UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Extraction et évaluation de l'activité biologique des huiles essentielles des espèces de la flore Burundaise contre la mouche domestique (Musca domestica L.): Cas d' Eucalyptus globulus (umukaratusi) et de Cupressus lusitanica (isederi) cultivées à la colline KIBOGOYE en commune MURAMVYA

Bayubahe, François; Sous la direction de : Pr. Godefroid Gahungu

2024
UB, FS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1974

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

Extraction et évaluation de l'activité biologique des huiles essentielles des espèces de la flore Burundaise contre la mouche domestique (*Musca domestica L.*): Cas d' *Eucalyptus globulus* (umukaratusi) et de *Cupressus lusitanica* (isederi) cultivées à la colline KIBOGOYE en commune MURAMVYA.

par François BAYUBAHE

MEMOIRE

Présenté en Vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES CHIMIQUES

SPECIALITE : Contrôle et Analyses Chimiques

Sous la direction de : Pr. Godefroid GAHUNGU

Co-directeur : Pr. Jacques NKENGURUTSE

BUJUMBURA, Mars 2024

MEMBRES DU JURY

Pr. Vestine NTAKARUTIMANA : Président

Pr. Godefroid GAHUNGU : Directeur

Pr. Jacques NKENGURUTSE : Co-directeur

Dr. Pierre Claver MPAWENAYO : Secrétaire

DEDICACES

Le présent travail est dédié :

A ma tendre épouse, MUNYEMBABAZI Médiatrice ;

A mes chères filles BAYUBAHE Abby Dorelle et BAYUBAHE Lyn Gabriella ;

A mes chers Parents;

A mes frères et sœurs et

A tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENTS

Au cours de mon parcours de master en Contrôle et Analyses Chimiques, j'ai bénéficié d'un encadrement, du soutien et des encouragements de plusieurs personnes à qui je tiens à remercier sincèrement et profondément.

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à Pr. Gode froid GAHUNGU, directeur de ce travail. Je vous remercie pour m'avoir honoré en acceptant de diriger ce travail, pour la valeur inestimable de vos conseils et orientations très précieux et pour m'avoir soutenu financièrement à travers le projet « Extraction et caractérisation des huiles essentielles de certaines espèces de la flore Burundaise et leur utilisation dans la lutte contre certains insectes vecteurs de maladies » dont vous êtes coordonnateur. Ainsi, veuillez trouver dans ce travail, le témoignage de mes sentiments respectueux, de mon estime et de ma profonde gratitude.

Je remercie également Pr. Jacques NKENGURUTSE co-directeur du présent travail et l'ensemble des membres du jury. En acceptant de siéger dans le jury, vous me faites un très grand honneur et je tiens à vous assurer de ma profonde reconnaissance pour l'intérêt que vous avez porté à mon travail.

J'adresse des remerciements particuliers à Pr. Vestine NTAKARUTIMANA, responsable du programme de Mastère en Sciences Chimiques pour son bon sens d'écoute et de compréhension ainsi que pour sa bonne collaboration.

Je remercie tous les professeurs de la faculté des sciences, plus particulièrement ceux qui nous ont enseigné en Master en Contrôle et Analyses Chimiques. Merci de nous avoir inspiré à travers votre dévouement envers la formation et votre amour du travail bien fait.

Enfin, mes remerciements s'adressent à tous mes collègues de promotion et à toute autre personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et dont l'oubli de nom n'est pas de cœur.

RESUME

Dans les pays en développement de la zone tropicale, la population est exposée à de nombreuses maladies d'hygiène catalysées par la présence d'une variété d'insectes vecteurs de ces dernières. En plus de l'accès limité des pays en développement aux insecticides de lutte contre ces insectes, la toxicité environnementale de ces derniers et la résistance accrue des vecteurs aux insecticides de synthèse couramment utilisés sont largement répandues à travers le monde. De nombreuses études ont montré que les huiles essentielles, par leurs propriétés insecticides et insectifuges, peuvent être utilisées comme alternative à ces insecticides mais le Burundi ne dispose pas d'une base de données sur sa flore native à propriétés anti-insectes et répulsives d'où l'intérêt de la présente étude qui avait comme objectif d'extraire et d'évaluer l'activité insecticide et insectifuge des huiles essentielles de l'*Eucalyptus globulus L.* et du *Cupressus lusitanica* de la flore burundaise.

Pour cela, des huiles essentielles extraites à partir des feuilles fraiches des plantes échantillonnées à BUGARAMA ont été appliquées sur les mouches domestiques (*Musca domestica*) et les résultats montrent que les HEs des deux plantes ont toutes un effet significatif de répulsion des mouches domestiques et, alors que l'augmentation de la dose va de pair avec l'augmentation significative du pourcentage de répulsion pour l' *Eucalyptus globulus*, cette tendance n'est pas observée chez le *Cupressus lusitanica* .

L'effet insecticide des HEs des deux plantes est également significatif et le *Cupressus lusitanica* s'est révélé très toxique à la mouche domestique par rapport à l' *Eucalyptus globulus*. La différence de rendement d'extraction de ces deux huiles essentielles fait cependant que, l'exploitation économique reste favorable à l' *Eucalyptus globulus* par rapport au *Cupressus lusitanica* .

Nos résultats apportent une justification scientifique à toute utilisation de ces deux espèces dans la lutte contre les mouches domestiques et les investisseurs peuvent s'en approprier et investir dans la formulation à grande échelle des produits anti-mouches, contribuant ainsi à la protection de l'environnement et à la sécurité sanitaire de la population.

Mots clés : Mouche domestique, Huiles essentielles, Insecticides botaniques, Eucalyptus globulus, Cupressus lusitanica.

ABSTRACT

The population in developing countries is exposed to many hygiene diseases and the situation is exacerbated by the the presence of a wide variety of insect vectors. In addition to developing countries' limited access to insect control products, the environmental toxicity of these products and the increased resistance of vectors to commonly used synthetic insecticides are widespread throughout the world. Numerous studies have shown that essential oils, through their insecticidal and insect repellent properties, can be used as an alternative to these insecticides, but Burundi does not have a database on its native flora with anti-insect properties, and then, this study aimed to extract and evaluate the insecticidal and insect repellent activity of essential oils from plants of the Burundian flora

Essential oils extracted from the fresh leaves of *Eucalyptus globulus* and *Cupressus lusitanica* sampled at BUGARAMA were applied to houseflies (*Musca domestica*) and the results show that the EOs of both plants have a significant housefly repellent effect and increasing the dose of *Eucalyptus globulus* essential oil significantly increases the percentage of repulsion, while this is not the case for *Cupressus lusitanica*.

The insecticidal effect of the EOs of the two plants is also significant and *Cupressus lusitanica* essential oil is very toxic to houseflies compared to *Eucalyptus globulus* essential oil. However, the economic exploitation remains favourable to *Eucalyptus globulus* compared to cupressus due to the difference in the extraction yield of these two essential oils.

Our results provide a scientific rationale for any use of these two species in the control of houseflies and investors can use them and invest in the formulation of housefly control products to promote environmental protection and public health safety.

Keywords: Housefly, Essential oils, Botanical insecticides, Eucalyptus globulus, Cupressus lusitanica.

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY ..... **i**

DEDICACES ..... **ii**

REMERCIEMENTS ..... **iii**

RESUME ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TABLE DES MATIERES ..... **vi**

LISTE DES ABREVIATIONS ..... **viii**

LISTE DES FIGURES ET GRAPHIQUES ..... **ix**

LISTE DES TABLEAUX ..... **x**

AVANT-PROPOS ..... **xi**

INTRODUCTION GENERALE **1**

CHAPITRE I. GENERALITES **4**

I.1. Maladies à transmission vectorielle 4

I.2. La mouche domestique comme vecteur de maladies 6

I.2.1. Description 6

I.2.2. Classification 7

I.2.3. Habitat et cycle de vie 8

I.2.4. Importance médicale 9

I.2.5. Maladies transmises par la mouche domestique 10

I.2.6. Moyens de luttes contre les mouches domestiques 12

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODE **19**

II.1. Matériel utilisé 19

II.1.1. Matériel végétal 19

II.1.2. Matériel du laboratoire 20

II.1.3. Matériel animal 20

II.2. Méthodes 21

II.2.1. Extraction et conservation des HEs 21
II.2.2. Capture des mouches domestiques 22
II.2.3. Test de l'effet des HEs sur les mouches domestiques 23
II.2.4. Analyses statistiques 25
CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 27
III.1. Présentation des résultats 27
III.1.1. Rendement d'extraction 27
III.1.2. Effet répulsif 27
III.1.3. Effet insecticide 29
III.2. Discussion des résultats 34
III.2.1. Le rendement d'extraction 35
III.2.2. Effet répulsif 35
III.2.3. Effet insecticide 38
III.2.4. Comparaison de l'efficacité des HEs extraites de l' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica* 40
CHAPITRE IV. CONCLUSION ET SUGGESTIONS 42
IV.1. Conclusion 42
IV.2. Suggestions 43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 44

LISTE DES ABREVIATIONS

ANOVA : Analysis Of Variance

ARN : Acide Rubonucléique

CRUPHAMET : Centre de Recherche Universitaire en Pharmacopée et Médecine Traditionnelle

DL50 : Dose Létale 50%

DL90 : Dose Létale 90%

EO(s) : Essential Oil (s)

HE (s) : Huile (s) Essentielle (s)

MdSGHV : Musca domestica Salivary Gland Hypertrophy Virus

MNT : Maladies Non Transmissibles

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

SRAS-CoV-2 : Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2

WHO : World Health Organization

LISTE DES FIGURES ET GRAPHIQUES

Figure 1: Mouche domestique (Musca domestica)..... 7
Figure 2: Cycle de vie de la mouche domestique..... 9
Figure 3: Parasitage de la pulpe de mouche domestique par Muscidifurax raptor 16
Figure 4 : Carte de la localisation du site d'échantillonnage des plantes..... 19
Figure 5: Matériel végétal utilisé..... 20
Figure 6: Echantillonnage et Extraction des huiles essentielles..... 22
Figure 7: Echantillonnage des mouches..... 23
Figure 8: Dispositif expérimental de l'étude de l'effet insectifuge des HEs contre les mouches..... 24
Figure 9: Dispositif expérimental de l'étude de l'effet insecticide des HEs contre les mouches..... 25
Figure 10: Pourcentages de répulsion des mouches domestiques en fonction de la concentration d'HE de Cupressus lusitanica..... 28
Figure 11: Pourcentages de répulsion des mouches domestiques en fonction de la concentration d'HE d' Eucalyptus globulus. 28
Figure 12: Taux de mortalité en fonction du temps et selon la dose de l'HE de Cupressus lusitanica..... 31
Figure 13: Taux de mortalité en fonction du temps et selon la dose de l'HE d' Eucalyptus globulus 31
Figure 14: DL50 en fonction de l'HE et du temps..... 34
Figure 15: DL90 en fonction de l'HE et du temps..... 34
Figure 16: Composition des HE rapportée dans différentes espèces d' Eucalyptus globulus 36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Maladies à transmission vectorielle 5
Tableau 2: Principaux agents pathogènes véhiculés par la mouche domestique 11
Tableau 3: Pourcentages de répulsion pour chaque HE et pour chaque dose 27
Tableau 4: Comparaison des pourcentages de répulsion pour chaque HE et pour chaque dose 29
Tableau 5: Pourcentages de mortalité de l'HE de Cupressus lusitanica en fonction de la dose 30
Tableau 6: Pourcentages de mortalité de l'HE d'Eucalyptus globulus en fonction de la dose 30
Tableau 7: Groupes homogènes de doses en fonction du temps d'application pour l'HE de Cupressus lusitanica 32
Tableau 8: Groupes homogènes de doses en fonction du temps d'application pour l'HE d' Eucalyptus globulus 32
Tableau 9: Doses létales pour les HEs de Cupressus lusitanica et d'Eucalyptus globulus en fonction du temps d'exposition 33

AVANT-PROPOS

Ce travail rentre dans le cadre des travaux de recherche encours dans le centre de recherche en sciences naturelles et de l'environnement, en vue de connaître et de faire connaître la flore Burundaise à propriétés anti-insectes et répulsives pouvant être mises à profit dans le cadre de l'amélioration de la santé publique (ODD3) par la lutte contre les maladies véhiculées par les insectes en utilisant les huiles essentielles répulsives et / ou anti-insectes vecteurs de maladies coutantes.

L'extraction des huiles essentielles d' *Eucalyptus globulus* (umukaratusi) et de *Cupressus lusitanica* (isederi) cultivées à la colline KIBOGOYE en commune MURAMVYA a été réalisée et les activités biologiques des différentes doses de chacune de ces huiles essentielles ont été évaluées sur la mouche domestique (*Musca domestica L.*)

La recherche a été motivée par le fait que bien que plusieurs études aient démontré l'effet répulsif et insecticides des huiles essentielles contre les mouches domestiques, le Burundi ne dispose pas d'une base de données sur sa flore native à propriétés anti-insectes et répulsives, les seules données du Burundi disponibles sont des études qui se sont limités aux enquêtes ethnobotaniques.

Selon la littérature, la bioactivité et la concentration des huiles essentielles contre les insectes varient selon l'espèce végétal considérée mais également selon la saison, le climat, le type de sol, l'âge des drogues, la fertilité du sol et les méthodes utilisées pour l'extraction. Les résultats de ce travail devraient donc contribuer à apporter un éclaircissement sur la présence ou l'absence des huiles essentielles au niveau des feuilles d'*Eucalyptus globulus* et de *Cupressus lusitanica* de colline KIBOGOYE (commune MURAMVYA) et en cas de présence de ces huiles essentielles, nos résultats devraient contribuer à éclairer sur l'activité biologique de ces dernières contre la mouche domestique (*Musca domestica*). Les investisseurs devraient également partir de nos résultats pour proposer à la communauté utilisatrice, des produits pouvant efficacement éloigner ou tuer les mouches vectrices de maladies mais également respectueux de l'environnement.

INTRODUCTION GENERALE

En Afrique subsaharienne, les maladies transmissibles telles que le paludisme, la tuberculose et le VIH sont depuis longtemps parmi les principaux contributeurs à la charge de morbidité malgré une augmentation de la prévalence des maladies non transmissibles (MNT) liée à la transition démographique (Hunter-Adams et al. 2017). Parmi les maladies transmissibles, les maladies à transmission vectorielle sont responsables de plus de 17% des maladies infectieuses dans le monde, et provoquent plus d'un million de décès chaque année.

De nombreuses maladies à transmission vectorielle sont évitables, grâce à l'application de mesures de protection et à la mobilisation communautaire (Anon 2020).

Le fardeau le plus important de ces maladies à transmission vectorielle revient à l'Afrique. Cela est dû essentiellement au fait qu'à cause de la chaleur, cette partie du monde est réputée abriter le plus grand nombre d'organismes d'eau douce impliqués dans la transmission de ces maladies mais aussi au changement climatique qui favorise l'augmentation et l'abondance des espèces dulcicoles (Okoro et al. 2023).

En plus de la vulnérabilité climatique de l'Afrique, l'accès aux soins de santé est toujours problématique. En effet, les pays d'Afrique ont des revenus faibles et l'industrie pharmaceutique locale y est presque absente. La dépendance de l'étranger vis-à-vis des médicaments fait que les chaînes d'approvisionnements soient victimes des contre façons et des falsifications des médicaments, ce qui aggrave encore la prise en charge des pathologies (Al-Worafi 2020; Karungamye 2023). Ainsi, l'énorme problème de santé publique posé par les maladies infectieuses émergentes, la résistance aux antibiotiques et aux insecticides chimiques et l'accès limité aux médicaments en Afrique, etc., fait qu'exploiter les plantes médicinales offertes par la mère nature soit la voie alternative pour nous aider à relever ces défis de manière durable (Guo et al. 2022). En effet, environ 53 000 espèces d'herbes sont exploitées dans le traitement des maladies humaines de la préhistoire à nos jours et entre 70% à 80% de la population mondiale répond à ses besoins en soins de santé primaires en utilisant différentes herbes seules ou en combinaison avec d'autres produits à des fins médicinales (Qadir et Raja 2021). L'Afrique étant dotée d'une riche et forte endémicité de la diversité biologique des plantes, la lutte contre les maladies par l'utilisation de ces dernières devient plus accessible, abordable et facile à utiliser (Alsarayreh et al. 2022; Fennell et al. 2004; Moshi et Mhame 2013).

Cependant, le Burundi ne dispose pas d'une base de données sur sa flore native à propriétés anti-insectes et répulsives d'autant plus que la bioactivité et la concentration des huiles essentielles varient selon l'espèce végétal mais également selon la saison, le climat, le type de sol, l'âge des drogues, la fertilité du sol et les méthodes utilisées pour l'extraction (Bett et al. 2016a). Les seules données du Burundi disponibles sont des études qui se sont limités aux enquêtes ethnobotaniques (Havyarimana et al. 2023).

De tout ce qui précède, nous trouvons intéressante, une étude portant sur l'extraction et l'évaluation de l'activité biologique des huiles essentielles des espèces végétales de la flore Burundaise contre la mouche domestique (*Musca domestica*).

Hypothèses

Dans la présente étude, trois hypothèses ont été formulées à savoir:

1. L'*Eucalyptus globulus L*. (umukaratusi) et le *Cupressus lusitanica* (isederi) de la flore burundaise contiennentnt des huiles essentielles ;
2. L'huile essentielle extraite d' *Eucalyptus globulus L. a une* activité insecticide et une activité insectifuge contre la mouche domestique ;
3. L'huile essentielle extraite de *Cupressus lusitanica* a une activité insecticide et une activité insectifuge contre la mouche domestique .

Objectif général

L'objectif général du présent travail est d'évaluer l'activité insecticide et insectifuge des huiles essentielles extraites de l'*Eucalyptus globulus L*. (umukaratusi) et du *Cupressus lusitanica* (isederi) de la flore burundaise.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques du travail sont les suivants :

1. Extraire et déterminer la teneur en Huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus L*. et du *Cupressus lusitanica* de la flore Burundaise
2. Évaluer l'activité insectifuge de l'huile essentielle de l' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica* contre les mouches domestiques ;
3. Évaluer l'activité insecticide de l'huile essentielle de l' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica* contre les mouches domestiques.

Alors que les différents travaux d'enquêtes ethnobotaniques réalisés dans différentes régions du Burundi pour inventorier les plantes utilisées dans la lutte contre les maladies véhiculées par les insectes et/ou les plantes utilisées dans la lutte contre les insectes eux-mêmes nous ont guidés pour le choix des plantes, le choix de la mouche domestique comme insecte d'étude, quant à elle, a été motivé par plusieurs raisons. En effet, cet insecte est impliqué dans la transmission de plusieurs maladies à transmission vectorielle qui s'observent jusqu'alors dans notre pays avec des poussées épidémiques. De plus, en raison de l'importance mondiale des maladies biologiquement transmissibles telles que le paludisme et la fièvre jaune, les insectes vecteurs d'agents pathogènes à transmission biologique ont généralement attiré plus d'attention de la part des chercheurs au détriment de ceux à transmission mécanique dont fait partie la mouche domestique (Foil et Gorham 2000), alors qu' il existe de nombreuses preuves que les arthropodes jouent un rôle important en tant que vecteurs mécaniques d'agents pathogènes causant d'importantes maladies chez les humains et les animaux domestiques (Gerry 2020; Neupane, Nayduch, et Zurek 2019).

CHAPITRE I. GENERALITES

I.1. Maladies à transmission vectorielle

Les maladies à transmission vectorielle sont des maladies dont les agents causaux sont disséminés par les insectes arthropodes (dits vecteurs) piqueurs ou suceurs qui se nourrissent du sang tels que les moustiques, les mouches et les punaises triatomes,…etc (Puyhardy et Bourre-Puyhardy 2017). Une fois qu'ils se nourrissent du sang d'une personne contaminée, ces insectes peuvent transmettre ces agents à une nouvelle victime à l'occasion de la nouvelle prise de repas.

Cependant, bien que les arthropodes piqueurs ou suceurs soient les plus cités comme faisant partie des vecteurs de maladies, deux modes de dissémination sont à distinguer :

Lorsque le développement de l'agent pathogène au sein du vecteur est essentiel à la réussite de la transmission, on parle de transmission biologique. La transmission mécanique quant à elle, désigne le transfert d'agents pathogènes d'un hôte infecté ou d'un substrat contaminé à un hôte sensible, lorsqu'une association biologique entre l'agent pathogène et le vecteur n'est pas nécessaire. Autrement dit, le vecteur mécanique fonctionne simplement comme porteur de l'agent pathogène et n'implique pas les stades de développement de ce dernier et dans ce cas, les arthropodes tant piqueurs (hématophages) que non piqueurs sont incriminés (Foil et Gorham 2000; Thomas et Jespersen 1994)

Selon l'OMS, les maladies à transmission vectorielle dont la liste est reprise dans le tableau 1, sont responsables de plus de 17% des maladies infectieuses, et provoquent 700 000 cas de décès chaque année et le fardeau de ces maladies est le plus élevé dans les zones tropicales et subtropicales. Elles touchent de manière disproportionnée les populations les plus pauvres (Anon 2020).

***Tableau 1**: Maladies à transmission vectorielle*

Vecteur		**Maladie Causé**	**Type d'agent pathogène**
Moustique	*Aedes*	Chikungunya	Virus
		Dengue	Virus
		Filariose lymphatique	Parasite
		Fièvre de la vallée du Rift	Virus
		Fièvre jaune	Virus
		Zika	Virus
	Anophèle	Filariose lymphatique	Parasite
		Paludisme	Parasite
	Culex	Encéphalite japonaise	Virus
		Filariose lymphatique	Parasite
		Fièvre du Nil occidental	Virus
Escargots aquatiques		Schistosomiase (bilharziose)	Parasite
Mouches noires		Onchocercose (cécité des rivières)	Parasite
Puces		Peste (transmise du rat à l'homme)	Bactéries
		Tungiase	Ectoparasite
Poux		Typhus	Bactéries
		Fièvre récurrente transmise par le pou	Bactéries
Phlébotomes		Leishmaniose	Parasite
		Sandfly fever (phlébotome)	Virus
Tiques		Fièvre hémorragique de Crimée-Congo	Virus
		Maladie de Lyme	Bactéries
		Fièvre récurrente (borréliose)	Bactéries
		Rickettsies (ex. : fièvre pourprée et fièvre Q)	Bactéries
		Encéphalite à tiques	Virus
		Tularémie	Bactéries
Bugs de triatomes		Maladie de Chagas (trypanosomiase américaine)	Parasite
Mouches tsé-tsé		Maladie du sommeil (trypanosomiase africaine)	Parasite

Source : Climate change and vectorborne diseases (Thomson et Stanberry 2022)

A ces vecteurs ci haut cités, s'ajoutent également les blattes (cafards) qui sont des vecteurs importants des maladies sous diverses manières. En effet, les glandes salivaires de la blatte sont des réservoirs des microorganismes non pathogènes et pathogènes (Klebsiella, Pseudomonas, E-coli, Proteus, Salmonella, Staphylococcus,…etc), et leurs secrétions

peuvent contaminer l'alimentation humaine et animale (contamination biologique) (Falsone et al. 2017; Kassiri et Kazemi 2014; Phayakkaphon et al. 2021).

Au cours des déplacements des cafards, les micro-organismes, les parasites et leurs œufs peuvent également se fixer sur ces insectes (aux pattes, aux ailes du cafard, …) et être transférés aux aliments humains ou animaux lorsque l'insecte se nourrit, ce qui entraîne la propagation de maladies infectieuses (contamination mécanique).

Enfin, l'exosquelette, le corps entier, les sécrétions, les excréments et les particules de poussière des blattes mortes sont tous des sources d'allergènes à l'Homme (Cabrera et al. 2021; Phayakkaphon et al. 2021; Srisuwatchari et al. 2020). Un autre insecte à ne pas négliger sur le plan sanitaire est la punaise de lit. Jusqu'à l'heure actuelle, il n'y a aucune preuve que les punaises de lit transmettent des agents pathogènes transmissibles chez les humains. Cela serait dû au fait que les punaises de lit contiendraient dans leurs salives, des « facteurs neutralisants » qui atténueraient la virulence des agents pathogènes et, par conséquent, diminueraient leur capacité à transmettre des maladies infectieuses (Lai et al. 2016).

Cependant, la présence des punaises de lit dans un habitat cause énormément de problème. En effet, en plus de la stigmatisation majeure placée sur les personnes ou les institutions qui les portent, les piqûres des punaises sont douloureuses et causent des troubles de sommeil (Munoz-Price et al. 2012; Susser et al. 2012). De plus, des réactions cutanées et systémiques aux piqûres apparaissent sur la peau sous forme de lésions prurigineuses, érythémateuses et maculopapuleuses inconfortables (Goddard et deShazo 2009; Mathison et Pritt 2021).

D'autres données à ne pas négliger sont le lien entre l'infestation des punaises, l'anémie et les troubles de la santé mentale évoquées par quelques études (Doggett et al. 2012; Munoz-Price et al. 2012; Sheele et al. 2021; Susser et al. 2012) mais qui nécessitent encore d'autres études scientifiques plus approfondies pour confirmer un lien de cause à effet.

I.2. La mouche domestique comme vecteur de maladies

I.2.1. Description

Avec une représentation d'environ 90 % de toutes les mouches vivant avec l'homme dans le monde, la mouche domestique, dont une photo est montrée à la figure 1, est l'espèce de mouche la plus fréquente et la plus répandue dans le monde (Hassan et al. 2021).

Le corps de la mouche domestique se distingue en tête, thorax et abdomen. La tête est de forme hémisphérique et porte deux yeux composés latéraux. Trois yeux simples (ocelles) sont également présents sur la face dorsale de la tête. Deux petites antennes mobiles sont présentes dans la région de la tête. Ses pièces buccales sont de type épongeur pour absorber la nourriture liquide comme une éponge, et peut également se nourrir d'aliments solides après les avoir transformés en liquide en crachant ou en vomissant dessus pour se dissoudre par les sécrétions des glandes salivaires (Issa 2019)

Le thorax est formé de trois segments: le prothorax, le mésothorax et le métathorax. Chaque segment thoracique porte une paire de pattes latérales. Le mésothorax porte une paire d'ailes membraneuses et le prothorax porte une paire de spiracles pour la respiration, près des ailes. Son dos contient quatre lignes noires longitudinales (Geden et al. 2021).



Figure 1*:* Mouche domestique *(Musca domestica)* (Source : Geden et al. 2021)

I.2.2. Classification

La mouche domestique se classe comme suit (Anon s. d.):

Règne : Animal (Animalia)

Embranchement : Arthropodes (Arthropoda)

Classe : Insectes (insecta)

Ordre : Diptères (Diptera)

Famille : Muscidae

Genre : Musca

Espèce : *Musca domestica L*.

I.2.3. Habitat et cycle de vie

Originaire des savanes d'Asie centrale, la mouche domestique s'est répandue dans le monde entier, et peut être trouvée dans les zones rurales et urbaines des climats tropicaux et tempérés.

Les mouches domestiques vivent toujours en association avec les hommes et c'est la raison pour laquelle elles sont réparties dans le monde entier. La préférence, l'habitude et le besoin de cette mouche pour se nourrir et pondre sur la matière organique en décomposition mettent cette espèce en contact avec les excréments, les carcasses d'animaux morts et les ordures d'une part, et d'autre part, les humains, leur nourriture et leurs ustensiles. Ces derniers sont les milieux privilégiés pour la ponte des œufs et elles sont souvent appelées pour cette raison « mouches sales » ou « mouches de la saleté ». Adaptée à la vie dans les habitations humaines, *Musca domestica* est qualifiée d'eusynanthropique (vit en étroite association avec les humains) et d'endophile (elle est capable d'accomplir l'intégralité de son cycle de vie dans les habitations des humains et des animaux domestiques) (Khamesipour et al. 2018; Thomas et Jespersen 1994).

Une mouche domestique adulte fécondée pond les œufs en une seule masse ou par lot de 75 à 150 œufs pendant 5 à 10 fois. Le développement d'une mouche domestique comprend quatre stades à savoir un œuf, une larve ou un asticot, une nymphe ou pupe et un stade adulte et le cycle complet prend en moyenne de 7 à 10 jours. La figure 2 en résume schématique le cycle de vie. Cette durée est variable en fonction des conditions climatiques, la température entre 15°C et 40°C étant un élément majeur favorisant le raccourcissement de la durée du cycle tandis que les températures extrêmes ainsi que les précipitations sont des facteurs défavorables. La durée moyenne de vie d'une mouche domestique adulte varie de 15 à 30 jours et le nombre de générations par an varie de trente (dans des conditions tropicales) à dix ou moins (dans les zones tempérées) (Dahlem 2009; Hassan et al. 2021; Thomas et Jespersen 1994)

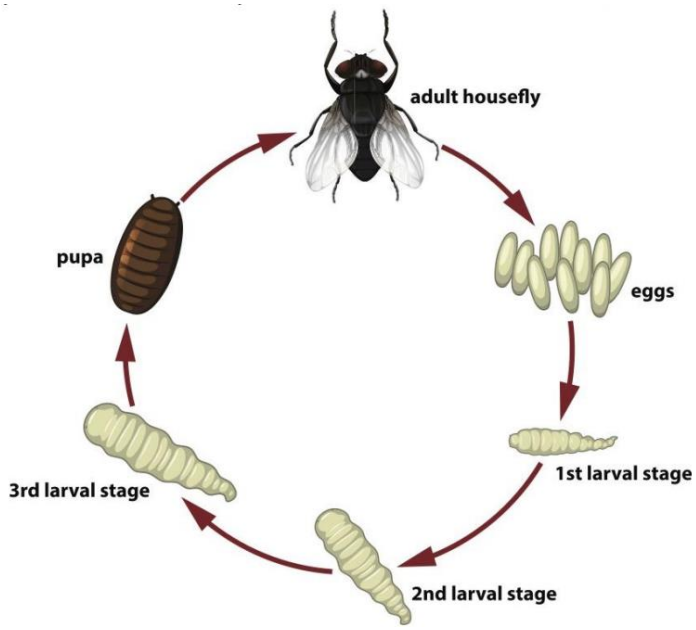


Figure 2: Cycle de vie de la mouche domestique (Source : Dahlem 2009)

I.2.4. Importance médicale

La mouche domestique, du fait de sa capacité à transmettre de nombreuses maladies à l'homme, est considérée comme un insecte d'un grand intérêt médical. En effet, leur capacité à voler sur de longues distances et leur attirance pour les matières organiques en décomposition qui sont des substrats riches en micro-organismes font qu'elles hébergent des micro-organismes pathogènes aux stades de vie immatures et matures, ce qui en font une source importante de diversité microbienne et des transporteurs idéaux d'organismes pathogènes (Hassan et al. 2021). Le risque d'exposition humaine à ces divers agents pathogènes portés par les mouches domestiques est amplifié par leurs préférences diversifiées en matière d'habitat autour des humains et des animaux (Monyama et al. 2022; Otu-Bassey, Efretuei, et Mbah 2022).

Ainsi, bien que non vectrices de maladies au sens propre du terme (ne sont pas hématophages), elles transportent de façon passive des germes sur leurs pattes, les ailes ou la fourrure, en allant des milieux contaminés (détritus, excréments, saletés) aux récipients de cuisine, aux aliments et aux boissons destinés à l'homme ou à l'animal (Bourée et Resende 2001; Mehlhorn 2016; Park et al. 2019) représentant ainsi un risque important pour la santé publique.

En plus de la transmission des agents pathogènes sur son corps, la mouche domestique peut également transmettre ces derniers par les gouttes de vomissures et par défécation.

En effet, plusieurs études dont celle de Monica Pava-Ripoll (Pava-Ripoll et al. 2012) ont montré que la quantité d'agents pathogènes présents dans l'intestin ou les vomissures de la mouche domestique est plus élevée que la quantité présente à la surface du corps. Ainsi, par son habitude de vomissements répétés lors de l'alimentation et de défécation, les excréments et les vomissures de cette dernière peuvent également constituer une voie de transmission majeure des agents pathogènes (Issa 2019).

Selon Maropeng Monyama et al. (2022), plusieurs espèces d'agents pathogènes, principalement des bactéries parfois potentiellement mortelles, mais également des champignons et des virus peuvent être transmis par la mouche domestique. Les caractéristiques des agents pathogènes véhiculés par les mouches domestiques dépendent de la zone où se trouve l'insecte. Ainsi, bien que les mouches domestiques soient des insectes le plus souvent incriminés dans la transmission des maladies à péril fécal (ou maladies des mains sales) chez l'homme et des maladies du bétail ou de la volaille dans les endroits à hygiène précaire (Kavi et al 2014; Khan et Akram 2017), des germes pathogènes résistants ou multirésistants aux antimicrobiens peuvent également être transmis par des mouches se trouvant dans les endroits spéciaux comme l'environnement hospitalier ou dans les fermes d'élevage où les antimicrobiens sont utilisés comme facteurs de croissance (Bertelloni et al. 2023; Farag et al. 2013; Monyama et al. 2022) et le risque que les mouches domestiques disséminent les souches bactériennes résistantes aux antibiotiques des milieux hospitaliers, des fermes d'élevages et d'élevage avicoles aux résidents publics est actuellement très préoccupant (Monyama et al. 2022)

I.2.5. Maladies transmises par la mouche domestique

La mouche domestique est un vecteur mécanique d'un large éventail d'agents pathogènes qui peuvent provoquer des infections graves chez les humains et les animaux. Selon une revue bibliographique de Faham Khamesipour et al. (2018). Plus de 130 agents pathogènes, principalement des bactéries (dont certaines espèces graves et potentiellement mortelles) mais aussi des champignons, des virus et des parasites ont été identifiés comme pouvant être transmises par les mouches domestiques. La liste des principaux agents pathogènes véhiculés par la mouche domestique est fournie dans le tableau 2.

Chez l'homme, les maladies diarrhéiques ; le plus souvent évoluant sous forme d'épidémies font partie des maladies les plus courantes transmises par ces insectes. Pour ces maladies ci-haut citées, on trouve comme agents pathogènes causaux, le Salmonella, la Shigella, le Campylobacter, l'Escherichia, l'Enterococcus, le Chlamydia et de nombreuses autres espèces pathogènes (Issa 2019). Les mouches domestiques sont également impliquées dans la transmission aussi bien chez les hommes que chez les animaux, des agents d'intoxications alimentaires, du virus Orf, de l'anthrax, de la dysenterie, de la grippe intestinale, de fièvre typhoïde, de l'ascaridiose et de la tuberculose (Olagunju 2022).

***Tableau 2**: Principaux agents pathogènes véhiculés par la mouche domestique*

Type d'agent pathogène	**Principaux genres incriminés**	**Cibles**
Bactérie	Hlycobacter	Les hommes
	Campylobacter	Les hommes et les animaux
	Salmonella	Les hommes
	Escherichia	Les hommes
	Bacillus	Les hommes et les animaux
	Staphylocoques	Les hommes et les animaux
	Enterococcus	Médicale et les animaux
	aeromonas	Les hommes
	Shigella	Les hommes
	Klebsiella	Les hommes
	Pseudomonas	Les hommes
	proteus	Les hommes
	Listeria	Les hommes
	Staphylococcus	Les hommes
	enterobacter	Les hommes
	Vibio	Les hommes
	Clostridium	Les hommes
	corynebacterium	Les hommes
	Lactobacillus	Les hommes
	Yersinia	Les hommes
Champignon	Penicillinum	Les hommes
	Aspergillu	Les hommes

Type d'agent pathogène	Principaux genres incriminés	Cibles
	Candida	Les hommes
	Microsporum	Les hommes
	Chrysosporium	Les hommes
Virus	picornavirus	Les hommes et les animaux
	filoviridae	Les hommes
	Arteriviridae	Les animaux
	Orthomyxoviridae	Les animaux
	Hytrosaviridae	Les animaux
	paramyxoviridae	Les animaux
Parasites	Ascaris	Les hommes et les animaux
	Entamoeba	Les hommes
	Trichuris	Les hommes
	Strongyloides	Les hommes
	crytosporidium	Les hommes et les animaux
	Giardia	Les hommes
	enterobius	Les hommes
	Taenia	Les hommes

Source : A systematic review of human pathogens carried by the housefly (Musca domestica L.) (Khamesipour et al. 2018)

En plus des agents pathogènes virales ci-haut cités, une étude récente a montré que les mouches domestiques sont également capables de transmettre mécaniquement l'ARN génomique du SRAS-CoV-2 à l'environnement jusqu'à 24 h après l'exposition (Balaraman et al. 2021).

I.2.6. Moyens de luttes contre les mouches domestiques

En 1991, Cohen et ses collègues ont rapporté dans leur étude qu'après une réduction de 64% de la densité de mouches domestiques dans deux bases militaires en Israël, les visites à la clinique pour les maladies diarrhéiques chez les soldats israéliens ont diminué de 42% dans l'ensemble et de 85% spécifiquement pour les diarrhées liées à la shigellose (Cohen et al. 1991).

De même, d'une série d'études conduites par l'OMS, il a été démontré que la réduction médiane de la fréquence de la diarrhée après la lutte contre les mouches était de 40 % et cela

représente la réduction la plus importante réalisée pour tous les types de méthodes d'intervention contre les maladies diarrhéiques (y compris l'amélioration de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement) (Chavasse, Blumenthal, et Kolsky 1994).

Cela montre que bien qu'il n'y a pas d'études récentes avec une méthodologie rigoureuse réalisées pour confirmer ces résultats, le grand rôle des mouches domestiques dans la transmission des maladies et l'efficacité de la lutte contre les maladies à travers l'élimination de cet insecte sont palpables.

En matière de lutte contre la mouche domestique, il existe actuellement trois principales techniques: la lutte culturelle ou assainissement, la lutte biologique et la lutte chimique.

I.2.6.1. Lutte culturelle ou assainissement

Le contrôle culturel des mouches domestiques implique la manipulation de l'environnement de façon à empêcher les mouches d'accéder aux ressources qui leur sont vitales. La stratégie culturelle la plus efficace consiste à éliminer correctement les déchets ou tout autre débris organique qui peut servir de terrain fertile pour les œufs de mouches domestiques (poubelles, …).

En effet, la mouche domestique est considérée comme une mouche de la saleté parce que ses stades immatures se développent dans les excréments, les carcasses d'animaux morts, les ordures en décomposition et des sites similaires. Ainsi, l'élimination des saletés est la pierre angulaire de tout programme de lutte contre les mouches

Avec la méthode culturelle, les calendriers d'enlèvement d'ordures sont particulièrement critiques car dans des conditions chaudes, les larves matures commencent à chercher des sites de nymphose 4 à 6 jours après la ponte, et se nymphosent toujours dans des zones qui ne sont pas nettoyées, protégées et sèches. Au vu de ce cycle de développement, le nettoyage des endroits souvent sales doit se faire au moins deux fois par semaine dans les périodes sèches pour que la méthode soit efficace. La méthode culturelle à elle seule semble ne pas suffire car malgré l'enlèvement régulier des ordures contenant les larves, ces dernières continuent à se développer dans l'endroit où les ordures ont été mises, à moins qu'on fasse suivre cette méthode, d'un compostage ou toute autre méthode qui peut rendre le milieu impropre au développement larvaire de mouches. Cependant, elle pourrait tout de même

aider au moins à éloigner des mouches habitations des humains et des animaux (Geden et al. 2021; Hinkle et Hogsette 2021).

I.2.6.2. Lutte biologique

La lutte biologique consiste en l'utilisation des ennemis naturels qui traquent et tuent les mouches domestiques, en particulier les stades immatures.

En effet, plusieurs espèces appartenant à des groupes différents peuvent être classées dans la catégorie des ennemis naturels des mouches domestiques et par conséquent, peuvent être mis à profit dans la lutte biologique contre les mouches domestiques.

Parmi les ennemis susmentionnés, les plus importants sont en premier lieu les champignons entomopathogènes à l'exemple de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*,…, etc (Geden et al. 2021; Inci, Kilic, et Canhilal 2014) et certaines bactéries entomogéniques (*Bacillus thuringiensis*) (Hinkle et Hogsette 2021) qui pénètrent dans l'hôte et ou libèrent diverses toxines pour les mouches avec possibilité de sporulation après sa mort

Les nématodes de la famille des Steinernematidae (Steinernema spp.) et Heterorhabditidae (Heterorhabditis spp.) peuvent également jouer un rôle indirect dans le biocontrôle des mouches domestiques car ils portent dans leurs intestins des bactéries du genre xenorhabdus et photorhabdus capables de tuer l'hôte peu de temps (Geden et al. 2021; Olagunju 2022).

Certaines familles d'acariens (les Macrochelidae, les Uropodidae et les Parasitidae), d'autres espèces de mouches (la mouche noire ou *Hydrotea aenescens*) ainsi que de nombreux coléoptères sont connus pour être les redoutables prédateurs de mouches domestiques car ils se nourrissent d'œufs ou de larves de mouches et sont naturellement présent dans des endroits où les mouches se retrouvent le plus souvent en particulier dans les ordures et les poulaillers, représentant ainsi un agent biologique pouvant être mis à profit dans la lutte contre les mouches domestiques.

Les parasitoïdes nymphaux des mouches domestiques (ou alors les Hymenoptères ou guêpes à l'exemple de *Muscidifurax raptor* de la famille des pteromalidae) comme le montre la photo de la figure 3, sont également présents dans tous les endroits où on peut trouver des mouches. Pour leur reproduction, la femelle parasitoïde localise une pupe de mouche, le perce et y dépose un ou plusieurs œufs et la larve parasitoïde qui en résulte consomme la pupe de mouche pour émerger à l'état adulte puis poursuit le processus en recherchant d'autres hôtes (Geden et al. 2021).

Enfin, le virus MdSGHV (*Musca domestica* salivary gland hypertrophy virus) infecte la mouche et cause la réduction de leur durée de vie, du taux de réussite des accouplements et de l'inhibition de la transcription des protéines vitellines et de la production d'hexamérine (supprime le développement des gonades) (Issa 2019; Lietze et al. 2013). Cela fait de ce virus un candidat potentiel en tant qu'agent de lutte biologique ciblant le stade adulte des mouches.

Les agents de lutte biologiques ci-haut cités sont disponibles dans le commerce de certains pays pour leur utilisation contre les mouches dans des endroits précis, en particulier les animaleries et, de tous les agents biologiques de lutte contre les mouches domestiques cités, les parasitoïdes nymphaux de la famille des Pteromalidae (guêpes) sont les plus utilisés comme agent de lutte biologique le plus approprié pendant des décennies (Geden et al. 2021).

La plupart de ces organismes de lutte biologique ne sont efficaces que contre les stades immatures, ce qui signifie que le contrôle doit avoir lieu dans l'habitat larvaire avant l'émergence des mouches domestiques adultes et c'est pour cela que pour de meilleurs résultats, la lutte biologique est utilisée lorsqu'il y a une source constante de développement de la mouche. Cette méthode présente peu d'intérêt car elle ne peut pas éradiquer des populations entières de mouches domestiques. En effet, le cycle de développement de ces ennemis biologiques est lent par rapport au cycle de développement des mouches domestiques. De même, la fécondité des mouches femelles est élevée et cela fait que les niveaux de nuisance des mouches sont atteints bien avant que leurs ennemis naturels ne culminent en nombre et en activité. Ainsi, la solution idéale serait d'utiliser la lutte biologique en association avec d'autres stratégies pour réduire la population des mouches domestiques.



Figure 3: Parasitage de la pulpe de mouche domestique par *Muscidifurax raptor* (Source : Dahlem 2009)

I.2.6.3. Lutte chimique

Il existe actuellement une large gamme de produits chimiques pouvant être utilisés dans la lutte contre la mouche domestique. Les plus importants sont le chlorpyrifos, cyfluthrine, cyhalothrine, cyperméthrine, dichlorvos, diflubenzuron, fenvalérate, l'imidaclopride, le méthomyl, le naled, la perméthrine. Cependant, leur faible biodégradabilité, leur effet toxique persistant, leur diffusion dans la nature (migration dans le sol et les nappes phréatiques) et le développement des résistances des mouches à ces produits posent d'importants problèmes.

En effet, ces pesticides sont responsables d'atteinte à des espèces vivantes qui ne sont pas le plus souvent ciblées comme les prédateurs d'insectes (oiseaux, souris, taupes, mulots, chauve-souris), les agents fertilisants des sols (vers de terre), les abeilles et les papillons (le

syndrome d'effondrement des colonies d'abeilles). De plus, les mouches domestiques sont considérées comme l'une des espèces chez lesquelles la résistance évolue rapidement par échange d'allèles de résistance et cela se manifeste même pour les pyréthrinoïdes (p. ex., la perméthrine, la β-cyfluthrine, la λ-cyhalothrine) et les néonicotinoïdes (imidaclopride, dinotéfurane et nithiazine) qui étaient jusqu'alors le plus souvent utilisées comme répulsifs ou insecticides dans les locaux pour non seulement leur efficacités élevées mais également pour leur faible persistance dans l'environnement et leur faible toxicité vis à vis de nombreux organismes non ciblés (Freeman et al. 2019; Scott et al. 2013).

Ainsi, tout cela rend moins efficace l'utilisation des insecticides contre les mouches domestiques, causent d'énormes inquiétudes dans ces installations où les mouches causent d'énormes dégâts (fermes d'élevage par exemple) et poussent les producteurs et les chercheurs à se démener pour trouver des solutions de rechange (Freeman, Ross, et Scott 2019; Geden et al. 2021; Scott et al. 2013).

I.2.6.4. Les Huiles essentielles comme alternative aux insecticides de synthèse

En 2012, on estimait que 80% de la population mondiale dépendait de la phytothérapie pour les soins de santé primaires en complément à la médecine moderne (Muthaura et al. 2011) et la tendance d'utiliser les plantes médicinales augmente tant dans les pays en développement que dans les pays développés (Ahmad Khan et Ahmad 2019:1; Muthaura et al. 2011).

Actuellement, ce taux est estimé à environ 95% de la population dans les pays en développement plus particulièrement en Afrique, où l'exploitation des plantes à des fins médicales fait partie de la diversité culturelle et traditionnelle de cette région du monde mais également par l'accessibilité et l'abordabilité des espèces d'intérêt médicale par rapport à la médecine moderne (Ahmad Khan et Ahmad 2019:1; Fennell et al. 2004).

Au vu de cette tendance, l'OMS encourage actuellement et aide ses États membres à intégrer la médecine traditionnelle dans les systèmes de santé nationaux et en 2018, 170 états avaient reconnu leur utilisation de la médecine traditionnelle et complémentaire (WHO 2019).

L'utilisation des plantes médicinales contre les maladies n'a pas laissé derrière l'aspect de lutte contre les vecteurs de ces maladies car avec la résistance des insectes en particulier de la mouche aux insecticides classiques, des chercheurs se sont tournés sur les propriétés insecticides des extraits de plantes et des huiles essentielles et ces dernières ont fait l'objet

d'évaluations pour fournir des substances répondant au besoin d'alternatives peu coûteuses, faciles à trouver, biodégradables ou respectueuses de l'environnement par rapport aux pesticides classiques (Ahmadi et al. 2022; Levchenko et al. 2021). L'application des huiles essentielles contre les ravageurs d'importance médicale et vétérinaire a suscité un vif intérêt, notamment les moustiques, les tiques , les poux, les punaises de lit, les mouches et d'autres insectes et les résultats sont prometteurs car plusieurs études ont démontré l'effet répulsif et insecticides des huiles essentielles contre les mouches domestiques (Khater et Geden 2019)

Ainsi donc, l'utilisation des plantes médicinales dans la lutte contre les maladies transmises par les mouches domestiques revêt une importance capitale dans la mesure où la lutte contre ces vecteurs avec les produits synthétiques est maintenant menacée par les taux alarmants de résistance aux insecticides habituels (Jenkins et al. 2022; Messina et al. 2019; Shaw et Catteruccia 2019).

Cependant, peu de données sur les plantes à huiles essentielles de la flore Burundaise avec des propriétés insectifuges et insecticides existent, et seuls des études qui se sont limitées aux enquêtes ethnobotaniques sont disponibles (Havyarimana et al. 2023). Cela nous a donc poussé à y apporter notre contribution en extrayant les huiles essentielles de *l'Eucalyptus globulus L.* et du *Cupressus lusitanica* du Burundi et en évaluant les activités insecticide et insectifuge de ces dernières sur les mouches domestiques *Musca domestica*.

L'*Eucalyptus globulus* est une plante ligneuse de la famille des myrtacées avec une écorce principalement lisse, des feuilles juvéniles blanchâtres et cireuses sur la face inférieure. Il a des boutons floraux disposés individuellement ou en groupes de trois à sept à l'aisselle des feuilles, des fleurs blanches et des fruits ligneux.

Le *Cupressus lusitanica*, quant à lui, appartient à la catégorie des plantes ligneuses du groupe des conifères. La plante appartient à la famille des Cupressacées. Ses feuilles sont en forme d'écailles et les cônes des graines sont globuleux à oblongs avec quatre à dix écailles, vertes au début, mûrissant de couleur brune ou gris-brun.

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODE

II.1. Matériel utilisé

Pour pouvoir atteindre bien nos objectifs, différent matériel a été utilisé :

II.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour notre étude a été récolté au mois de novembre 2023 sur la colline Kibogoye, Zone Bugarama de la commune Muramvya dont la localisation est montrée sur la carte de la Figure 4.

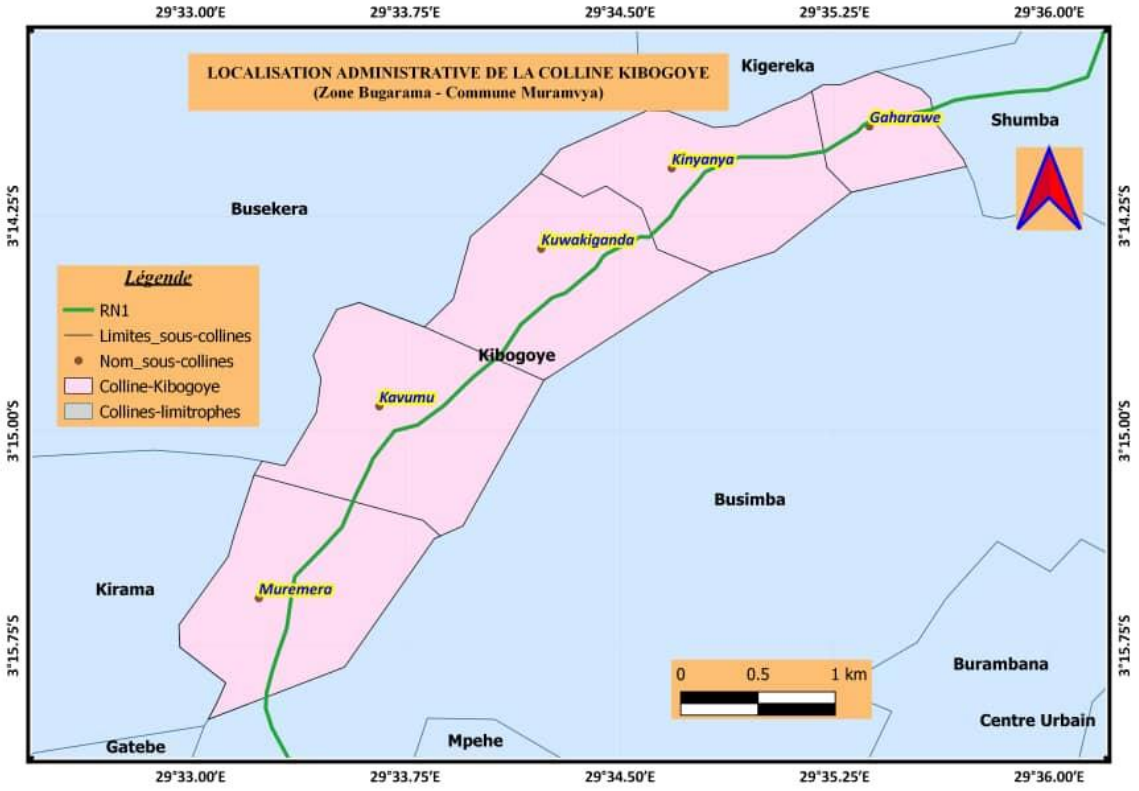


Figure 4 : Carte de la localisation du site d'échantillonnage des plantes

Il s'agit des parties aériennes (les feuilles) de l'eucalyptus *(Eucalyptus globulus)* et du cyprès (*Cupressus lusitanica)* comme montrées à la figure 5. La description des plantes citées se trouve à la page 18 du présent document. Les feuilles ont été récoltées entre 11h et 13h avant d'être transportées à Bujumbura dans des sacs destinés à cet effet. Elles ont par après été étalées au laboratoire en dehors des rayons solaires avant extraction de l'huile essentielle.



Figure 5: Photos **(5a$_1$)** des feuilles de *Cupressus lusitanica* récoltées, (**5a$_2$)** des feuilles d'*Eucalyptus globulus* récoltées, (**5b$_1$)** des feuilles de *Cupressus lusitanica* morcelées, et (**5b$_2$)** des feuilles d'*Eucalyptus globulus* morcelées.

II.1.2. Matériel du laboratoire

Le matériel du laboratoire utilisé pour notre étude était constitué essentiellement de la verrerie à savoir un ballon de 1000 ml, une colonne de vigreux, un réfrigérant, une ampoule à décanter de 500 ml et un erlenmeyer pour recueillir l'hydrolat. Un chauffe ballon adapté au ballon a également été utilisé pour permettre le chauffage de l'ensemble constitué par matériel végétal et l'eau nécessaire pour le montage d'hydrodistillation. Un réfrigérateur a été utilisé pour la conservation des huiles essentielles avant leur utilisation au laboratoire de chimie physique (Turek et Stintzing 2012).

Pour la capture des mouches, un seau en plastique a été utilisé. Enfin, des bacs en plastiques, des erlenmeyers de 100 ml et des boites de pétri ont été utilisés pour le montage expérimental des essais.

II.1.3. Matériel animal

L'insecte utilisé pour notre étude est la mouche domestique (*Musca domestica*) telle que décrite dans la partie littérature du présent mémoire (voir sous chapitre I.2.1).

Ces mouches ont été capturées dans un restaurant se trouvant au campus MUTANGA (aux environs du terrain de basketball), près de l'endroit où on jette les ordures et les restes de nourriture.

Pour pouvoir capturer les mouches, des petits poissons achetés au marché de NYAKABIGA près du campus MUTANGA ont été utilisé. La photo de ces poissons se trouvent à la figure 6 du présent document.

II.2. Méthodes

II.2.1. Extraction et conservation des HEs

L'extraction des huiles essentielles à partir des échantillons frais a été réalisée au laboratoire du chimie ex-CRUPHAMET par la méthode d'hydro distillation à l'état frais après avoir découpé les feuilles en petits morceaux comme déjà montré à la figure 5.

Cette méthode consiste en général à chauffer un mélange constitué par l'eau et la drogue végétal. La chaleur éclate par la suite les poches de la drogue contenant les HEs et ces dernières sont entrainées par les vapeurs d'eau chaude. La condensation de ces vapeurs donne deux phases liquides séparables par décantation, dont une correspond à l'eau et l'autre correspond aux HEs.

Pour un cycle d'extraction, 500 g des morceaux de feuilles découpées ont été introduits dans un ballon de 2 litres contenant environ 750 ml d'eau et mis à l'ébullition pendant 3 heures. Plusieurs cycles d'extraction ont été réalisés pour avoir la quantité d'huile suffisante pour la réalisation des essais. La figure 6a montre le montage d'hydrodistillation réalisé pour l'extraction des HEs.

Les fractions d'huiles essentielles obtenues ont été mis dans des flacons teintés de 60 ml dont les photos se trouvent à la figure 6b**,** et conservées dans un réfrigérateur (Turek et Stintzing 2012) au laboratoire de chimie physique.

Pour chaque HE, le rendement global d'extraction R a également été calculé selon la formule :

$$\mathrm{R\ (m/m)} = 100 * \frac{Masse\ de\ l'HE\ obtenue}{\text{Masse total de l'échantillon utilisé pour l'extraction}}$$

Ou

$$\mathrm{R\ (v/m)} = 100 * \frac{Volume\ de\ l'HE\ obtenue}{\text{Masse total de l'échantillon utilisé pour l'extraction}}$$

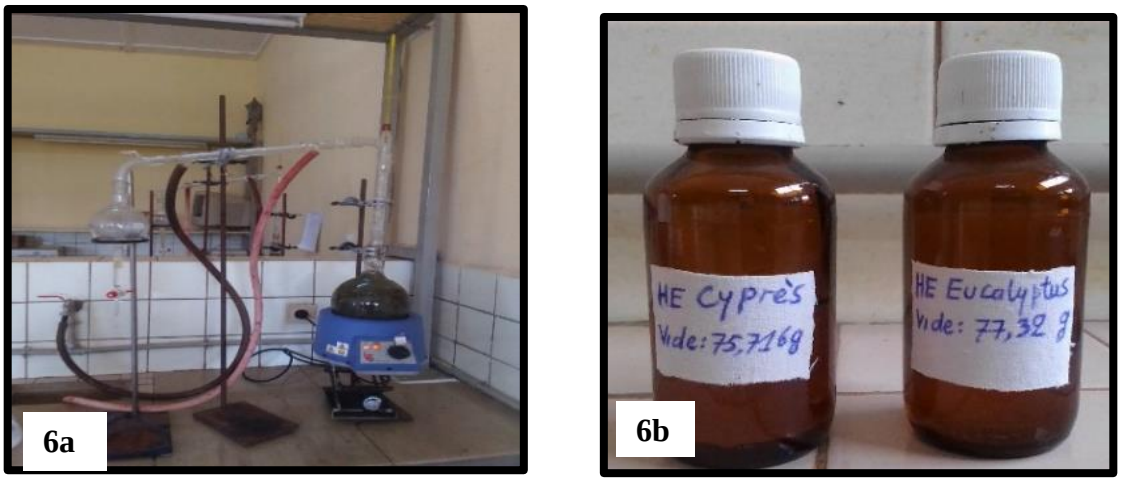


Figure 6: Photos (**6a)** du montage expérimental d'hydrodistillation et (**6b)** des flacons teintés avec huiles essentielles.

II.2.2. Capture des mouches domestiques

Les mouches domestiques (*Musca domestica L.*) qui ont servi d'essais ont été capturées dans un restaurant se trouvant au campus MUTANGA (aux environs du terrain de basketball) à l'aide d'un appât constitué par des petits poissons mis dans un bac en plastique transparent ayant des trous d'aération pour éviter l'asphyxie des mouches domestiques. Les petits poissons et le bac en plastique pour la capture des mouches sont montrés à la photo se trouvant sur la figure 7. Lorsque les mouches adultes se concentraient sur l'appât, le bac en plastique était fermé et transporté au laboratoire.

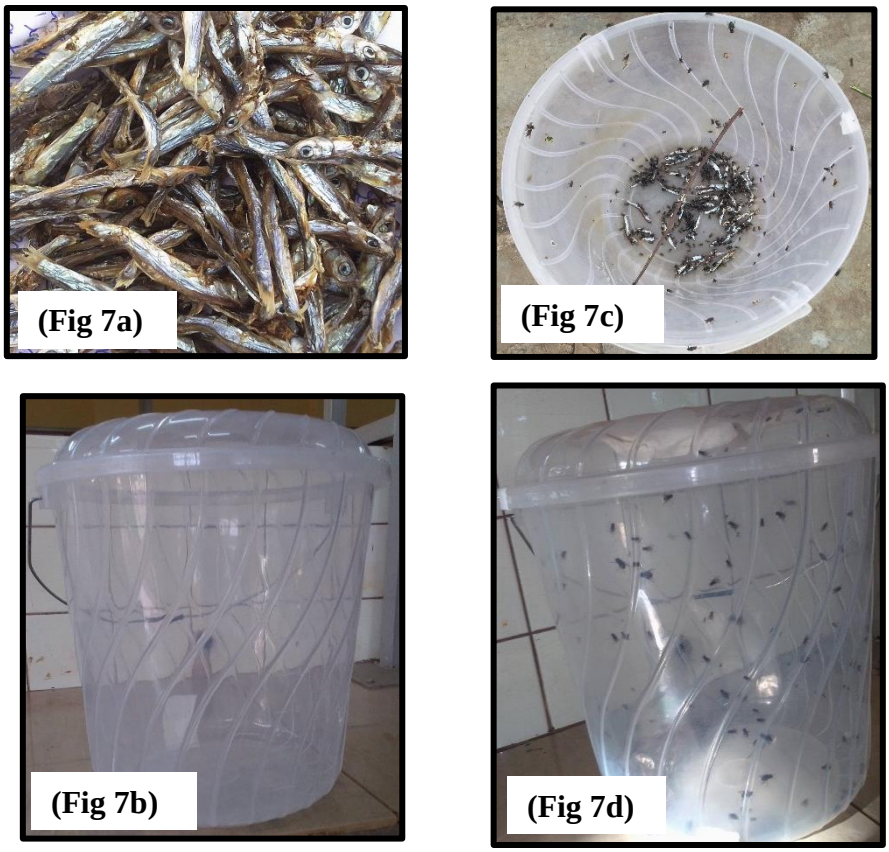


Figure 7: Photos (**Fig 7a)** des petits poissons utilisés comme appât, (**Fig 7b**) du bac de capture des mouches domestiques, (**Fig 7c**) des mouches domestiques se trouvant sur l'appât dans le bac de capture et (**Fig 7d)** du bac contenant les mouches domestiques capturées.

II.2.3. Test de l'effet des HEs sur les mouches domestiques

II.2.3.1. Etude de l'activité insectifuge des HEs contre les mouches

Le montage experimental utilisé pour évaluer l'effet insectifuge des HEs contre les mouches est montré à la figure 8. A cet effet, la méthode utilisée par Jyoti M. Chintalchere en 2020 (Chintalchere, Dar, et Pandit 2020) et reprise par Khan en 2021 (Khan 2021) a été utilisée pour le test d'activité insectifuge des HEs contre les mouches avec une légère modification. Six bacs en plastiques de taille 18×18×20 cm et bien aérés ont été disposés l'une à côté de l'autre et par la suite, dix mouches adultes de sexes mixtes ont été mises dans chacun des six bacs contenant deux fioles coniques de 100 ml. Chaque bac contenait deux fioles dont une fiole avec une concentration déterminée d'HE (0%, 5% v/v, 10%v/v, 15%v/v, 20%v/v et 20%v/v) dans 5 ml de lait de vache et une autre avec 5 ml de lait pour servir de témoin négatif. Le nombre total de mouches emprisonnées dans chacune de ces fioles était compté

après 24 h d'exposition et les résultats de l'activité insectifuge des HEs contre les mouches sont exprimés en pourcentage de répulsion (% R) pour chaque dose selon la formule suivante:

$$\% R = [100 * (T-C) / T]$$

Où T =nombre de mouches piégées dans la fiole témoin, et

C = nombre mouches piégées dans la fiole contenant l'HE

Trois réplications ont été effectuées pour chaque dose et la moyenne des résultats obtenus a été considérée pour l'analyse statistique.

L'aération à l'intérieur du bac en plastique a été rendu possible grâce aux petits trous et avant les essais proprement dits, des essais préliminaires ont été réalisés pour nous assurer qu'aucun paramètre vital des mouches ne soit perturbé par le montage expérimental.

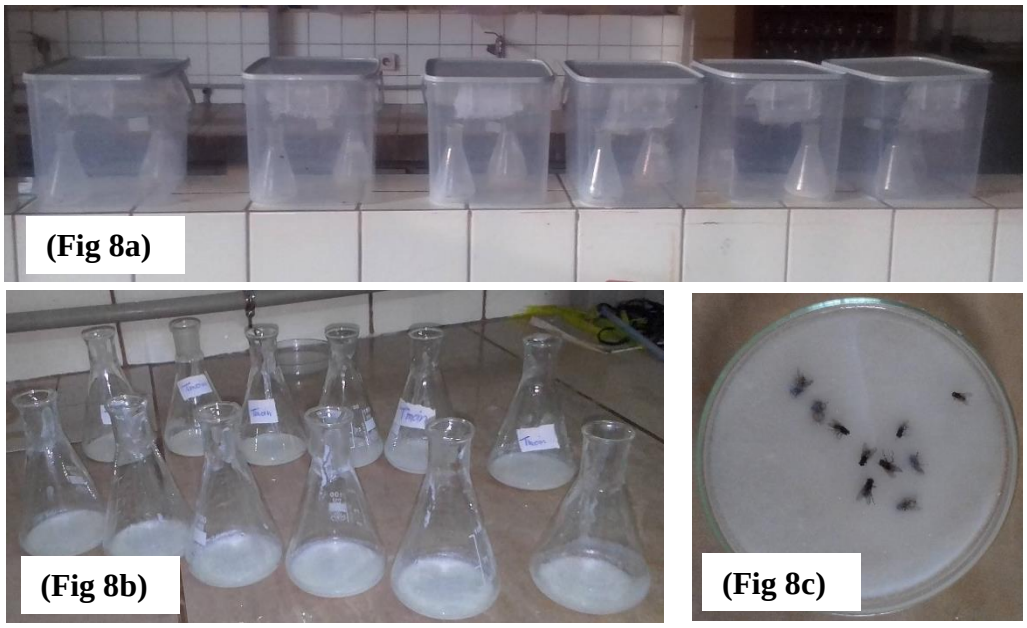


Figure 8: Dispositif expérimental de l'étude de l'effet insectifuge des HEs contre les mouches où (**Fig 8a)** montre les bacs d'essais contenant deux fioles (une fiole pour l'HE et une fiole pour le témoin), (**Fig 8b)** montre les fioles contenant chacun une dose d'HE ou le lait comme témoin et (**Fig 8c)** montre les mouches piégées dans une fiole.

II.2.3.2. Etude de l'activité insecticide des HEs contre les mouches

La méthode que nous avons utilisée est celle de Hanem F. Khater (Khater et Geden 2019) et recommandée par l'OMS (Corbel et al. 2023) avec cependant l'intégration des modifications faites par Attaullah et ses collaborateurs (Attaullah et al. 2020). Ainsi, des béchers de 250ml

ont été traitées chacun avec 1ml d'une solution HE diluée avec l'acétone à différentes concentrations (5% v/v, 10%v/v, 15%v/v, 20%v/v et 20%v/v) et avec 1ml d'acétone comme témoin. Les béchers ont été tournés pour faciliter une distribution uniforme des huiles sur leurs surfaces internes.

Dix mouches adultes de sexes mixtes ont par la suite été placées dans chaque bécher traité avec l'HE ou avec l'acétone. Comme le montre la figure 9, les béchers étaient tous fermés avec une compresse pour permettre l'aération.

Le taux de mortalité a été évaluée après 5, 10, 20, 30, 60 et 90 minutes d'exposition (après la mise en béchers des mouches) en stimulant doucement chaque mouche par agitation du bécher. Pour la méthode utilisée, les mouches qui ne répondent pas à la stimulation sont considérées comme mortes.



Figure 9: Dispositif expérimental de l'étude de l'effet insecticide des HEs contre les mouches : (E=Huille essentielle d'*Eucalyptus globulus*, n% = dose de l'HE dans le bécher considéré, avec n = 0 ; 5 ; 10 ; 15 ; 20 et 25).

II.2.4. Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été analysés statistiquement avec la version 22 du logiciel SPSS (IBM SPSS, NY, USA), et les résultats obtenus sont présentés sous forme de moyenne ± écart type de trois répétitions réalisées. L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée à l'aide du test de Tukey pour voir si la différence des résultats obtenus était significative et l'effet combinée de la dose et du temps sur taux de mortalité des mouches domestiques a été réalisée par l'analyse multivariée avec la méthode de two way ANOVA (Chintalchere et al. 2021).

Dans l'hypothèse où les HEs sont efficaces contre les insectes, une différence a été considérée comme significative dans le cas où la valeur de p (p étant un indicateur de la significativité statistique de la différence entre deux ou plusieurs moyennes) était inférieure ou égale à 5% ($p \leq 0,05$). Les valeurs de la dose létale 50% (DL50) et de la dose létale 90% (DL90) avec leurs limites de confiance à 95 % ont été déterminées par analyse probit (Chintalchere et al. 2021). La dose létale 50 et la dose létale 90% ont été définie comme des doses de l'HE permettant de tuer respectivement 50 % et 90% de population de mouches domestiques exposées à cette dernière.

CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Présentation des résultats

III.1.1. Rendement d'extraction

Une masse de 22,007g d'HE d'*Eucalyptus globulus* correspondant à un volume de 24 ml a été obtenue après extraction de 1,9 kg de feuilles fraiches de cette plante en 3 cycles de 3 heures. De même, 13kg de feuilles fraiches de *Cupressus lusitanica* ont donné 36,279 g équivalent à 40 ml d'HE de cette plante en 25 cycles d'extraction.

Le calcul montre que le rendement d'extraction est donc de 1,16 % m/m ou 1,26% v/m pour l' *Eucalyptus globulus* et de 0,28% m/m ou 0,31% v/m pour le *Cupressus lusitanica*

III.1.2. Effet répulsif

Les résultats des études préliminaires ont montré que le montage expérimental de répulsion n'a aucun effet sur les paramètres vitaux de la mouche domestique car aucune mortalité n'a été enregistré après 24h.

Concernant les deux plantes *Cupressus lusitanica* et *Eucalyptus globulus*, différents pourcentages de répulsion ont été trouvés en fonction de la dose comme le montrent le tableau 1 et les figures 10 et 11.

Tableau 3: Pourcentages de répulsion pour chaque HE et pour chaque dose

Dose (en %)	***Cupressus lusitanica***	***Eucalyptus globulus***
0	26,1111 ± 6,73575	26,1111 ± 6,73575
5	65,0794 ± 7,27393	62,1032 ± 4,77429
10	69,0476 ± 10,30983	78,2540 ± 6,14144
15	75,3968 ± 15,85316	82,0106 ± 9,30074
20	79,6429 ± 8,04166	83,6640 ± 5,17524
25	83,2011 ± 7,27754	85,4630 ± 4,78176

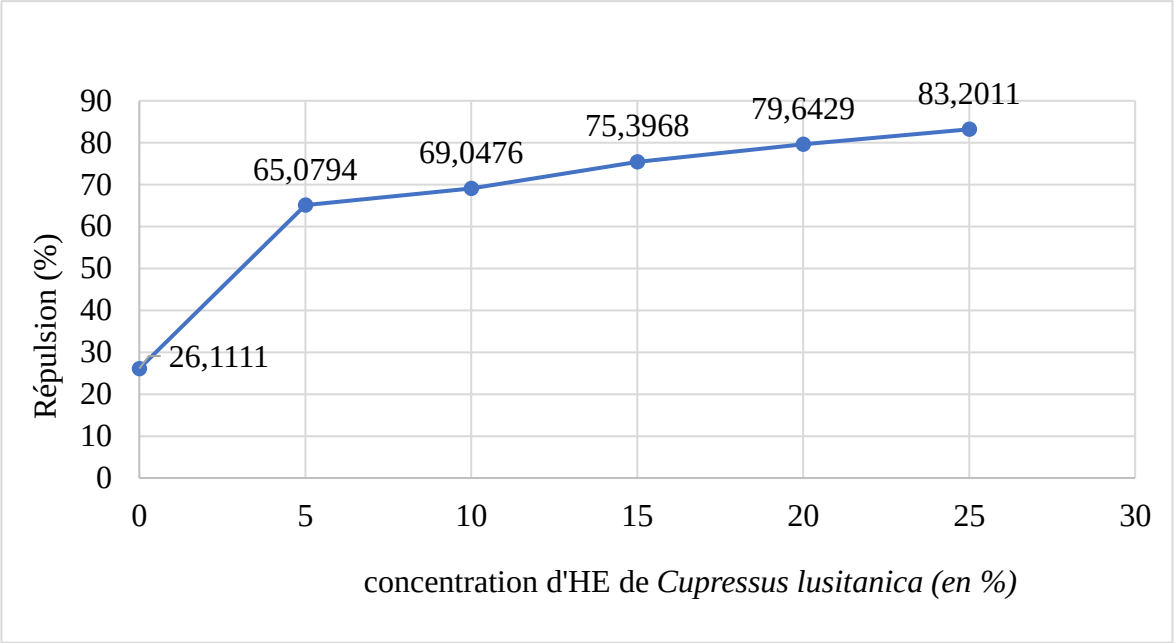


Figure 10: Pourcentages de répulsion des mouches domestiques en fonction de la concentration d'HE de *Cupressus lusitanica*

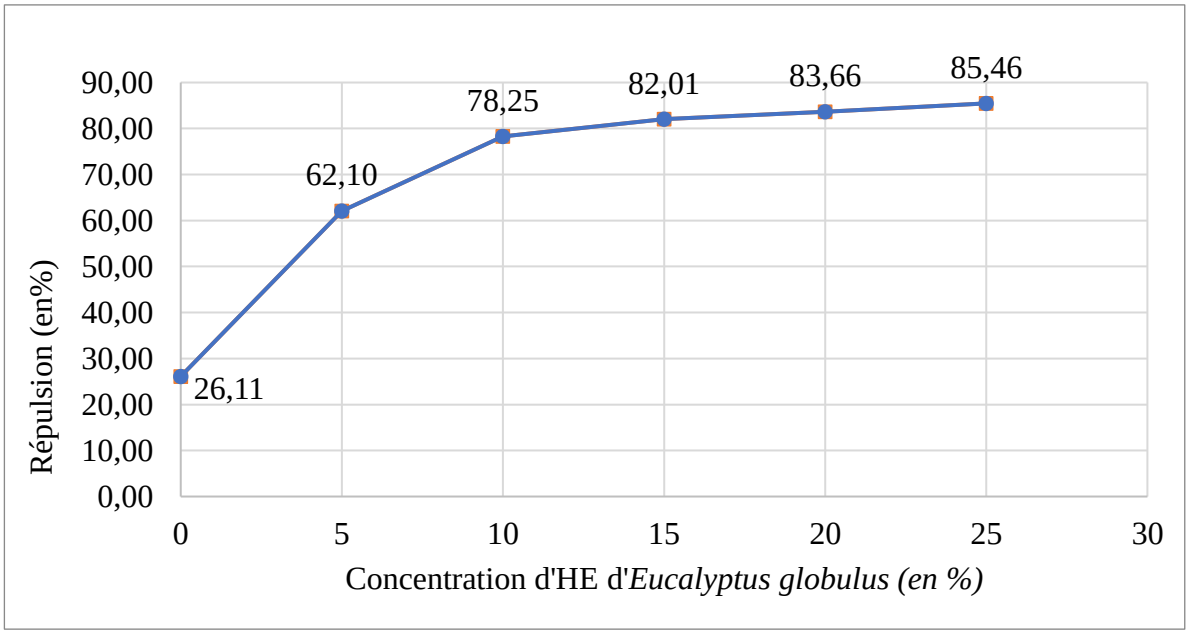


Figure 11: Pourcentages de répulsion des mouches domestiques en fonction de la concentration d'HE d' *Eucalyptus globulus.*

Les différentes concentrations d'HE de *Cupressus lusitanica* présentent un effet significatif de répulsion des mouches (p=0,000) par rapport au témoin comme le montre le tableau 4.

Cependant, il ne s'observe pas différence significative de répulsion entre les différentes concentration d'HE de *Cupressus lusitanica*.

L'HE d' *Eucalyptus globulus* présente également un effet significatif de répulsion des mouches (p=0,000) par rapport au témoin et ; contrairement au *Cupressus lusitanica* , il s'observe pour l' *Eucalyptus globulus*, une différence significative de répulsion des mouches par les différentes concentrations de cette HE de façon que l'effet des concentrations de 25%, 20% et 15% soient significativement différent de l'effet observé avec les concentrations de 5% et 10%. Les pourcentages de répulsion des différentes concentrations de l'HE de l' *Eucalyptus globulus* se trouvent également dans le tableau 4.

***Tableau 4*:** Comparaison des pourcentages de répulsion pour chaque HE et pour chaque dose

Dose (en %)	***Cupressus lusitanica***	***Eucalyptus globulus***
0	26,1111 [b]	26,1111[c]
5	65,0794 [a]	62,1032[b]
10	69,0476 [a]	78,2540[a,b]
15	75,3968[a]	82,0106[a]
20	79,6429 [a]	83,6640[a]
25	83,2011[a]	85,4630[a]

Pour chaque colonne, les pourcentages de répulsion suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (One way ANOVA - test de Tukey). Ils constituent le groupe homogène

III.1.3. Effet insecticide

Les résultats des études préliminaires ont montré que le montage expérimental du test de mortalité n'a aucun effet sur les paramètres vitaux de la mouche domestique car aucune mortalité n'a été enregistré après 90 minutes.

Les résultats obtenus avec two way annova (analyses- univariés) montrent qu'aussi bien le dosage de l'HE de *Cupressus lusitanica* (p=0,000) que le temps après application de l'HE (p=0,000) ont des effets statistiquement significatifs sur le taux mortalité de la mouche. De même, l'interaction entre la dose et le temps influence de façon significative le taux de mortalité des mouches (p=1,000).

La dose de l'HE d' *Eucalyptus globulus* (p=0,000) et la durée d'exposition des mouches domestiques à cette huile (p=0,000) ont des effets statistiquement significatifs sur taux de mortalité des mouches sans que l'interaction entre la dose et le temps (p=0,113) puisse avoir une influence significative taux de mortalité des mouches.

Les pourcentages de mortalité de chaque HE et de chaque dose se trouvant dans les tableaux 5 et 6 et les figures N°12 et 13 montrent l'évolution du taux de mortalité des mouches domestiques pour chaque HE en fonction du temps d'exposition.

Tableau 5: *Pourcentages de mortalité de l'HE de Cupressus lusitanica en fonction de la dose*

	0 Min	**5Min**	**10 Min**	**20 Min**	**30 Min**	**60 Min**	**90 Min**
0%	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00
5%	00,00	20,00	60,33	70,00	90,67	100,00	100,00
10%	00,00	30,33	80,67	90,33	100,00	100,00	100,00
15%	00,00	60,33	90,33	100,00	100,00	100,00	100,00
20%	00,00	70,00	90,67	100,00	100,00	100,00	100,00
25%	00,00	80,33	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tableau 6: *Pourcentages de mortalité de l'HE d'Eucalyptus globulus en fonction de la dose*

	0 Min	**5 Min**	**10 Min**	**20 Min**	**30 Min**	**60 Min**	**90 Min**
0%	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00
5%	00,00	13,33	30,00	33,33	33,33	43,33	43,33
10%	00,00	30,00	50,00	60,00	63,33	63,33	66,67
15%	00,00	66,67	76,67	86,67	93,33	96,67	100,00
20%	00,00	83,33	86,67	96,67	96,67	100,00	100,00
25%	00,00	93,33	96,67	100,00	100,00	100,00	100,00

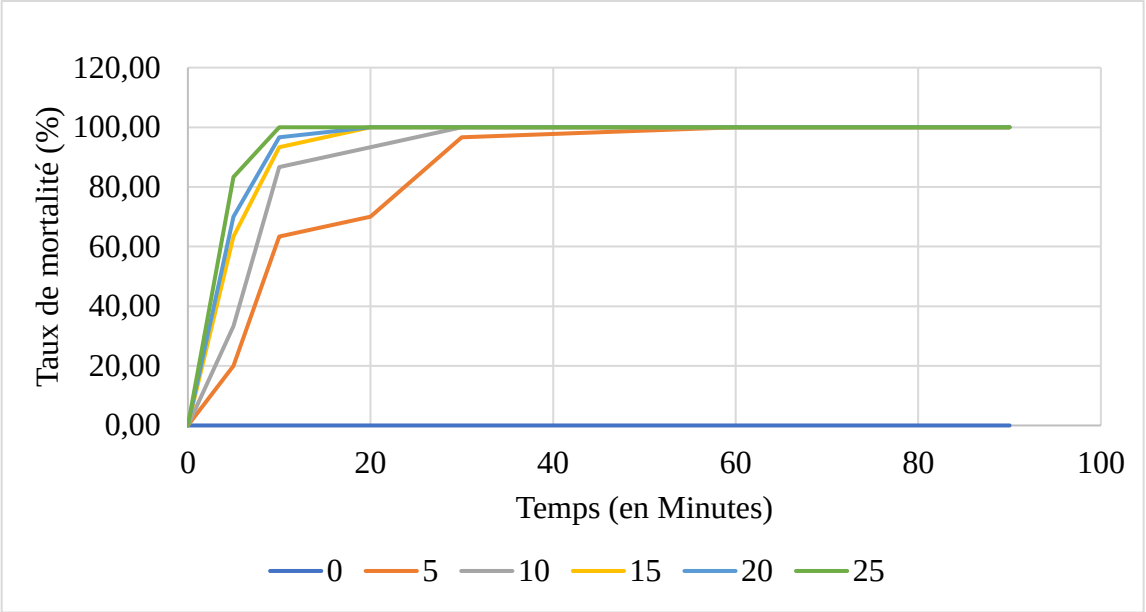


Figure 12: Taux de mortalité en fonction du temps et selon la dose de l'HE de *Cupressus lusitanica*

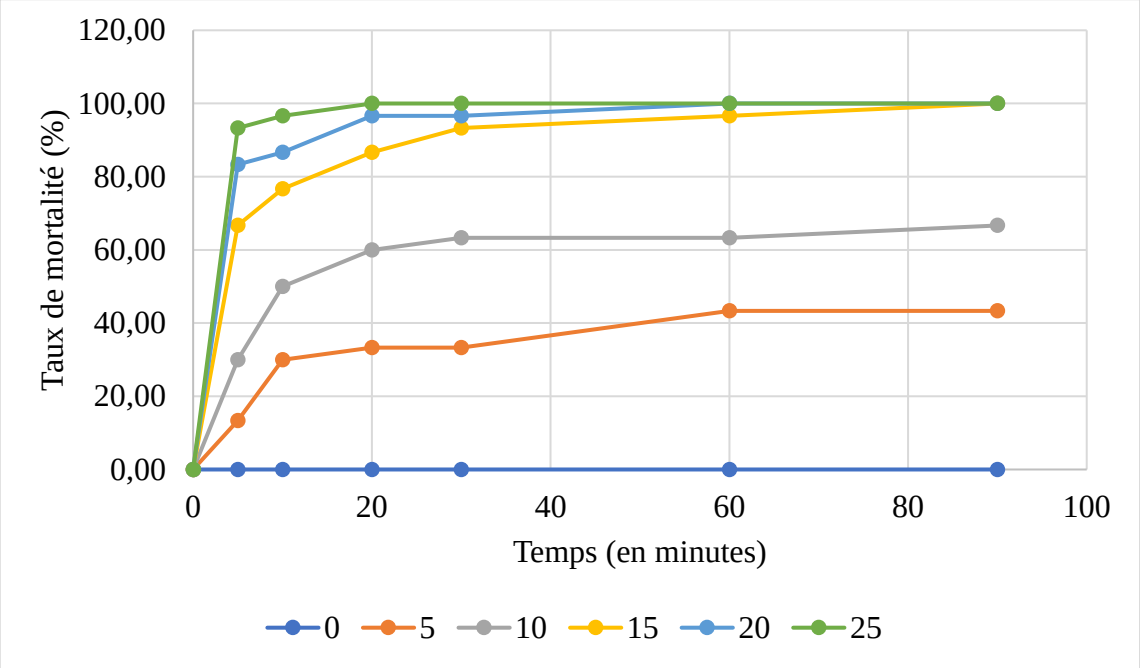


Figure 13: Taux de mortalité en fonction du temps et selon la dose de l'HE d' *Eucalyptus globulus*

Ainsi, par rapport aux concentrations des HEs des deux plantes, les différents groupes homogènes de mortalité selon le temps après application se trouvent dans le tableau 7 et dans le tableau 8. Comme mentionné ci-haut, le groupe homogène a été définit comme un ensemble constitué par les doses dont les taux de mortalité des mouches domestiques ne sont pas statistiquement significatifs.

Tableau 7: Groupes homogènes de doses en fonction du temps d'application pour l'HE de *Cupressus lusitanica*

Temps	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	p
5 Min	0%	10%, 15% et 20%	25%	0,001
10 Min	0%	10%, 15% et 20%	25%	0,000
20 Min	0%	5%, 10%, 15%,20% et 25%		0,000
30 Min	0%	5%, 10%, 15%,20% et 25%		0,000
60 Min	0%	5%, 10%, 15%,20% et 25%		0,000
90 Min	0%	5%, 10%, 15%,20% et 25%		0,000

Un groupe homogène a été définit comme un ensemble constitué par les doses dont les taux de mortalité des mouches domestiques ne sont pas statistiquement significatifs

Tableau 8: Groupes homogènes de doses en fonction du temps d'application pour l'HE d' *Eucalyptus globulus*

Temps (Min)	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	p
5	0%	5% et 10%	15% et 20%	25%	0,000
10	0%	5% et 10%	15% et 20%	25%	0,000
20	0%	5% et 10%	15%, 20% et 25%		0,000
30	0%	5% et 10%	15%, 20% et 25%		0,000
60	0%	5% et 10%	15%, 20% et 25%		0,000
90	0%	5% et 10%	15%, 20% et 25%		0,000

Un groupe homogène a été définit comme un ensemble constitué par les doses dont les taux de mortalité des mouches domestiques ne sont pas statistiquement significatifs

A partir de ces résultats, il se remarque pour l'HE de *Cupressus lusitanica* que dans les 10 premières minutes d'application, la dose de 25% enregistre une mortalité significativement supérieure à celui des autres doses tandis qu'après 10 minutes, les taux de mortalités enregistrées pour l'ensemble des doses ne sont pas significativement différents.

Contrairement au *Cupressus lusitanica* , quatre groupes de doses significativement différents sont enregistrés par rapport au taux de mortalité avant 10 minutes d'application de l'HE d' *Eucalyptus globulus*, tandis que les doses ne se répartissent qu'en trois groupes dont les taux de mortalité sont significativement différents après ce temps.

Les doses létales des différentes HEs selon le temps se trouvent dans le tableau 9. Les estimations des DL50 et DL90 à partir de 30 minutes, donnent des valeurs aberrantes pour le *Cupressus lusitanica* car presque la totalité des insectes sont déjà mortes pour l'ensemble des doses (Mortalité 100%).

Tableau 9: Doses létales pour les HEs de *Cupressus lusitanica* et d'*Eucalyptus globulus* en fonction du temps d'exposition

Temps (Min)	**DL50**		**DL90**	
	C. lusitanica	***E. globulus***	***C. lusitanica***	***E. globulus***
5	**13,279%** (IC 95% [10,276 – 18,287])	**14,299%** (IC 95% [10,640 – 18,299])	**21,974%** (IC 95% [18,493 – 28,980])	**26,165%** (IC 95% [21,299 – 37,603])
10	**5,642%** (IC 95% [2,246 – 8,200])	**10,561%** (IC 95% [7,209 - 13,574])	**12,456%** (IC 95% [9,666 – 18,392])	**19,834%** (IC 95% [16,293 – 27,003])
20	**4,535%** (IC 95% [2,253 – 6,471])	**8,743%** (IC 95% [5,896 – 11,332])	**8,039%** (IC 95% [6,174 – 12,897])	**15,678%** (IC 95% [12,800 – 21,630])
30		**8,268%** (IC 95% [5,530 – 10,767])		**14,662%** (IC 95% [11,930 – 20,360])
60		**7,928%** (IC 95% [4,811 – 9,769])		**12,989%** (IC 95% [10,441 – 18,822])
90		**7,032%** (IC 95% [4,612 – 9,335])		**12,039%** (IC 95% [9,655 – 17,813])

Par rapport aux doses létales (DL50 et DL90) de l'HE de *Cupressus lusitanica,* les doses létales de l'HE d' *Eucalyptus globulus* sont élevées comme le montre la figure 14 et la figure 15.

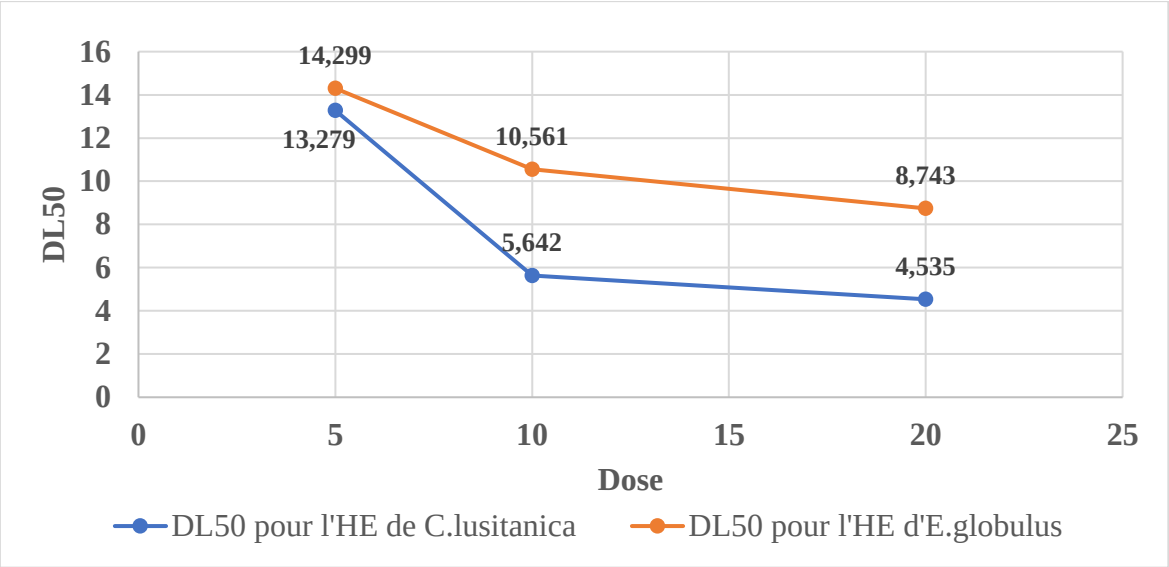


***Figure 14**:* DL50 en fonction de l'HE et du temps

La dose létale 50 5DL50) est définie comme la dose nécessaire pour tuer 50% de la population de mouche

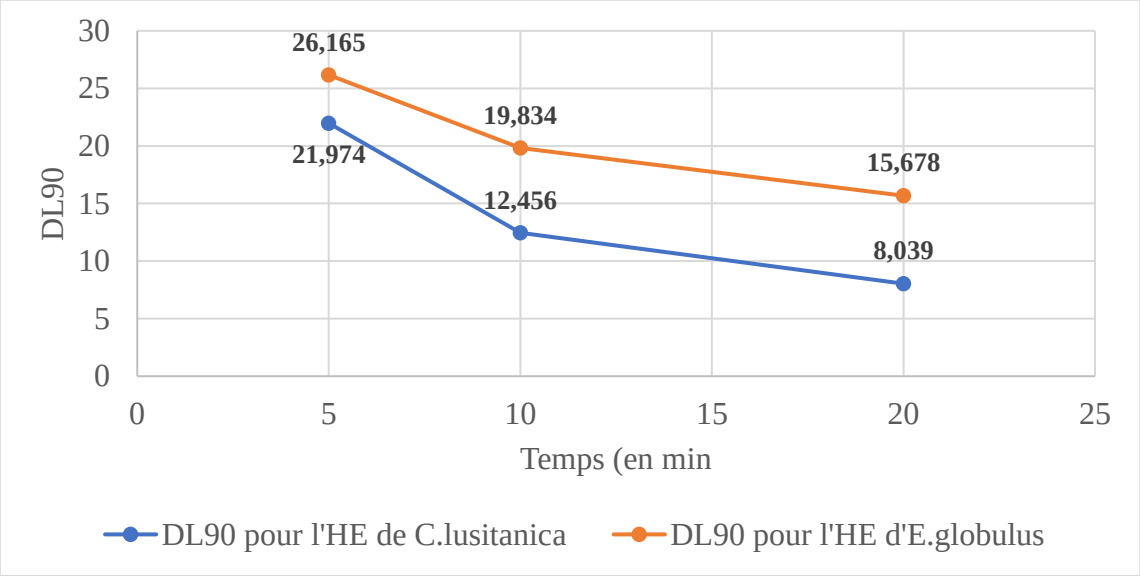


Figure 15: DL90 en fonction de l'HE et du temps

La dose létale 90 (DL90) est définie comme la dose nécessaire pour tuer 50% de la population de mouche

III.2. Discussion des résultats

Dans le présent sous-chapitre, nous allons essayer de comparer nos résultats aux données de la littérature.

III.2.1. Le rendement d'extraction

Le rendement de 1,16 % m/m trouvé dans notre étude pour l'*Eucalypptus globulus* est proche à celui de Raho G Bachir en Algérie qui a trouvé un rendement de 1,2 % m/m (Bachir et Benali 2012) et celui de R. K. Bachheti en Ethiopie avec un rendement de 1,21 % m/m (Bachheti 2015), les deux auteurs ayant travaillé sur la même espèce végétale.

Concernant le *Cupressus lusitanica* , Gerald Ngo Teke au Cameroun a rapporté un rendement de 0,32% tandis que Cláudia S. Tavares au Portugal a trouvé 0,26% v/m (Tavares et al. 2020; Teke et al 2013) et ces résultats sont proches des nôtres (0,28% m/m).

Cependant, Rania M. Kamal en Egypte a trouvé un rendement largement inférieur au notre, soit 0,17% v/m. La littérature décrit la méthode d'extraction, plus précisément des conditions opératoires (temps d'extraction, ratio matière/solvant, etc.), l'espèce végétale, la période de récolte de la plante, le stade végétatif de la plante, les conditions climatiques, et le type de sol….etc, comme les principaux paramètres qui peuvent influencer le rendement d'extraction d'HE et cela peut être l'une des causes de la différence ci-haut décrite. De plus, l'objectif de l'extraction pour notre étude était d'obtenir une quantité d'HE suffisante pour réaliser nos essais sur les insectes. C'est ainsi que les conditions opératoires qui influencent le rendement (temps du cycle d'extraction élevé, ratio matière/solvant optimisé, etc.) ont été ignorés au profit des paramètres qui permettent d'obtenir la quantité d'HE nécessaire en un peu de temps (réduction du temps d'un cycle d'extraction).

III.2.2. Effet répulsif

De nombreuses plantes sont utilisées dans le cadre de pratiques traditionnelles pour repousser les mouches domestiques. Parmi les plantes les plus cités, figurent *l'Eucalyptus globulus* (Levchenko et al. 2021) mais également le *Cupressus lusitanica* . Pour prouver l'efficacité de ces plantes clamées par les études ethnobotaniques, des études d'efficacités de leurs HEs ont été réalisés aux laboratoires par différents chercheurs un peu partout dans le monde et bien que les méthodologies utilisées diffèrent parfois, leurs résultats sont concluants et convergent vers les mêmes conclusions.

Selon une revue de la littérature réalisée par Danna et al. (2024) sur les effets des HEs des différentes espèces du genres Eucalyptus contre les différents, il s'est avéré que les espèces du genre eucalyptus ont des HEs dont la composition chimique est variable comme le montre

la figure 15. Le même auteur confirme également que les espèces avec une teneur plus élevée en α pinène ont des meilleurs résultats de répulsions.

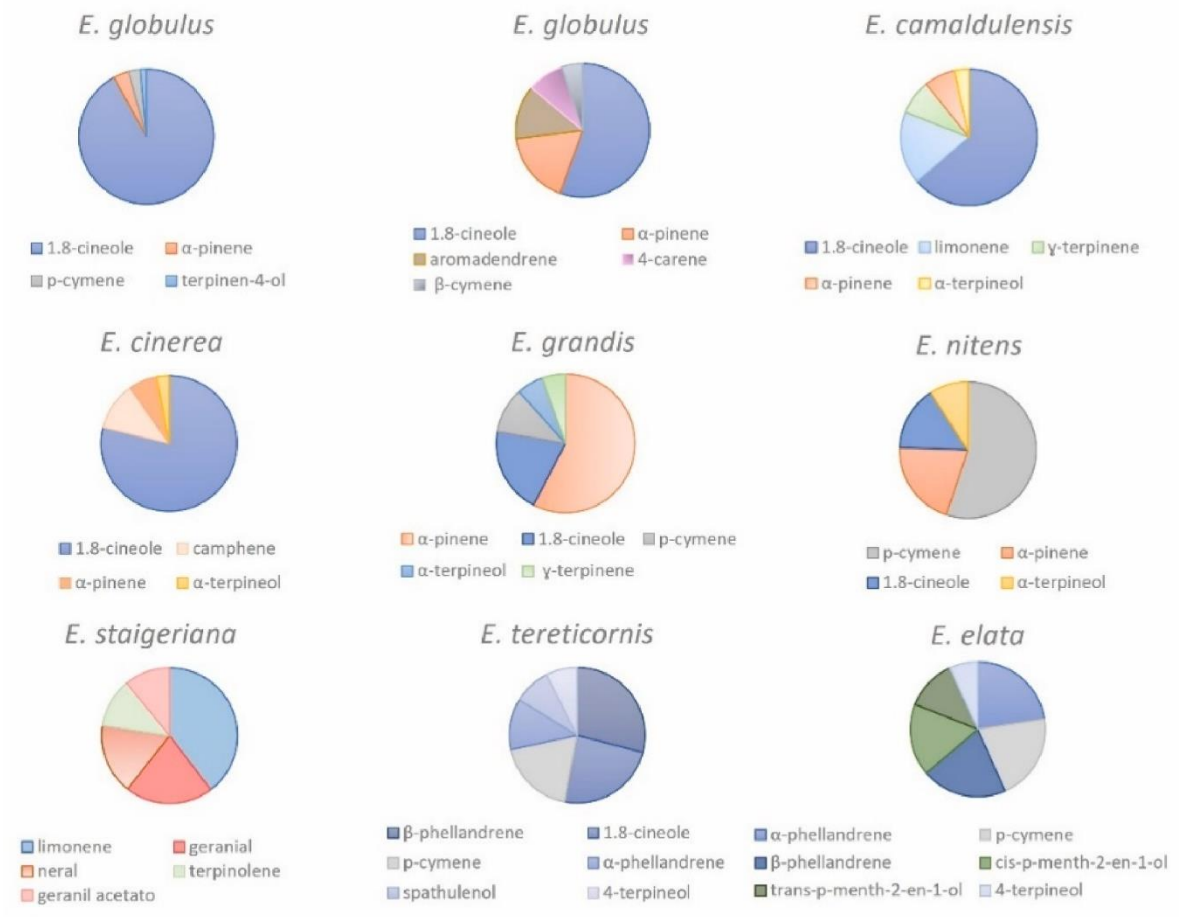


Figure 16: Composition des HE rapportée dans différentes espèces d' *Eucalyptus globulus* (Danna et al. 2024)

Selon l'étude de Labbafi et al. (2021) en Iran et celle de Mannai et al. (2021) en Tunisie, cette molécule est aussi largement majoritaire (Varie de 34,43% à 54,98% selon l'espèce) dans les espèces du genres Cupressus dont fait partie le *Cupressus lusitanica* ayant fait l'objet de notre étude et cela justifie nos résultats sur le pouvoir répulsif de cette espèce.

Les études réalisées au Rwanda et au Kenya sur le *Cupressus lusitanica* montrent cependant d'autres espèces chimiques plus majoritaires que l'α pinène, en particulier le sabinène, le Myrcène et/ou l'Umbellulone avec une grande variabilité inter région écologique (Bett et al. 2016b; Nteziyaremye et al. 2023).

Partant du fait que le Burundi est proche géographiquement de ces deux pays, il est fort probable que ces molécules soient présentes en grande quantité dans l'HE du *Cupressus*

lusitanica de la flore Burundaise. Cependant, cette hypothèse doit être confirmée par les études de laboratoire du fait que des différences majeures peuvent s'observer entre les plantes des pays proches ou même entre les plantes des différentes régions du même pays (Nteziyaremye et al. 2023).

Hanem F. Khater et ses collègues (Khater et Geden 2019), a quant à eux, conclu dans leur travail de recherche, que l'HE d'eucalyptus a des effets attractifs plutôt que répulsifs, ce qu'ils ont qualifié eux même de surprise du fait que la grande partie des données de la littérature parlent des effets à la fois répulsive et toxique pour les mouches domestiques. Cependant, l'espèce de l'eucalyptus utilisé lors de leur travail n'a pas été bien précisée et il pourrait s'agir d'une espèce appartenant au genre Eucalyptus.

En ce qui est des valeurs, les pourcentages de répulsion contre les mouches rapportés par Nitin Chauhan (Chauhan, Malik, et Sharma 2018) après 1h d'exposition des mouches domestiques à l'HE d' *Eucalyptus globulus* sont de de 60 %, 85 % et 90 % respectivement pour des doses de 0,005 ; 0,01 et 0,02 µl/cm^3. Le rapport entre le taux de mortalité et la dose utilisée dans le travail susmentionné est très élevée par rapport à nos résultats. De même, la durée qui a été nécessaire pour avoir ces résultats est faible par rapport à la nôtre. Cela peut être lié à l'effet du temps car, les HEs sont des substances volatiles et par conséquent l'effet répulsif pour les formulations liquides et semi solides diminue avec la volatilité et le temps de travail (Hazarika et al. 2020).

Pour le *Cupressus lusitanica* , rares sont les études qui parlent des effets de cette espèce sur les mouches domestiques. Plusieurs études réalisées dont celui de Philip au Kenya (Bett et al. 2016b) confirment l'effet hautement répulsif de son HE contre les différents espèces insectes mais bien que cet effet soit palpable, il serait difficile d'extrapoler ces résultats aux mouches domestiques du fait que les insectes visés par ces études étaient en grande partie des ravageurs de récoltes. Par rapport à l'étude réalisée par Papias Nteziyaremye au Rwanda (Nteziyaremye et al. 2023), l'effet répulsif obtenu après 24h avec une dose de 30% est équivalent à l'effet que nous avons obtenu avec une dose de 5% après la même période. Cette différence de dose est énorme mais la dose utilisée dans les travaux de Philip ci haut cités, et le degré de toxicité rapportée dans la littérature des HEs vis-à-vis des insectes, confirment que la méthodologie et les résultats de notre étude sont raisonnables.

III.2.3. Effet insecticide

Les HE ont la réputation d'être des insecticides très puissants et cela est attesté par plusieurs travaux scientifiques. L'étude d'Idin Zibaee en Iran par exemple (Zibaee et Bahari Khorram 2015) donne le taux de mortalité obtenu après 24h pour l'HE d'*Eucalyptus globulus* de 82,5%. Etant donné que la plus grande concentration utilisée dans son étude est de 10%, ce taux de mortalité semble être largement élevée par rapport à la nôtre car le dose de 10 % dans notre étude n'a jamais enregistré un taux de mortalité supérieure à 66,67% après 1h30 minutes d'exposition. La DL50 de 11,46 ppm trouvée semble également être très faible par rapport à nos résultats et donc, l'efficacité insecticide de l' *Eucalyptus globulus* utilisé pour son étude semble être supérieure à celle de l' *Eucalyptus globulus* de la flore Burundaise.

Les résultats obtenus par Majid Rashidi, qui a travaillé sur la comparaison de différentes méthodes d'application des HEs d' *Eucalyptus globulus* sur les insectes ont montré également que ces HEs avaient une meilleure efficacité contre la mouche domestique en application par spray, avec des valeurs de DL50 de 10,8 % et des valeurs de DL90 de 29,8 % respectivement (Rashidi et al. 2023). Ces résultats sont comparables à ceux rapporté dans le présent travail malgré la différence de méthodes d'application car avec une solution à 10,561% d'HE d' *Eucalyptus globulus* de la flore Burundaise, on parvient à tuer en 10 minutes, 50% de la population de mouches exposées alors qu'avec 21,974%, la population de mouches est réduite de 90% en 5 minutes seulement.

Cependant, il y a lieu de se demander s'il n'y aurait pas pour la population de mouche, un phénomène semblable à « l'effet inoculum » observé chez les bactéries et qui consiste en la diminution de l'efficacité du produit une fois la population à laquelle le produit est exposé augmente. Ainsi, seuls d'autres travaux de recherches pourront répondre à cette question.

Contrairement aux résultats du présent travail , les travaux de recherche de Jirisuda Sinthusiri (Sinthusiri et Soonwera 2013) en Thaïlande n'ont pas montré de mortalité à une concentration inférieure ou égale à 5% d'HE d' *Eucalyptus globulus*. De même, le taux de mortalité de l'HE d' *Eucalyptus globulus* à 10% rapporté par ce dernier chercheur est également négligeable en comparaison avec nos résultats (taux de mortalité de 2% rapporté dans le travail de Jirisuda contre 30% pour notre étude). La DL50 de 15,32% après 24h d'exposition qu'il a rapportée est également énorme car nos résultats sont de 13,279% de mortalité après 5 minutes d'exposition à la même concentration (10%). Etant donné que la seule différence entre nos travaux est le solvant utilisé (qui l'éthanol pour Jirisuda Sinthusiri

et l'acétone pour notre cas), et que ces solvants doivent théoriquement s'évaporer avant de procéder à l'application sur les insectes, la seule explication scientifiquement acceptable de cette différence de résultats est la probable différence de composition chimique des HEs utilisées. Notre hypothèse est consolidée par le fait qu'une autre étude réalisée par Mayura Soonwera dans le même pays (en thailande) en 2020 (Soonwera et Sittichok 2020) a révélé une résistance des mouches à cette l'HE.

En effet, contrairement à l'effet répulsif élevée en cas de présence dans l'HE, d'une quantité elevée de α pinène (Danna et al. 2024), les HEs contenant des quantités substantielles de 1,8-cinéole, ont une toxicité élevée contre les mouches adultes selon la littérature. Cela a été démontré par Yanina Estefanía Rossi en 2015, à travers ses travaux sur l'HE *d'Eucalyptus cinerea* (Rossi et Palacios 2015), qui a conclu que le taux de mortalité des mouches domestiques est essentiellement liée à l'absorption des terpènes telles que le 1,8-cineole, l'α-pinène et l'α-terpineol.

Selon Jeff Scott et al. (Scott et al. 2014), la mouche domestique possède une très grande variété de cytochromes P450, dont le rôle est de dégrader des molécules exogènes, et notamment des substances qui lui sont toxiques. En plus de cette grande capacité de métabolisation, le génome de la mouche domestique a également révélé la présence de gènes codant pour des chémorécepteurs capables de renseigner l'insecte sur la présence de insecticides dans l'environnement. La combinaison de ce système de détection et les puissantes facultés d'élimination des substances toxiques expliquent comment cet insecte parvient à s'adapter à la plupart des insecticides qui lui sont opposés. Ainsi, le 1,8-cineole agirait sur ce système comme inhibiteur du cytochrome P450 en rompant ce rideau de fer et rend la mouche vulnérable aux molécules toxiques et cela explique par conséquent l'amélioration (potentialisation) de la toxicité d'autres insecticides lui associés (Rossi et Palacios 2015).

Notre étude ne nous a pas permis de savoir si les trois molécules les plus impliquées dans la mortalité des insectes sont présentes dans les HEs des deux plantes de la flore Burundaise mais à voir les résultats que nous avons obtenus, il est fort probable que les HEs du *Cupressus lusitanica* et de l' *Eucalyptus globulus* en contiennent suffisamment et nous nous appuyons sur ce constat pour affirmer que les HEs extraites de du *Cupressus lusitanica* et de l' *Eucalyptus globulus* de la flore Burundaise peuvent être utilisées comme insecticides de substitution aux insecticides de synthèse chimiques qui polluent l'enviromment.

Cependant, des études sur la composition phytochimique de l'HE de ces plantes sont nécessaires pour approfondir nos résultats. Une étude de l'effet synergique des HEs de chacune de ces deux plantes avec des insecticides chimiques couramment utilisés sont également nécessaires pour fournir une preuve scientifique de la potentialisation par les HEs de l' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica* , de l'effet des insecticides chimiques couramment utilisées.

III.2.4. Comparaison de l'efficacité des HEs extraites de l' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica*

Pour l'ensemble des deux plantes, les effets (répulsifs et insecticides) des différentes doses sont significativement différents de l'effet observé pour le témoin. En effet, les différentes concentrations d'HE de *Cupressus lusitanica* présentent un effet de répulsion des mouches statistiquement différent de celui du témoin (p=0,000) et l'HE d' *Eucalyptus globulus* présente également un effet statistiquement significatif (p=0,000) de répulsion des mouches par rapport au témoin. De même, les différentes doses ont des effets statistiquement significatifs sur le taux mortalité de la mouche par rapport aux témoins et cela est valable aussi bien pour l'HE d'*Eucalyptus globulus* (p=0,000) que pour l'HE de *Cupressus lusitanica* (p=0,000).

Ainsi, nos résultats confirment que les HEs de ces deux plantes peuvent être utilisés pour éloigner les mouches domestiques. De plus, les différentes doses HEs d' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica* montrent des effets répulsifs proches (65,08% versus 62,10% poour une dose de 5% respectivement pour le *Cupressus lusitanica et l' Eucalyptus globulus* par exemple*).*

Par rapport à l'effet insecticide, l'HE de *Cupressus lusitanica* se montre également plus toxique par rapport à l'HE d' *Eucalyptus globulus*. En effet, quelle que soit la dose utilisée, il s'observe un taux de mortalité de presque 100% après 30 minutes d'exposition des mouches domestiques à l'HE du *Cupressus lusitanica* , ce qui n'est pas le cas pour l'HE d' *Eucalyptus globulus* dont les doses de 5% et de 10% n'atteignent jamais un taux de mortalité de l'ensemble d'individus sur lesquels elle est appliquée, quel que soit le temps après exposition.

Mais quelle est la plante parmi les deux dont l'exploitation économique est intéressante?

Pour l'effet insectifuge, nos résultats confirment que l'augmentation de la dose qui va de pair avec l'augmentation significative du pourcentage de répulsion pour l'HE d' *Eucalyptus globulus* n'est pas observé chez le *Cupressus lusitanica* . De même, les DL50 et les DL90 sont faibles pour le *Cupressus lusitanica* par rapport à l' *Eucalyptus globulus* comme le montre la figure 13 et la figure 14.

Ces propriétés des huiles essentielles de *Cupressus lusitanica* (utilisation d'une concentration de 5% avec la même efficacité répulsive que la concentration de 25%, et mortalité élevée) semblent dans un premier temps être intéressantes pour une exploitation économique, mais le rendement d'extraction est également un autre paramètre essentiel pour une exploitation optimale.

En effet, le rendement d'extraction est de 0,31% v/m pour l'HE de *Cupressus lusitanica* et de 1,26% v/m pour celle d' *Eucalyptus globulus*. Ainsi, pour avoir une quantité suffisante d'HE nécessaire pour préparer 5 ml d'une solution d'HE de *Cupressus lusitanica* à 5% (effet répulsif maximale), il faut 80 g de feuilles de cette plante. Pour l' *Eucalyptus globulus*, l'effet maximal de répulsion est observé avec une préparation de concentration en HE supérieure ou égale à 15%. La quantité d'HE nécessaire pour préparer cette solution (0,75ml d'HE dans 5 ml de lait) peut provenir de 60 g de feuilles.

De même, pour avoir une solution pouvant tuer 90% des mouches domestiques et en prenant l'exemple d'une application dans un bécher de 250 ml, il faut 0,198 ml d'HE d' *Eucalyptus globulus* (ou 15,71 g des feuilles de cette plante) contre 0,125 ml d'HE de *Cupressus lusitanica* (ou 40 g des feuilles de cette plante). Cette analyse montre bien que l'exploitation économique aussi bien pour l'effet répulsif que pour l'effet insecticide, est favorable avec l' *Eucalyptus globulus* plutôt qu'avec le *Cupressus lusitanica* .

CHAPITRE IV. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

IV.1. Conclusion

Notre étude qui avait comme objectif d'extraire et d'étudier l'activité insecticide et insectifuge des HEs de l' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica* contre les mouches domestiques a été réalisée dans le cadre de contribuer à l'étude des propriétés insecticides et répulsives des plantes de la flore Burundaise.

Après extraction, il a été confirmé que l' *Eucalyptus globulus* et du *Cupressus lusitanica* échantillonnées en zone Bugarama de la province Muramvya contiennent des HEs avec un rendement de 1,26% v/m pour l' *Eucalyptus globulus* et de 0,31% v/m pour le *Cupressus lusitanica*. L'application de ces HEs contre les mouches domestiques *Musca domestica* a montré que chacune des HEs de ces deux plantes ont à la fois une activité insectifuge et insecticide significative. Alors qu'on n'observe pas de différence significative entre les pourcentages répulsion en rapport avec les différentes concentrations de l'HE de *Cupressus lusitanica* (pourcentage de répulsion de 26,11% ; de 65,08%, ; de 69,05% ; de 75,40% ; de 79,64% et de 83,20% respectivement pour les doses de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% et 25%) , les pourcentages répulsion des différentes concentrations de l'HE d' *Eucalyptus globulus* présentent une différence significative et les taux de répulsion des doses de 5% et de 10% (62,10% et 78,25% respectivement) diffèrent de ceux des doses de 15%, 20% et 25% (82,01% ; 83,66% et 85,46% respectivement). Pour un temps d'exposition déterminée, l'HE de *Cupressus lusitanica* se montre plus toxique aux mouches domestiques par rapport à celle de l'HE d' *Eucalyptus globulus* avec une DL50 à 10 minutes de 10,56% et de 5,64% respectivement pour l'HE de *Cupressus lusitanica* et pour celle de l' *Eucalyptus globulus*.

La différence de rendement d'extraction de ces deux HEs fait cependant que malgré cette supériorité d'action de l'HE du *Cupressus lusitanica* , l'exploitation économique reste favorable à l' *Eucalyptus globulus* par rapport au *Cupressus lusitanica* . La confirmation par nos résultats, de l'effet insecticide et insectifuge des plantes de la flore Burundaise apporte une preuve scientifique solide à toute utilisation de ces deux espèces végétales dans la lutte contre les mouches afin de préserver la santé de la population contre les maladies transmises par ces insectes.

Cependant, peu de données scientifiquement solides à l'instar de nos résultats sur les propriétés insecticides et répulsives des plantes de la flore Burundaise sont disponibles et par conséquent, nos résultats ont besoin d'être enrichis par d'autres recherches.

IV.2. Suggestions

Sur base de nos résultats de recherche, nous suggérons de pousser loin notre recherche surtout dans l'angle de confirmer ou infirmer la similarité de composition chimique rapportée dans la littérature avec celle de la flore burundaise.

L'analyse comparative des paramètres influençant significativement la composition des HEs (région ou climat, moment de récolte, méthode d'extraction,…) ou des paramètres influençant significativement l'éfficacité des HEs (temps de conservation des HEs, méthodes d'application, etc….) de ces deux plantes dans le contexte Burundais est également nécessaire pour proposer à la communauté la manière la plus optimale de leur exploitation économique et cela est motivée par le fait que bien que les constituants les plus majeurs de leurs HEs sont connus, leurs teneurs rapportées dans la littérature sont variables selon l'auteur, et cela a nécessairement une conséquence sur la puissance de leur efficacité.

Nous suggérons également aux autres chercheurs de relever les éventuelles limites liées à notre méthodologie de travail (utilisation des temoins positifs au lieu des témoins négatifs, étude sur d'autres stades de développement de la mouche mouche, étendre notre étude sur d'autres insectes vecteurs de maladies…etc.)

Aux investisseurs nous suggérons de s'approprier les résultats de notre travail et d'investir dans la formulation à grande échelle des produits anti-mouches, dans les études de la stabilité de ces formulations et dans l'évaluation de leurs éventuelles toxicités sur les humains afin de les mettre à la disposition de la communauté utilisatrice, contribuant ainsi à la protection de l'environnement et à la sécurité sanitaire de la population.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ahmad Khan, Mohd Sajjad, et Iqbal Ahmad. 2019. « Chapter 1 - Herbal Medicine: Current Trends and Future Prospects ». P. 3-13 in *New Look to Phytomedicine*, édité par M. S. Ahmad Khan, I. Ahmad, et D. Chattopadhyay. Academic Press.

Ahmadi, Ebrahim, Jahangir Khajehali, Wim Jonckheere, et Thomas Van Leeuwen. 2022. « Biochemical and Insecticidal Effects of Plant Essential Oils on Insecticide Resistant and Susceptible Populations of Musca Domestica L. Point to a Potential Cross-Resistance Risk ». *Pesticide Biochemistry and Physiology* 184:105115. doi: 10.1016/j.pestbp.2022.105115.

Alsarayreh, Ahmad Z., Sawsan A. Oran, Jumah M. Shakhanbeh, Khaled M. Khleifat, Yaseen T. Al Qaisi, Ibrahim I. Alfarrayeh, et Ayah M. Alkaramseh. 2022. « Efficacy of Methanolic Extracts of Some Medicinal Plants on Wound Healing in Diabetic Rats ». *Heliyon* 8(8):e10071. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10071.

Al-Worafi, Yaser Mohammed. 2020. « Chapter 10 - Counterfeit and substandard medications ». P. 119-26 in *Drug Safety in Developing Countries*, édité par Y. Al-Worafi. Academic Press.

Anon. 2020. « Maladies à transmission vectorielle ». (https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases), Consulté 2 janvier 2024.

Anon. s. d. « ADW: Musca domestica: CLASSIFICATION ». (https://animaldiversity.org/accounts/Musca_domestica/classification/#Musca_domestica), Consulté 2 janvier 2024.

Attaullah, Muhammad Kashif Zahoor, Muhammad Asif Zahoor, Muhammad Samee Mubarik, Hina Rizvi, Humara Naz Majeed, Muhammad Zulhussnain, Kanwal Ranian, Kishwar Sultana, Muhammad Imran, et Samina Qamer. 2020. « Insecticidal, Biological and Biochemical Response of Musca Domestica (Diptera: Muscidae) to Some Indigenous Weed Plant Extracts ». *Saudi Journal of Biological Sciences* 27(1):106-16. doi: 10.1016/j.sjbs.2019.05.009.

Bachheti, Rakesh. 2015. « Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from the leaves of Eucalyptus Globulus collected from Haramaya University, Ethiopia ». *Der Pharma Chemica* 7:209-14.

Bachir, Raho G., et M. Benali. 2012. « Antibacterial Activity of the Essential Oils from the Leaves of Eucalyptus Globulus against Escherichia Coli and Staphylococcus Aureus ». *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 2(9):739-42. doi: 10.1016/S2221-1691(12)60220-2.

Balaraman, Velmurugan, Barbara S. Drolet, Dana N. Mitzel, William C. Wilson, Jeana Owens, Natasha N. Gaudreault, David A. Meekins, Dashzeveg Bold, Jessie D. Trujillo, Leela E. Noronha, Juergen A. Richt, et Dana Nayduch. 2021. « Mechanical Transmission of SARS-CoV-2 by House Flies ». *Parasites & Vectors* 14(1):214. doi: 10.1186/s13071-021-04703-8.

Bertelloni, Fabrizio, Flavio Bresciani, Giulia Cagnoli, Bruno Scotti, Luca Lazzerini, Marco Marcucci, Giuseppe Colombani, Stefano Bilei, Teresa Bossù, Maria Laura De Marchis, et Valentina Virginia Ebani. 2023. « House Flies (Musca Domestica) from Swine and Poultry Farms Carrying Antimicrobial Resistant Enterobacteriaceae and Salmonella ». *Veterinary Sciences* 10(2):118. doi: 10.3390/vetsci10020118.

Bett, Philip K., Arop L. Deng, Joshua O. Ogendo, Samuel T. Kariuki, Maud Kamatenesi-Mugisha, Joel M. Mihale, et Baldwyn Torto. 2016a. « Chemical composition of Cupressus lusitanica and Eucalyptus saligna leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains ». *Industrial Crops and Products* 82:51-62. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.12.009.

Bett, Philip K., Arop L. Deng, Joshua O. Ogendo, Samuel T. Kariuki, Maud Kamatenesi-Mugisha, Joel M. Mihale, et Baldwyn Torto. 2016b. « Chemical composition of Cupressus lusitanica and Eucalyptus saligna leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains ». *Industrial Crops and Products* 82:51-62. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.12.009.

Bourée, Patrice, et Paula Resende. 2001. « Rôle pathogène des mouches ». *Revue Française des Laboratoires* 2001(338):65-71. doi: 10.1016/S0338-9898(01)80353-X.

Cabrera, Aurora, Alexander Foo, Jill Glesner, Sayeh Agah, Lisa Vailes, Sabina Wuenschmann, Thomas Randall, Anna Pomes, Michael Fitzgerald, et Geoffrey Mueller. 2021. « Stability of Cockroach Allergens Versus Non-Allergens ». *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 147(2):AB82. doi: 10.1016/j.jaci.2020.12.316.

Chauhan, Nitin, Anushree Malik, et Satyawati Sharma. 2018. « Repellency Potential of Essential Oils against Housefly, Musca Domestica L ». *Environmental Science and Pollution Research International* 25(5):4707-14. doi: 10.1007/s11356-017-0363-x.

Chavasse, D. C., U. Blumenthal, et P. Kolsky. 1994. « Fly Control in Prevention of Diarrhoeal Disease ». *The Lancet* 344(8931):1231. doi: 10.1016/S0140-6736(94)90547-9.

Chintalchere, Jyoti M., Mudasir A. Dar, et Radhakrishna S. Pandit. 2020. « Biocontrol Efficacy of Bay Essential Oil against Housefly, Musca Domestica (Diptera: Muscidae) ». *The Journal of Basic and Applied Zoology* 81(1):6. doi: 10.1186/s41936-020-0138-7.

Chintalchere, Jyoti M., Mudasir A. Dar, Kishor D. Raut, et Radhakrishna S. Pandit. 2021. « Bioefficacy of Lemongrass and Tea Tree Essential Oils Against House Fly, Musca Domestica ». *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 91(2):307-18. doi: 10.1007/s40011-020-01220-z.

Cohen, D., M. Green, C. Block, R. Slepon, R. Ambar, S. S. Wasserman, et M. M. Levine. 1991. « Reduction of Transmission of Shigellosis by Control of Houseflies (Musca Domestica) ». *Lancet (London, England)* 337(8748):993-97. doi: 10.1016/0140-6736(91)92657-n.

Corbel, Vincent, Mara D. Kont, Martha Liliana Ahumada, Laura Andréo, Bazoma Bayili, Koama Bayili, Basil Brooke, Jesús A. Pinto Caballero, Ben Lambert, Thomas S. Churcher, Stephane Duchon, Josiane Etang, Adriana E. Flores, Kasinathan

Gunasekaran, Waraporn Juntarajumnong, Matt Kirby, Rachel Davies, Rosemary Susan Lees, Audrey Lenhart, José Bento Pereira Lima, Ademir J. Martins, Pie Müller, Raphael N'Guessan, Corine Ngufor, Giorgio Praulins, Martha Quinones, Kamaraju Raghavendra, Vaishali Verma, Adanan Che Rus, Michael Samuel, Koou Sin Ying, Sungsit Sungvornyothin, Sreehari Uragayala, Raman Velayudhan, et Rajpal S. Yadav. 2023. « A New WHO Bottle Bioassay Method to Assess the Susceptibility of Mosquito Vectors to Public Health Insecticides: Results from a WHO-Coordinated Multi-Centre Study ». *Parasites & Vectors* 16(1):21. doi: 10.1186/s13071-022-05554-7.

Dahlem, Gregory A. 2009. « Chapter 125 - House Fly: (Musca domestica) ». P. 469-70 in *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*, édité par V. H. Resh et R. T. Cardé. San Diego: Academic Press.

Danna, Cristina, Paola Malaspina, Laura Cornara, Antonella Smeriglio, Domenico Trombetta, Vincenzo De Feo, et Stefano Vanin. 2024. « Eucalyptus essential oils in pest control: a review of chemical composition and applications against insects and mites ». *Crop Protection* 176:106319. doi: 10.1016/j.cropro.2023.106319.

Doggett, Stephen L., Dominic E. Dwyer, Pablo F. Peñas, et Richard C. Russell. 2012. « Bed Bugs: Clinical Relevance and Control Options ». *Clinical Microbiology Reviews* 25(1):164-92. doi: 10.1128/CMR.05015-11.

Falsone, Luigi, Vito Colella, Ettore Napoli, Emanuele Brianti, et Domenico Otranto. 2017. « The Cockroach Periplaneta Americana as a Potential Paratenic Host of the Lungworm Aelurostrongylus Abstrusus ». *Experimental Parasitology* 182:54-57. doi: 10.1016/j.exppara.2017.09.023.

Farag, Tamer H., Abu S. Faruque, Yukun Wu, Sumon K. Das, Anowar Hossain, Shahnawaz Ahmed, Dilruba Ahmed, Dilruba Nasrin, Karen L. Kotloff, Sandra Panchilangam, James P. Nataro, Dani Cohen, William C. Blackwelder, et Myron M. Levine. 2013. « Housefly Population Density Correlates with Shigellosis among Children in Mirzapur, Bangladesh: A Time Series Analysis ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7(6):e2280. doi: 10.1371/journal.pntd.0002280.

Fennell, C. W., K. L. Lindsey, L. J. McGaw, S. G. Sparg, G. I. Stafford, E. E. Elgorashi, O. M. Grace, et J. van Staden. 2004. « Assessing African Medicinal Plants for Efficacy and Safety: Pharmacological Screening and Toxicology ». *Journal of Ethnopharmacology* 94(2-3):205-17. doi: 10.1016/j.jep.2004.05.012.

Foil, Lane D., et J. Richard Gorham. 2000. « Mechanical Transmission of Disease Agents by Arthropods ». P. 461-514 in *Medical Entomology: A Textbook on Public Health and Veterinary Problems Caused by Arthropods*, édité par B. F. Eldridge et J. D. Edman. Dordrecht: Springer Netherlands.

Freeman, Jamie C., Douglas H. Ross, et Jeffrey G. Scott. 2019. « Insecticide Resistance Monitoring of House Fly Populations from the United States ». *Pesticide Biochemistry and Physiology* 158:61-68. doi: 10.1016/j.pestbp.2019.04.006.

Geden, C. J., D. Nayduch, J. G. Scott, E. R. Burgess, A. C. Gerry, P. E. Kaufman, J. Thomson, V. Pickens, et E. T. Machtinger. 2021. « House Fly (Diptera: Muscidae):

Biology, Pest Status, Current Management Prospects, and Research Needs » édité par D. Carley. *Journal of Integrated Pest Management* 12(1):39. doi: 10.1093/jipm/pmaa021.

Gerry, Alec C. 2020. « Review of Methods to Monitor House Fly (Musca Domestica) Abundance and Activity ». *Journal of Economic Entomology* 113(6):2571-80. doi: 10.1093/jee/toaa229.

Goddard, Jerome, et Richard deShazo. 2009. « Bed Bugs (Cimex Lectularius) and Clinical Consequences of Their Bites ». *JAMA* 301(13):1358-66. doi: 10.1001/jama.2009.405.

Guo, Li, Hui Yao, Weikai Chen, Xumei Wang, Peng Ye, Zhichao Xu, Sisheng Zhang, et Hong Wu. 2022. « Natural Products of Medicinal Plants: Biosynthesis and Bioengineering in Post-Genomic Era ». *Horticulture Research* 9:uhac223. doi: 10.1093/hr/uhac223.

Hassan, A. O., P. O. Uyigue, A. C. Akinleye, et O. B. Oyeromi. 2021. « The Role of Common Housefly as a Mechanical Vector of Pathogenic Microorganisms ». *Achievers Journal of Scientific Research* 3(1):261-69.

Havyarimana, Célestin, Jacques Nkengurutse, Jérémie Ngezahayo, Aida Cuni-Sanchez, et Tatien Masharabu. 2023. « Antimalarial and mosquito repellent plants: insights from Burundi ». *Ethnobotany Research and Applications* 25. doi: 10.32859/era.25.31.1-28.

Hazarika, Hemanga, Varun Tyagi, Harshita Krishnatreyya, Johirul Islam, Dipankar Boruah, Sumit Kishor, Pronobesh Chattopadhyay, et Kamaruz Zaman. 2020. « Essential oil based controlled-release non-toxic evaporating tablet provides effective repellency against Musca domestica ». *Acta Tropica* 210:105620. doi: 10.1016/j.actatropica.2020.105620.

Hinkle, Nancy C., et Jerome A. Hogsette. 2021. « A Review of Alternative Controls for House Flies ». *Insects* 12(11):1042. doi: 10.3390/insects12111042.

Hunter-Adams, Jo, Blaise Nguendo Yongsi, Kafui Dzasi, Susan Parnell, Jo Ivey Boufford, Edgar Pieterse, et Tolu Oni. 2017. « How to Address Non-Communicable Diseases in Urban Africa ». *The Lancet Diabetes & Endocrinology* 5(12):932-34. doi: 10.1016/S2213-8587(17)30220-6.

Inci, Abdullah, Engin Kilic, et Ramazan Canhilal. 2014. « Entomopathogens in control of urban pests ». *Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi* 61:155-60. doi: 10.1501/Vetfak_0000002622.

Issa, Ragaa. 2019. « Musca Domestica Acts as Transport Vector Hosts ». *Bulletin of the National Research Centre* 43(1):73. doi: 10.1186/s42269-019-0111-0.

Jenkins, Victoria A., Guenter Silbernagl, Lorraine R. Baer, et Bernard Hoet. 2022. « The Epidemiology of Infectious Diseases in Europe in 2020 versus 2017-2019 and the Rise of Tick-Borne Encephalitis (1995-2020) ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 13(5):101972. doi: 10.1016/j.ttbdis.2022.101972.

Kamal, Rania M., Manal M. Sabry, Ali M. El-Halawany, Mostafa A. Rabie, Nesrine S. El Sayed, Mohamed S. Hifnawy, et Inas Y. Younis. 2024. « GC-MS Analysis and the Effect of Topical Application of Essential Oils of Pinus Canariensis C.Sm., Cupressus Lusitanica Mill. and Cupressus Arizonica Greene Aerial Parts in Imiquimod-Induced Psoriasis in Mice ». *Journal of Ethnopharmacology* 318(Pt B):116947. doi: 10.1016/j.jep.2023.116947.

Karungamye, Petro. 2023. « Counterfeit and substandard drugs in Tanzania: A review ». *Forensic Science International: Reports* 7:100302. doi: 10.1016/j.fsir.2022.100302.

Kassiri, Hamid, Ali Kassiri, et Shahnaz Kazemi. 2014. « Investigation on American cockroaches medically important bacteria in Khorramshahr hospital, Iran ». *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 4(3):201-3. doi: 10.1016/S2222-1808(14)60505-3.

Kavi, Lucy A. K., Phillip E. Kaufman, et Jeffrey G. Scott. 2014. « Genetics and mechanisms of imidacloprid resistance in house flies ». *Pesticide Biochemistry and Physiology* 109:64-69. doi: 10.1016/j.pestbp.2014.01.006.

Khamesipour, Faham, Kamran Bagheri Lankarani, Behnam Honarvar, et Tebit Emmanuel Kwenti. 2018. « A systematic review of human pathogens carried by the housefly (Musca domestica L.) ». *BMC Public Health* 18:1049. doi: 10.1186/s12889-018-5934-3.

Khan, Hafiz Azhar Ali. 2021. « Toxicity, Repellent and Oviposition Deterrent Effects of Select Essential Oils against the House Fly Musca Domestica ». *Journal of Asia-Pacific Entomology* 24(1):15-20. doi: 10.1016/j.aspen.2020.10.002.

Khan, Hafiz Azhar Ali, et Waseem Akram. 2017. « Cyromazine resistance in a field strain of house flies, Musca domestica L.: Resistance risk assessment and bio-chemical mechanism ». *Chemosphere* 167:308-13. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.018.

Khater, Hanem F., et Christopher J. Geden. 2019. « Efficacy and Repellency of Some Essential Oils and Their Blends against Larval and Adult House Flies, *Musca Domestica* L. (Diptera: Muscidae) ». *Journal of Vector Ecology* 44(2):256-63. doi: 10.1111/jvec.12357.

Labbafi, Mohammad, Maryam Ahvazi, Farahnaz Khalighi-Sigaroodi, Hamideh Khalaj, Soolmaz Ahmadian, Fateme Tajabadi, Mousa Khani, et Shahla Amini. 2021. « Essential oil bioactivity evaluation of the different populations of Cupressus against adult rice weevil (Sitophilus oryzae L.) ». *Journal of Medicinal Plants* 20:79-92. doi: 10.52547/jmp.20.77.79.

Lai, Olivia, Derek Ho, Sharon Glick, et Jared Jagdeo. 2016. « Bed Bugs and Possible Transmission of Human Pathogens: A Systematic Review ». *Archives of Dermatological Research* 308(8):531-38. doi: 10.1007/s00403-016-1661-8.

Levchenko, Mikhail A., Elena A. Silivanova, Pavel E. Khodakov, et Saber Gholizadeh. 2021. « Insecticidal Efficacy of Some Essential Oils against Adults of Musca Domestica L. (Diptera: Muscidae) ». *International Journal of Tropical Insect Science* 41(4):2669-77. doi: 10.1007/s42690-021-00448-0.

Lietze, Verena-Ulrike, James E. Keesling, Jo Ann Lee, Celeste R. Vallejo, Christopher J. Geden, et Drion G. Boucias. 2013. « Muscavirus (MdSGHV) disease dynamics in house fly populations – How is this virus transmitted and has it potential as a biological control agent? » *Journal of Invertebrate Pathology* 112:S40-43. doi: 10.1016/j.jip.2012.07.017.

Mannai, Yaussra, Olfa Ezzine, Samir Dhahri, Mohamed Jama, et Lamia Hamrouni. 2021. « Insecticidal activity of essential oils of Cupressus arizonica greene and C. sempervirens L. on Tortrix viridana (Lepidotera, Tortricidae) ». *World Journal of Biology and Biotechnology* 6:1. doi: 10.33865/wjb.006.01.0387.

Mathison, Blaine A., et Bobbi S. Pritt. 2021. « Sleeping with the Enemy: Everything You Need to Know about the Biology, Clinical Significance, and Laboratory Identification of Bed Bugs ». *Clinical Microbiology Newsletter* 43(1):1-7. doi: 10.1016/j.clinmicnews.2020.12.004.

Mehlhorn, Heinz. 2016. « Fly-Borne Diseases ». P. 1-2 in *Encyclopedia of Parasitology*, édité par H. Mehlhorn. Berlin, Heidelberg: Springer.

Messina, Jane P., Oliver J. Brady, Nick Golding, Moritz U. G. Kraemer, G. R. William Wint, Sarah E. Ray, David M. Pigott, Freya M. Shearer, Kimberly Johnson, Lucas Earl, Laurie B. Marczak, Shreya Shirude, Nicole Davis Weaver, Marius Gilbert, Raman Velayudhan, Peter Jones, Thomas Jaenisch, Thomas W. Scott, Robert C. Reiner, et Simon I. Hay. 2019. « The Current and Future Global Distribution and Population at Risk of Dengue ». *Nature Microbiology* 4(9):1508-15. doi: 10.1038/s41564-019-0476-8.

Monyama, Maropeng C., Emmanuel T. Onyiche, Moeti O. Taioe, Jane S. Nkhebenyane, et Oriel M. M. Thekisoe. 2022. « Bacterial Pathogens Identified from Houseflies in Different Human and Animal Settings: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Veterinary Medicine and Science* 8(2):827-44. doi: 10.1002/vms3.496.

Moshi, Mainen Julius, et Paulo Peter Mhame. 2013. « 23 - Legislation on Medicinal Plants in Africa ». P. 843-58 in *Medicinal Plant Research in Africa*, édité par V. Kuete. Oxford: Elsevier.

Munoz-Price, L. Silvia, Nasia Safdar, John C. Beier, et Stephen L. Doggett. 2012. « Bed Bugs in Healthcare Settings ». *Infection Control and Hospital Epidemiology* 33(11):1137-42. doi: 10.1086/668029.

Muthaura, C. N., J. M. Keriko, S. Derese, A. Yenesew, et G. M. Rukunga. 2011. « Investigation of Some Medicinal Plants Traditionally Used for Treatment of Malaria in Kenya as Potential Sources of Antimalarial Drugs ». *Experimental Parasitology* 127(3):609-26. doi: 10.1016/j.exppara.2010.11.004.

Neupane, Saraswoti, Dana Nayduch, et Ludek Zurek. 2019. « House Flies (Musca Domestica) Pose a Risk of Carriage and Transmission of Bacterial Pathogens Associated with Bovine Respiratory Disease (BRD) ». *Insects* 10(10):358. doi: 10.3390/insects10100358.

Nteziyaremye, Papias, Jackson Cherutoi, Jacqueline Makatiani, et Théoneste Muhizi. 2023. « Insecticidal Potential of Essential Oils from Cupressus Lusitanica Growing in

Ecological Zones of Rwanda against Adult Housefly, Musca Domestica L ». *International Journal of Tropical Insect Science* 43(3):895-907. doi: 10.1007/s42690-023-00972-1.

Okoro, Onyekwere Joseph, Gideon Gywa Deme, Charles Obinwanne Okoye, Sabina Chioma Eze, Elijah Chibueze Odii, Janet Temitope Gbadegesin, Emmanuel Sunday Okeke, Greater Kayode Oyejobi, Raphael Nyaruaba, et Chike Chukwuenyem Ebido. 2023. « Understanding Key Vectors and Vector-Borne Diseases Associated with Freshwater Ecosystem across Africa: Implications for Public Health ». *The Science of the Total Environment* 862:160732. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160732.

Olagunju, Emmanuel. 2022. « Housefly: Common Zoonotic Diseases Transmitted and Control ». *Journal of Zoonotic Diseases* (Online First). doi: 10.22034/jzd.2022.14378.

Otu-Bassey, Iquo Bassey, Glory Kingsley Efretuei, et Maurice Mbah. 2022. « Gut Parasites of Medical Importance Harboured by Musca Domestica in Calabar, Nigeria ». *Tropical Parasitology* 12(2):99-104. doi: 10.4103/tp.tp_51_21.

Park, Rahel, Maria C. Dzialo, Stijn Spaepen, Donat Nsabimana, Kim Gielens, Herman Devriese, Sam Crauwels, Raul Y. Tito, Jeroen Raes, Bart Lievens, et Kevin J. Verstrepen. 2019. « Microbial communities of the house fly Musca domestica vary with geographical location and habitat ». *Microbiome* 7(1):147. doi: 10.1186/s40168-019-0748-9.

Pava-Ripoll, Monica, Rachel E. Goeriz Pearson, Amy K. Miller, et George C. Ziobro. 2012. « Prevalence and Relative Risk of Cronobacter Spp., Salmonella Spp., and Listeria Monocytogenes Associated with the Body Surfaces and Guts of Individual Filth Flies ». *Applied and Environmental Microbiology* 78(22):7891. doi: 10.1128/AEM.02195-12.

Phayakkaphon, Anon, Preeyanate Dathong, Napasorn Ransibrahmanakul, Nontapat Sarovath, Yudthana Samung, et Aurapa Sakulpanich. 2021. « Oral Toxicity of Various Stemona Collinsiae Crude Extracts against Nymph and Adult Stages of American Cockroach, Periplaneta Americana (Dictyoptera: Blattodea) ». *Heliyon* 7(9):e07970. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07970.

Puyhardy, Jean, et Anne-Marie Bourre-Puyhardy. 2017. « Les maladies infectieuses à transmission vectorielle ». *L'Aide-Soignante* 31(186):12-13. doi: 10.1016/j.aidsoi.2017.02.002.

Qadir, Sami Ullah, et Vaseem Raja. 2021. « Chapter 5 - Herbal medicine: Old practice and modern perspectives ». P. 149-80 in *Phytomedicine*, édité par R. A. Bhat, K. R. Hakeem, et M. A. Dervash. Academic Press.

Rashidi, Majid, Elham Jahanifard, Aboozar Soltani, et Mona Sharififar. 2023. « Evaluating the Lethal Toxicity of Eucalyptus and Yarrow Essential Oils against the House Fly (Musca domestica L.) under Laboratory Conditions ». □□ □□□□□ □□□□□□□□ 9 □□□□□.

Rossi, Yanina Estefanía, et Sara María Palacios. 2015. « Insecticidal toxicity of Eucalyptus cinerea essential oil and 1,8-cineole against Musca domestica and possible uses

according to the metabolic response of flies ». *Industrial Crops and Products* 63:133-37. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.019.

Rupasinghe, Ruwini, Bruno B. Chomel, et Beatriz Martínez-López. 2022. « Climate change and zoonoses: A review of the current status, knowledge gaps, and future trends ». *Acta Tropica* 226:106225. doi: 10.1016/j.actatropica.2021.106225.

Scott, Jeffrey G., Wesley C. Warren, Leo W. Beukeboom, Daniel Bopp, Andrew G. Clark, Sarah D. Giers, Monika Hediger, Andrew K. Jones, Shinji Kasai, Cheryl A. Leichter, Ming Li, Richard P. Meisel, Patrick Minx, Terence D. Murphy, David R. Nelson, William R. Reid, Frank D. Rinkevich, Hugh M. Robertson, Timothy B. Sackton, David B. Sattelle, Francoise Thibaud-Nissen, Chad Tomlinson, Louis van de Zande, Kimberly K. O. Walden, Richard K. Wilson, et Nannan Liu. 2014. « Genome of the House Fly, Musca Domestica L., a Global Vector of Diseases with Adaptations to a Septic Environment ». *Genome Biology* 15(10):466. doi: 10.1186/s13059-014-0466-3.

Scott, Jeffrey, Cheryl Leichter, Frank Rinkevich, Sarah Harris, Cathy Su, Lauren Aberegg, Roger Moon, Christopher Geden, Alec Gerry, David Taylor, Ronnie Byford, Wes Watson, Gregory Johnson, David Boxler, et Ludek Zurek. 2013. « Corrigendum to "Insecticide resistance in house flies from the United States: Resistance levels and frequency of pyrethroid resistance alleles" [Pestic. Biochem. Physiol. 107 (2013) 377–384] ». *Pesticide Biochemistry and Physiology* 108. doi: 10.1016/j.pestbp.2013.12.001.

Shaw, W. Robert, et Flaminia Catteruccia. 2019. « Vector Biology Meets Disease Control: Using Basic Research to Fight Vector-Borne Diseases ». *Nature Microbiology* 4(1):20-34. doi: 10.1038/s41564-018-0214-7.

Sheele, Johnathan M., Bobbi S. Pritt, Claudia R. Libertin, et Ewa M. Wysokinska. 2021. « Bed Bugs Are Associated with Anemia ». *The American Journal of Emergency Medicine* 46:482-88. doi: 10.1016/j.ajem.2020.10.070.

Sinthusiri, Jirisuda, et Mayura Soonwera. 2013. « Efficacy of Herbal Essential Oils as Insecticides against the Housefly, Musca Domestica L ». *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health* 44(2):188-96.

Soonwera, Mayura, et Sirawut Sittichok. 2020. « Adulticidal Activities of Cymbopogon Citratus (Stapf.) and Eucalyptus Globulus (Labill.) Essential Oils and of Their Synergistic Combinations against Aedes Aegypti (L.), Aedes Albopictus (Skuse), and Musca Domestica (L.) ». *Environmental Science and Pollution Research International* 27(16):20201-14. doi: 10.1007/s11356-020-08529-2.

Srisuwatchari, W., P. Kwanthong, C. Bunnag, P. Pacharn, O. Jirapongsananuruk, et N. Visitsunthorn. 2020. « Association between Skin Prick Test and Serum Specific Immunoglobulin E to American Cockroach Allergens in Allergic Rhinitis Patients ». *Allergologia Et Immunopathologia* 48(2):170-74. doi: 10.1016/j.aller.2019.07.007.

Susser, Stephanie Rebecca, Stéphane Perron, Michel Fournier, Louis Jacques, Geoffroy Denis, François Tessier, et Pasquale Roberge. 2012. « Mental Health Effects from

Urban Bed Bug Infestation (Cimex Lectularius L.): A Cross-Sectional Study ». *BMJ Open* 2(5):e000838. doi: 10.1136/bmjopen-2012-000838.

Tavares, Cláudia S., Alice Martins, M. Leonor Faleiro, M. Graça Miguel, Luís C. Duarte, José A. Gameiro, Luísa B. Roseiro, et A. Cristina Figueiredo. 2020. « Bioproducts from forest biomass: Essential oils and hydrolates from wastes of Cupressus lusitanica Mill. and Cistus ladanifer L. » *Industrial Crops and Products* 144:112034. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.112034.

Teke, Gerald Ngo, Kemadjou Nana Elisée, et Kuiate Jules Roger. 2013. « Chemical Composition, Antimicrobial Properties and Toxicity Evaluation of the Essential Oil of Cupressus Lusitanica Mill. Leaves from Cameroon ». *BMC Complementary and Alternative Medicine* 13:130. doi: 10.1186/1472-6882-13-130.

Thomas, G., et J. B. Jespersen. 1994. « Non-Biting Muscidae and Control Methods ». *Revue Scientifique Et Technique (International Office of Epizootics)* 13(4):1159-73. doi: 10.20506/rst.13.4.820.

Thomson, Madeleine C., et Lawrence R. Stanberry. 2022. « Climate Change and Vectorborne Diseases ». *New England Journal of Medicine* 387(21):1969-78. doi: 10.1056/NEJMra2200092.

Turek, Claudia, et Florian C. Stintzing. 2012. « Impact of different storage conditions on the quality of selected essential oils ». *Food Research International* 46(1):341-53. doi: 10.1016/j.foodres.2011.12.028.

WHO. 2019. « Integrating Traditional Medicine into National Health Systems ». Consulté 3 janvier 2024 (https://www.who.int/westernpacific/activities/integrating-traditional-medicine-into-national-health-systems).

Zibaee, Idin, et Pooya Bahari Khorram. 2015. « Synergistic effect of some essential oils on toxicity and knockdown effects , against mosquitos , cockroaches and housefly ». *ARTHROPODS* 4:107.