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.

b. Ajustement des comparaisons multiples : Différence la moins significative (équivalent à aucun ajustement).

ANNEXES

ANNEXE VI : Tableau des sorties

Sorties	Mois	Dates
1	Mars	24/03/2019
2	Avril	31/03/2019
3	Avril	07/04/2019
4	Avril	14/04/2019
5	Avril	21/04/2019
6	Avril	28/04/2019
7	Mai	01/05/2019
8	Mai	08/05/2019
9	Mai	15/05/2019
10	Mai	22/05/2019
11	Mai	29/05/2019
12	Juin	05/06/2019
13	Juin	12/06/2019
14	Juin	19/06/2019
15	Juin	26/06/2019
16	Juillet	03/07/2019
17	Juillet	10/07/2019
18	Juillet	17/07/2019
19	Juillet	24/07/2019