



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologique et des Sciences Agronomiques

Département de Biologie



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Science Biologique

Spécialité : Biologie des Population et des Organismes

Evaluation de l'action bio-insecticide d'une plante médicinale
Adhatoda vasica (L.) contre la mouche méditerranéenne des
fruits *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera, Tephritidae)

Présenté par :

- BERRIANI Fatma
- TOZOUIRT Maissa
- DALOU Radia

Soutenu le 24 devant le jury d'examen composé de :

Président(e) : Mme Talbi-Khammes Nassima (MAA)

UMMTO

Promotrice : Dr. KAIDI Narimen. (Maître de recherche B.)

INRAA

Co-promotrice : Pr. BRAHMI Karima (Professeur)

UMMTO

Examineurs (trices) : Mme Djioua Ouiza (MAA)

UMMTO

Année universitaire 2024-2025

Remerciements

Au terme de ce travail, on souhaite adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous a apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent, tout particulièrement, à notre promotrice **Dr. Kaidi Narimen** Maître de Recherche au sein de la Division de Recherche en Protection des Cultures de l'**institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA)**, pour nous avoir suivies et conseiller tout au long de la réalisation de ce mémoire, je remercie également **Mlle Chettir Salima** pour son guide et son aide durant nos recherches, et notre Co-promotrice **Professeur Brahemi Karima**.

Nous tenons à remercier, **Mme Talbi Nassima** et **Mme Djioua Ouiza** pour le grand honneur qu'elles nous ont fait d'avoir présent et faire partie de nos jurys

Nous tenons également à remercier **Dr. OUKIL, Salah**, Directeur la Division de Recherche en Protection des Cultures de l'INRAA, de nous avoir accepté comme stagiaires, au sein de sa division de recherche et d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour la réalisation de ce travail.

En fin, nous exprimons, vivement, nos remerciements avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation, car un projet ne peut être un fruit d'une seule personne.

Dédicaces

Je dédie ce travail à...

Mes très chers parents qui m'ont toujours poussé et motivé dans tout mon parcours scolaire jusqu'à la fin, sans leurs sacrifices et leurs soutien je n'aurais jamais pensé d'arrivé à ce spécial jour, que dieu vous protègent et vous garde à mes côtés.

Je dédie ce travail spécialement à ma cher grande mère qui nous a quitté, c'est elle qui m'a offris le bonheur et qui a été ma deuxième maman, paix à ton âme

C'est un moment de plaisir pour remercier mes chers sœurs Sandra, Dalia, et Louiz. Sans oublier mes grands-parents et mes oncles surtout Nacer, Khaled, Khelifa et sa femme, et ma tante Lydia ainsi que ces filles

Ma cher amie : Dyhia merci d'être toujours à mes coté

Mes chers collègue Radia et Romaissa merci d'avoir partagé ces moment inoubliable avec moi

Tous ceux et celles ayant participé à la réalisation de ce modeste travail.

Fatma

Pour ma part je dédie ce travail à

Mes parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur confiance, ainsi qu'à mes trois frères et ma sœur, pour leur soutien, leur patience et leur encouragement tout au long de mon parcours.

Je remercie également ma grande famille, mes grands-parents, mes oncles, mes tantes et mes cousins pour leur affection, leurs prières et leur appui indéfectible

Enfin, une pensée chaleureuse pour mes amis qui m'ont entourée de leurs soutien et ont su rendre ce chemin plus agréable par leur présence et leurs mots réconfortants

A toutes ces personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce mémoire, j'exprime ma gratitude la plus sincère

Radia

Pour ma part, je veux surtout dédie ce travail à...

Mes parents mes sœurs, mes tantes et mes oncles qui m'ont soutenu durant toute cette période de travail et dans les moments difficiles

Merci pour tout votre encouragement

Maissa

Liste des tableaux

Tableau 1: Date d'apparition et de répartition de <i>ceratitis capitata</i> dans le monde	5
Tableau 2: Différents moyens de contrôle de <i>C.capitata</i>	18
Tableau 3: les différentes étapes du screening phytochimique utilisées pour <i>Adhatoda vasica</i>	30
Tableau 4: Résultat du screening phytochimique des feuilles d' <i>Adhatoda vasica</i>	37
Tableau 5: Pourcentage de mortalité corrigée des adultes de <i>C.capitata</i> témoins et traités par l'extrait aqueux d' <i>Adhatoda vasica</i>	38
Tableau 6: Analyse de la variance des mortalités des adultes de <i>C.capitata</i> traités par l'extrait aqueux (par ingestion) d' <i>A.vasica</i>	40
Tableau 7: Pourcentages d'émergence des pupes de <i>C.capitata</i> témoins et traitées par l'extrait aqueux d' <i>A.vasica</i>	41
Tableau 8: Nombre d'Hémocytes et des différentes catégories identifiées dans 3 μ l de l'hémolymphe des adultes témoins de <i>C.capitata</i> et traités par <i>A.vasica</i>	44
Tableau 9: Analyse de la variance de l'hémogramme des adultes de <i>C.capitata</i> traités par l'extrait aqueux d' <i>A.vasica</i>	45

Listes des figures

Figure 1: Distribution géographique de la cératite(OEPP, 2025).....	6
Figure 2: Répartition géographique potentielle de <i>Ceratitis capitata</i> dans divers scénarios climatiques (Rao et al., 2024).....	7
Figure 3: Oeuf de <i>C.capitata</i> (KHimoud et Louni, 2008).....	8
Figure 4: Larves de <i>C.capitata</i> sur poirier (Daniel, 2008).....	9
Figure 5: Les pupes de <i>Ceratitis capitata</i> dans le sol.....	9
Figure 6: Adultes de la cératite (a1 et a2 : femelle ; b1 et b2 : mâle).....	10
Figure 7: Cycle de développement de <i>C.capitata</i> (Khimoud et Louni, 2008).....	11
Figure 8: Shéma représentant le nombre de générations possibles en Algérie.....	13
Figure 9: c Piqûres de la cératite sur l'orange (Photographie originale).....	16
Figure 10: <i>Adhatoda vasica</i> (L., 1753).....	20
Figure 11: Division de recherche en Protection des cultures.....	24
Figure 12: La mouche méditerranéenne des fruits <i>Ceratitis capitata</i>	25
Figure 13: Feuilles fraîches d' <i>Adhatoda vasica</i> (Photographie originale).....	25
Figure 14: Orangers, abricotiers et nectariniers attaqués par la cératite.....	26
Figure 15: Elevage de masse de la cératite.....	28
Figure 16: Etapes d'extraction d'extrait aqueux d' <i>Adhatoda vasica</i>	29
Figure 17: Traitement des adultes de <i>C. capitata</i> avec l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i>	32
Figure 18: Traitement des pupes de <i>C.capitata</i> avec l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i>	33
Figure 19: Les différentes étapes de réalisation du frottis hémolympatique des adultes de <i>Ceratitis capitata</i> (Photographies originales).....	35
Figure 20: Pourcentages de mortalités des adultes de <i>Ceratitis capitata</i> traités par l'extrait aqueux d' <i>Adhatoda vasica</i>	39
Figure 21: Efficacité de l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i> contre les adultes de <i>C. capitata</i>	40
Figure 22: Taux d'émergence des pupes de <i>C. capitata</i> témoins et traitées par l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i>	41
Figure 23: Observation microscopique des différentes hémocytes identifiées dans l'hémolymphe des témoins de <i>C. capitata</i> (Photographie originale, Gr. x 40 et Gr. x 100) ...	42
Figure 24: Les différentes altérations structurales des hémocytes observées chez les adultes de <i>C. capitata</i> traités par l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i>	43
Figure 25: Nombre d'Hémocytes et des différentes catégories identifiées dans 3 µl de l'hémolymphe des adultes témoins et traités de <i>C. capitata</i> par <i>A. vasica</i>	44

Sommaire

Remerciement	I
Dédicaces	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures	IV
Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique.....	4
I.1.1. Position systématique	4
I.1.2. Origine et aire de répartition.....	5
I.1.2.1. Origine.....	5
I.1.2.3. Aire de répartition	6
I.1.3. Caractéristiques morphologiques de <i>C. capitata</i>	8
I.1.3.1. L'œuf.....	8
I.1.3.2. La larve.....	8
I.1.3.4. L'adulte	10
I.1.4. Cycle biologique de la cératite	10
I.1.4.1. Ponte et incubation	11
I.1.4.2. Développement larvaire	12
I.1.4.3. La pupaison et l'émergence des adultes	12
I.1.4.4. La maturation	12
I.1.4.5. Nombre de génération	13
I.1.5. Ecologie et facteurs influençant le développement de la cératite	14
I.1.5.1. Facteurs climatiques	14
I.1.5.1.1. La température.....	14
I.1.5.1.2. L'humidité.....	14
I.1.5.1.3. Le vent.....	14
I.1.5.1.4. La lumière	14
I.1.5.2. Facteurs édaphiques	15
I.1.5.3. Facteurs biotiques.....	15
I.1.5.3.1. L'alimentation	15
I.1.5.3.2. L'hôte	15
I.1.5.3.3. Compétition larvaire.....	15
I.1.5.3.4. Ennemis naturels	16
I.1.6. Plantes hôtes et dégâts de la cératite.....	16
I.1.7. Importance économique de la cératite	17

1.1.8. Moyens de lutte contre la cératite	18
I 2. Données bibliographiques sur <i>Adhatoda vasica</i> (<i>Justicia adhatoda</i> , Noix de Malabar)19	
I.2.1. Origine et dénomination	19
I.2.2. Position systématique d' <i>Adhatoda vasica</i>	20
I.2.3. Description botanique.....	20
I.2.4. La composition chimique	21
I.2.5. Utilisation d' <i>Adhatoda vasica</i>	21
I.2.6. Activités biologiques et thérapeutiques d' <i>Adhatoda vasica</i>	22
I.2.6.1. Activité antioxydante.....	22
I.2.6.2. Activité antimicrobienne	22
I.2.6.3. Activité bronchodilatatrice	22
I.2.6.4. Activités antiallergiques et antiasthmatiques.....	22
I.2.6.5. Activité anti-inflammatoire	22
Chapitre II : Méthodologie de travail	23
II.1. Problématique et objectif	23
II.2. Protocole expérimental.....	24
II.2.1. Matériel biologique	25
II.2.1.1. Matériel animal	25
II.2.1.2. Matériel végétal	25
II.2.2. Echantillonnage des fruits attaqués par la cératite	26
II.2.3. Technique d'élevage de la cératite au laboratoire.....	27
II.2.4. Préparation de l'extrait aqueux d' <i>Adhatoda vasica</i>	29
II.2.5. Screening phytochimique d' <i>Adhatoda vasica</i>	30
II.2.6. Méthode de traitement.....	32
II.2.7. Paramètres étudiés.....	33
II.2.7.1. Etude de l'effet de l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i> sur la mortalité de <i>C. capitata</i>	33
II.2.7.2. Etude de l'effet de l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i> sur la l'hémolymphe des adultes de <i>C. capitata</i>	34
II.2.8. Exploitation des résultats	36
II.2.8.1. Détermination de la (TL50)	36
II.2.8.2. Analyse statistique	36
Chapitre III : Résultats obtenus	37
III.1. Screening phytochimique d' <i>Adhatoda vasica</i>	37
III.2. Effet de l'extrait aqueux d' <i>Adhatoda vasica</i> sur la mortalité des adultes de <i>Ceratitis capitata</i>	38
III.2.1. Détermination de la TL50.....	39
III.2.2. Analyse statistique	40
III.3. Effet de l'extrait aqueux d' <i>A. vasica</i> vis-à-vis des pupes de <i>C. capitata</i>	41

III.4. Effet de l'extrait aqueux d' <i>Adhatoda vasica</i> sur l'hémolymphe des adultes de <i>Ceratitis capitata</i>	42
III.4.1. Etude qualitative	42
III.4.2. Etude quantitative	43
II.4.3. Analyse statistique	45
Chapitre IV : Discussion des résultats obtenus.....	46
IV.1. Screening phytochimique d' <i>Adhatoda vasica</i>	46
IV.2. Activité toxique des feuilles d' <i>Adhatoda vasica</i> vis-à-vis des adultes de <i>Ceratitis capitata</i>	47
IV.2.1. Effet sur la mortalité	47
IV.3. Effet sur l'hémolymphe	50
IV.3.1. Etude qualitative	50
IV.3.2. Etude quantitative	52
Conclusion générale.....	54
Références bibliographiques	57

Introduction générale

Les mouches des fruits de la famille des Tephritidae sont parmi les ravageurs les plus importants des cultures fruitières et légumières dans le monde. C'est notamment le cas, en Algérie, où la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* constitue un frein au développement en arboriculture fruitière. Appartenant à la famille des Tephritidae, cette mouche représente une menace majeure pour l'arboriculture en Algérie et elle est considérée comme l'une des plus nuisibles de par le monde sur les fruits en raison de sa large répartition dans le bassin méditerranéen dont elle serait originaire (Leckchiri, 1982 ; Nunez, 1987). Rappelons qu'elle a été signalée pour la première fois en Algérie en 1859 (Bodenheimer, 1951). Ce diptère est très polyphage dont les larves ont été observées sur une large gamme de fruits (Nuez, 1987), s'attaque à plus de 353 espèces cultivées (Liquidó, et *al.*, 1991). Les dommages causés par la cératite sont dus aux piqûres des femelles lors de la ponte ainsi que les galeries creusées par les larves, affectant ainsi la valeur marchande des fruits (Oukil et *al.*, 2002).

Pour faire face à cette situation, le recours à la lutte chimique est le moyen le plus utilisé contre ce ravageur en Algérie et dans le bassin méditerranéen. Toutefois, l'utilisation abusive et non rationnelle des insecticides est la cause d'apparition de problèmes telles que la pollution de l'environnement, la toxicité vers les insectes non cibles (Gerson et Cohen 1989; Michaud 2003; Michaud et Grant 2003), l'augmentation du taux de résidus toxiques dans les fruits commercialisés et l'apparition de résistance chez ce ravageur (Magaña et *al.* 2007).

De ce fait, la recherche d'alternatives efficaces, plus respectueuses de l'environnement et qui répondent aux exigences des marchés, où les normes de traçabilité et de contrôle de qualité sont de plus en plus rigoureuses, s'avère nécessaire. Ainsi, la lutte contre ce diptère est particulièrement complexe grâce à son cycle de vie rapides et sa grande adaptation aux conditions climatique varie, les agriculteurs ont utilisé des contrôles chimiques malgré les conséquences sur les équilibres biologique et sur l'insecte lui-même qui développe des phénomènes de résistances.

En effet ces conséquences amènent à la transition vers une gestion intégrée des ravageurs de cultures évolue vers des méthodes combinant des différentes approches qui diminuent l'usage exclusif des produits chimiques coûteux et polluants ; comme l'utilisation des bio-insecticides dans la lutte biologique ; ces stratégies fondées sur une meilleure compréhension des

écosystèmes et du comportement des ravageurs dans leurs milieux permettent une gestion plus efficace et assurer une production agricole durable et respectueuse de l'environnement.

De plus, une grande attention a été portée à l'utilisation de pesticides verts (Mossa, 2016), devenant une nouvelle tendance dans la lutte contre ces ravageurs en raison de leur sécurité environnementale (Ibrahim et *al.*, 2023). Ces composés ne présentent aucun résidu nocif et présentent un taux de biodégradation élevé dans l'environnement (Dhaliwal, et Koul, 2011), plus qu'ils présentent un large éventail de mode d'action notamment la toxicité, la répulsion, et la régulation du développement des insectes (Kaur, 2017).

Notons que les substances naturelles provenant des plantes qui présentent un large spectre d'action en pharmacologie comme bactéricides, fongicides, acaricides, nématicides, etc., peuvent aussi être utilisées comme insecticides de remplacement. La lutte biologique prend diverses formes, mais celles qui attirent l'attention des chercheurs à l'heure actuelle est la lutte biologique par l'utilisation de substances naturelles d'origines végétales comme insecticides (Boutaleb-Joutei, 2010). L'utilisation des extraits de plantes comme insecticides est connue depuis longtemps, en effet le pyrèthre, la nicotine et la roténone sont déjà connus comme agents de lutte contre les insectes (Crosby, 1966). Dans des travaux encore plus récents, les propriétés insecticides de certaines plantes ont été testées sur les larves d'insectes et ont donné des résultats très prometteurs.

Ainsi, certains travaux récents ont mis en évidence le pouvoir insecticide ou répulsif de certaines plantes, de leurs extraits et dérivés allélochimiques (Regnault-Roger et Hamraoui, 1993 a et b). D'autres travaux de recherche ont concerné le recours à la lutte biologique et biotechnologique contre la cératite, voir l'utilisation d'extrait de plantes contre la mouche méditerranéenne des fruits, nous citons ceux de : Marcio et *al.* (2011), Fahad et *al.* (2012), Djaout (2015), Kara et Tellache (2015), Bachi et Sadoudi (2017), Sadoudi (2018) et Hedjaz (2021).

Parmi ces pesticides naturels, la plante d'*Adhatoda vasica* (*Justicia adhatoda*) membre de la famille Acanthaceae, elle est bien connue dans le système médical ayurvédique et unani (Shamsuddin et *al.*, 2021), mais aussi comme un agent de lutte biologique grâce à cette propriété insecticide contre différentes insectes. Les feuilles de cette plante sont utilisées depuis des temps immémoriaux comme des insecticides (Srivastava et *al.*, 1965).

D'après Tripathi et *al* (2012) l'extrait de cette plante provoque une inhibition d'enzyme l'acétylcholinestérase chez plusieurs insectes ce qui perturbe la transmission nerveuse et provoque leurs morts.

C'est dans cette optique que notre étude a fait la projection sur les méthodes de lutte biologique visant à réduire les populations de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata*, ont utilisant l'extrait aqueux de la plante médicinale *Adhatoda vasica* contre les adultes et les pupes de ce diptère sous des conditions de laboratoire adéquates.

De ce fait, notre travail est présenté sous forme de quatre chapitres, dont le premier concerne quelques données bibliographiques sur une présentation bibliographique sur *Ceratitis capitata* ainsi que sur la plante utilisée *Adhatoda vasica*, suivi d'un deuxième chapitre relatif à la présentation de la méthodologie de travail. Dans le troisième chapitre, sont mentionnés les différents résultats obtenus, suivis de leurs discussions dans le quatrième chapitre et d'une conclusion finale sur notre humble travail de recherche.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata*

La mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann), généralement appelée Medfly en anglais, est l'un des phytoparasites les plus destructifs au monde, qui touche les vergers de fruits (Thomas et *al.*, 2001). Cette espèce porte le nom commun de la mouche méditerranéenne des fruits en raison de sa large répartition dans le bassin méditerranéen dont elle serait originaire (Leckchiri, 1982 ; Nunez, 1987). Elle a été découverte par Wiedemann en 1824 et a été qualifiée comme parasite des agrumes en 1829 (Wiedemann, 1829). Signalée pour la première fois en Algérie, en 1859 (Bodenheimer, 1951) ce diptère a, tout le temps, été associée à l'arboriculture fruitière dans les régions côtières à climat doux (Laamari,2015). La mouche méditerranéenne des fruits est le plus important ravageur des fruits dans le monde entier (Boudjlida et Soltani, 2011).

C. capitata peut infester une grande variété des cultures fruitières commerciales (Liquido et *al.*, 1990). En effet, c'est une espèce très polyphage. Environ 353 espèces cultivées et non cultivées, dénombrées par Liquido et *al.* en 1991, sont menacées par ce ravageur.

I.1.1. Position systématique

Il existe plus de 4000 espèces de mouches à fruits (Diptera : Tephritidae), dont environ 100 espèces sont des ravageurs des fruits cultivés commercialement. L'espèce *Ceratitis capitata* (Wied, 1824) est communément connue sous le nom de Cératite, mouche des fruits ou mouche méditerranéenne des fruits. Elle a porté le nom de *Trypeta capitata* en 1824 par Weidman, *Petalophora capitata* Macepi en 1825, *Trypeta citriperda* Mac leay en 1829; *Trypeta hispanica* de Brème en 1842; puis *Ceratitis flexuosa* walk en 1856; et *Pardalaspis asparagi* Bezzi en 1942. D'après Seguy (1934), Costantino (1950) et Dyck et *al.* (2005), *C. capitata* Wied est positionnée dans la systématique comme suit :

- Règne : Animal
- Phylum : Arthropodes
- Sub-phylum : Hexapodes
- Classe : Insectes
- Sous ordre : Brachycères
- Division : Cyclorraphes

- Groupe : Schizophores
- Famille : Tephritidae
- Genre : *Ceratitis*
- Espèce : *Ceratitis capitata*

I.1.2. Origine et aire de répartition

I.1.2.1. Origine

C'est une espèce très polyphage qui s'est établie dans de nombreuses régions tropicales et subtropicales. Des études récentes sur ses plantes hôtes et parasitoïdes, ainsi que l'analyse des microsattellites ont permis de confirmer qu'elle serait originaire de l'Afrique du Sud-Est (Bonizzoni et al., 2000 ; Meyer et al., 2004). Elle a été signalée pour la première fois en Afrique du Nord en 1829, Espagne en 1842, en Algérie en 1859, dans le sud d'Italie en 1870, en Sicile en 1882, à Tunis en 1885, à Malte en 1893, en Egypte en 1904 et en France en 1900 (Quayle, 1914). Cette mouche s'est propagée depuis son origine supposée en Afrique subsaharienne jusqu'aux régions situées entre 45° nord et 45° sud de latitude géographique (Elqdhly, 2024). De plus, sa prolifération en Europe, en Égypte, au Moyen-Orient, dans la sous-région malgache, en Australie et dans les Amériques, est probablement le résultat d'un transport accidentel lors d'échanges commerciaux.

Les premières dates d'apparition et de répartition de *C. capitata* dans différents pays du monde sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Date d'apparition et de répartition de *ceratitis capitata* dans le monde (Harris, 1984)

Continent	Pays	Année d'apparition
Afrique	Algérie	1858
	Tunisie	1885
	Afrique du Sud	1889
	Egypte	1904
Europe	Espagne	1842
	Italie	1863
	Sicile	1878
	France	1900
	Turquie	1904
Proche Orient	Liban	1904
	Palestine	1904
Pacifique	Australie	1898
	Tasmanie	1900

Amérique du Sud	Brésil	1901
	Argentine	1905
	Paraguay	1955
	Pérou	1956
	Chili	1963
Amérique du Nord	Hawaii	1910
	Floride	1929
	Texas	1966
	Californie	1975

I.1.2.3. Aire de répartition

La mouche méditerranéenne des fruits de la famille Tephritidae comprend environ 4300 espèces reconnues réparties dans environ 500 genres à l'échelle mondiale (White, 2006). Cayol et *al.* (2002) ont affirmé qu'elle a pu se disperser à travers les cinq continents, en moins de 150 ans. Ce diptère est originaire d'Afrique subsaharienne, où il montre une préférence pour les régions chaudes et sèches, de là elle s'est répandue dans le bassin méditerranéen où elle s'est établie depuis 100 ans (Arthur et *al.* 2022). Actuellement son aire de répartition géographique s'étend aux zones plus froides et tempérées du monde y compris les zones septentrionales des pays méditerranéens et les zones continentales d'Europe centrale (Bjelis et *al.*, 2024) (figure 1).

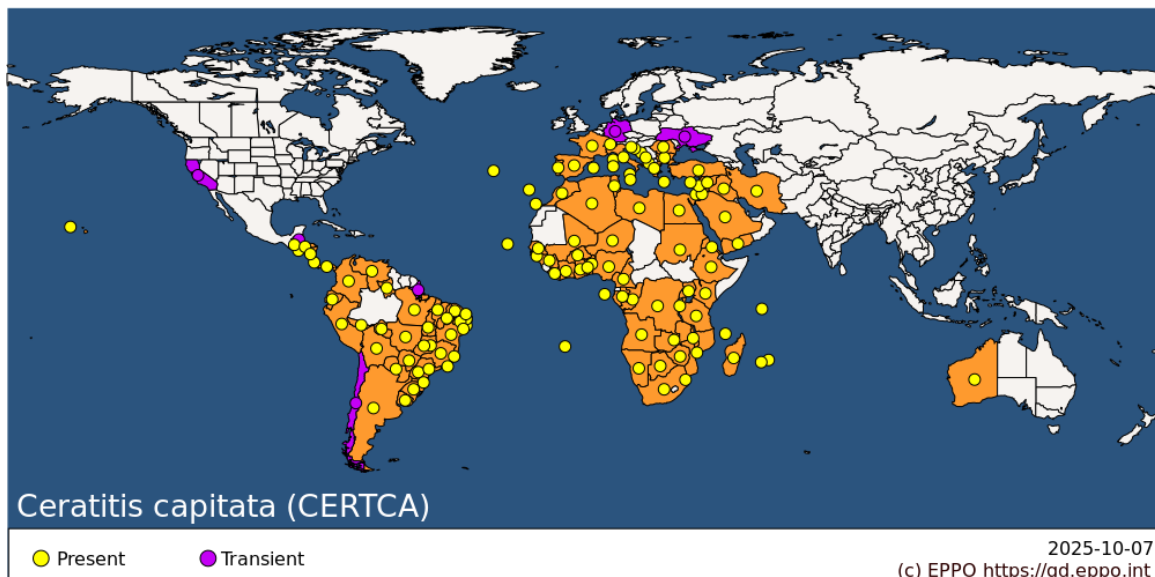


Figure 1: Distribution géographique de la cératite (OEPP, 2025)

L'utilisation de modèle CLIMEX pour projeter et évaluer le risque d'invasion mondiale par *Ceratitiscapitata* dans les climats actuels (1981-2010) et futurs (2040-2059) (Rao et *al.*, 2024).

Une étude a ajusté les paramètres biologiques de *C. capitata* et utilisé le modèle CLIMEX pour prédire sa répartition géographique potentielle dans les conditions actuelle et future. Dans les conditions climatiques actuelle, l'Asie du sud, l'Océanie du sud ; le sud d'Amérique du Nord ; le sud et centre d'Amérique du Sud, et principalement l'Afrique du Sud et centrale, sont des habitats très favorables. En raison de changement de température dans les conditions climatiques future, la zone de répartition géographique devrait diminuer et se déplacer vers des latitudes plus élevées (Rao et al., 2024) (Figure 2).

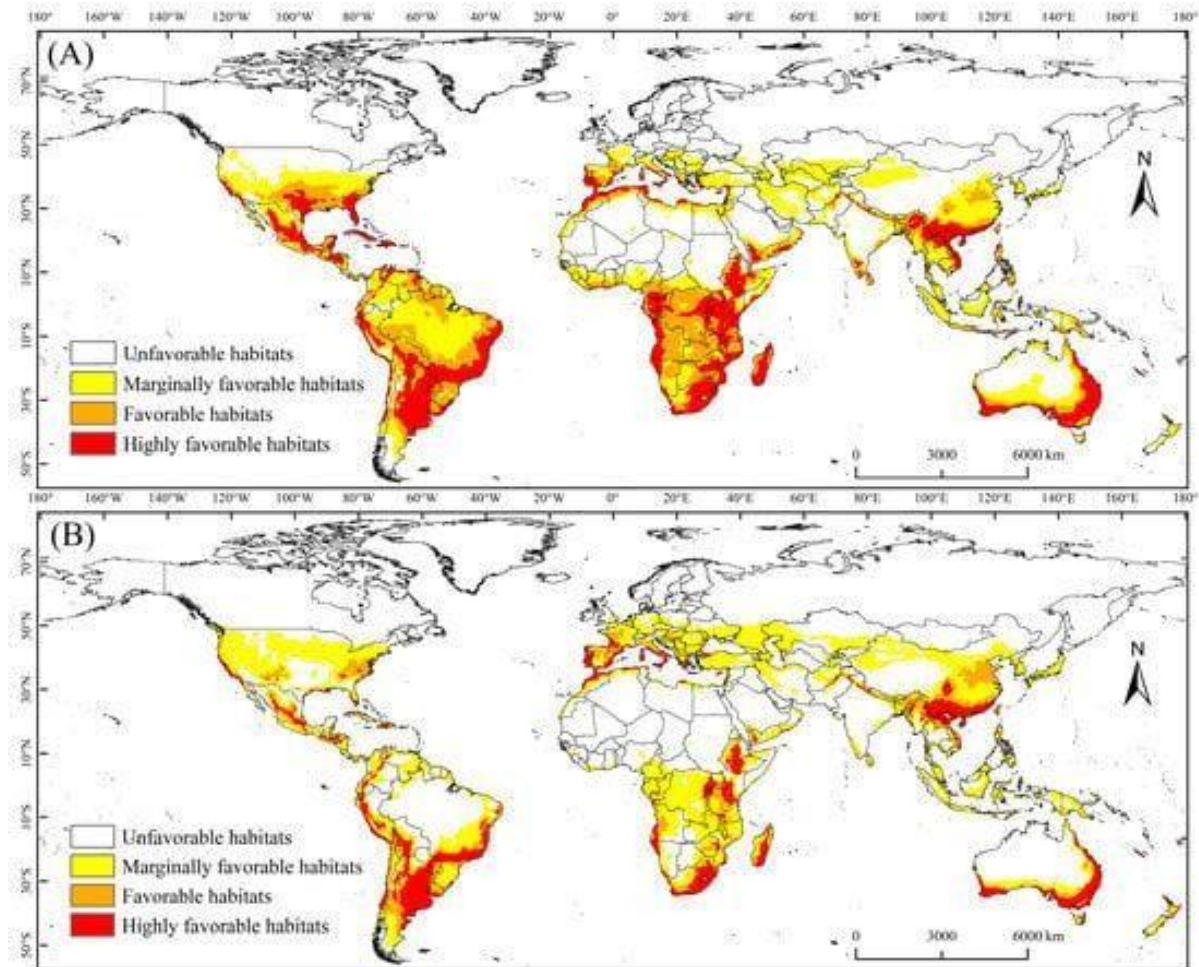


Figure 2: Répartition géographique potentielle de *Ceratitis capitata* dans divers scénarios climatiques (Rao et al., 2024)

(A) Répartition géographique potentielle dans les conditions climatiques actuelles ; (B) Répartition prévue dans les conditions climatiques futures (années 2050)

Le stress froid influence la distribution de *Ceratitis capitata* à des latitudes élevées tandis que le stress thermique est le principal facteur affectant sa répartition dans les climats actuelle et future (Rao et al., 2024).

I.1.3. Caractéristiques morphologiques de *C. capitata*

I.1.3.1. L'œuf

Lisse, brillant et de couleur translucide lorsqu'il est fraîchement pondu, puis devient blanc nacré. Sa forme allongé et arquée en son milieu, convexe du côté dorsal et concave du côté ventrale. Sa longueur fait entre 0,9 et 1,1mm et sa largeur entre 0,2 et 0,25mm (Balachowsky et Mesnil, 1935 ; Bodenheimer, 1951).



Figure 3: Oeuf de *C. capitata* (KHimoud et Louni, 2008)

I.1.3.2. La larve

Les larves (figure 4) sont blanches et présentent une forme typique de larve de drosophile. Sont allongées et pointue à l'extrémité de la tête (Weems, 1981)

Trois stades larvaires ont été décrits chez *C. capitata*. En effet, l'examen du complexe céphalo-pharyngien avec une loupe binoculaire permet la distinction des trois stades larvaires (Cals-Usiatis, 1972). Le même auteur mentionne qu'au 1^{er} stade larvaire, le squelette céphalo pharyngien n'est pas mélanisé. Les crochets buccaux sont caractéristiques de ce stade avec une cuspide apicale arquée, une cuspide subapicale développée et l'absence des stigmates. Au 2^{ème} stade larvaire, la base des crochets buccaux est mélanisée. Au 3^{ème} stade larvaire, la jonction entre les lames dorsale et ventrale est mélanisée aussi bien en avant qu'en arrière et les crochets buccaux sont totalement pigmentés. En fin du 3^{ème} stade larvaire, la larve apode de couleur blanchâtre ou jaune pâle devient un asticot typique de 7-9 mm. La partie antérieure effilée est munie de crochets buccaux noirâtres alors que la partie

Postérieure est tronquée (Cals-Usiatis, 1972). Selon Christenson et Foot (1960), les larves de *C. capitata* se nourrissent pendant 6-11 jours supplémentaires (13-28° C).

La larve du premier stade est transparente mesure 1mm, à ce stade les squelettes céphalopharyngien n'est pas mélanisé. Au deuxième stade, les individus deviennent partiellement transparents et présentent la couleur de l'aliment ingéré, leur taille est variable et la base des crochets buccaux est mélanisé, lorsque le développement est achevé ; la larve atteint 7à 9 mm, à ce stade les crochets buccaux sont totalement pigmentés. Les nutriments dont les larves se nourrissent sont les glucides ; les protéines et l'eau ils sont tirés du milieu dans lequel elles se développent, c'est-à-dire la pulpe du fruit (Duyck, 2005).

Le dernier stade se distingue aussi des autres par son comportement. la larve se livre à une série de petits sauts qu'elle exécute et quitte ainsi le fruit.



Figure 4: Larves de *C. capitata* sur poirier (Daniel, 2008)

I.1.3.3. La pupe

Le troisième stade larvaire (L3) ne rejette pas son exuvie larvaire qui va lui servir d'enveloppe à l'intérieur de laquelle il se nymphose formant le puparium (figure 5). La pupe est de 4 à 5 mm de longueur, elle a la forme d'un petit tonnelet elliptique, lisse et résistant, elle change progressivement de couleur pour devenir brun foncé (Jerraya, 2003).



Figure 5: les pupes de *Ceratitits capitata* dans le sol (Ephytia,2020)

I.1.3.4. L'adulte

Ceratitis capitata appartient à un groupe de huit espèces classées dans le sous-genre *Ceratitis ssp* (Meyer, 2000). C'est une mouche qui mesure entre 4 à 5 mm de long (Duyck, 2000), sa tête grosse jaune avec une bande brune claire entre les 2 yeux à reflet vert émeraude, elle est caractériser par thorax noir à pruinosités dessinant des bandes argentés ou grises, un abdomen élargi à bandes transversales alternées grises et rousses.

Les cératites (figure 6) sont petites, ont des taches ou bandes sur les ailes et un scutellum bombé tacheté de jaune et noir, se différencient de n'importe quelle autre espèce des mouches des fruits (Weems, 1981 ; Vayssières et *al.*, 2008).

Les adultes sont facilement reconnaissables par leurs morphologies externes en particulier les motifs thoraciques et alaires (White et Elson-Harris, 1994). Les mâles portent deux soies orbitales noire aplaties en lamelles à l'apex qui permettent de les différencier aisément des femelles (Féron, 1962 ; White et Elson-Harris, 1992). La femelle possède une tarière de ponte bien visible (Duyck, 2005).

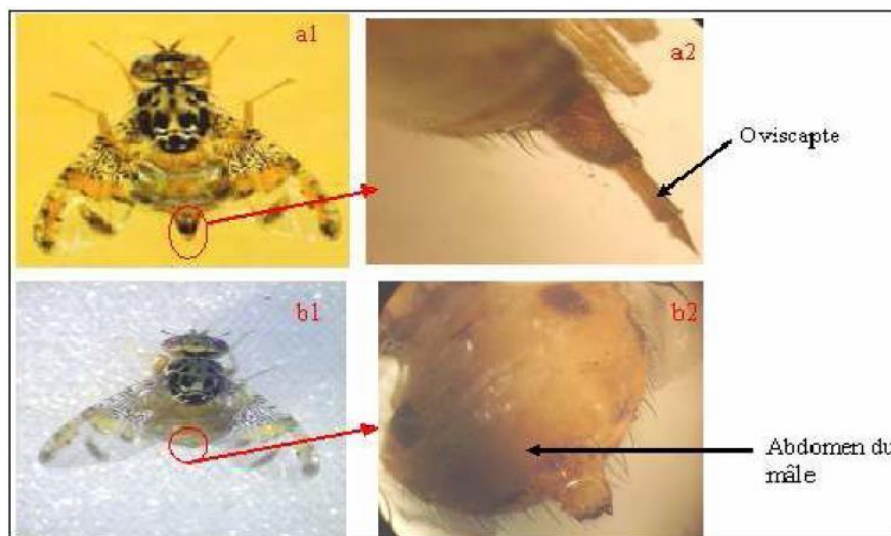


Figure 6: Adultes de la cératite (a1 et a2 : femelle ; b1 et b2 : mâle)

(Rigamonti, 2005)

I.1.4. Cycle biologique de la cératite

La mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) est une espèce polyvoltine avec plusieurs générations par an, principalement influencées par la température (Groutet Stoltz, 2007 ; Duyck et Quilici, 2002 ; Ricalde et *al.*, 2012). Des études menées dans différentes régions climatiques ont montré que la température affecte significativement le développement et la survie des stades immatures de *C. capitata* (Ricalde et *al.*, 2012).

D'autres études ont constaté que les stades immatures de *C. capitata* prennent de 14,5 à 63,8 jours à 30-15 °C (Duyck et Quilici, 2002).

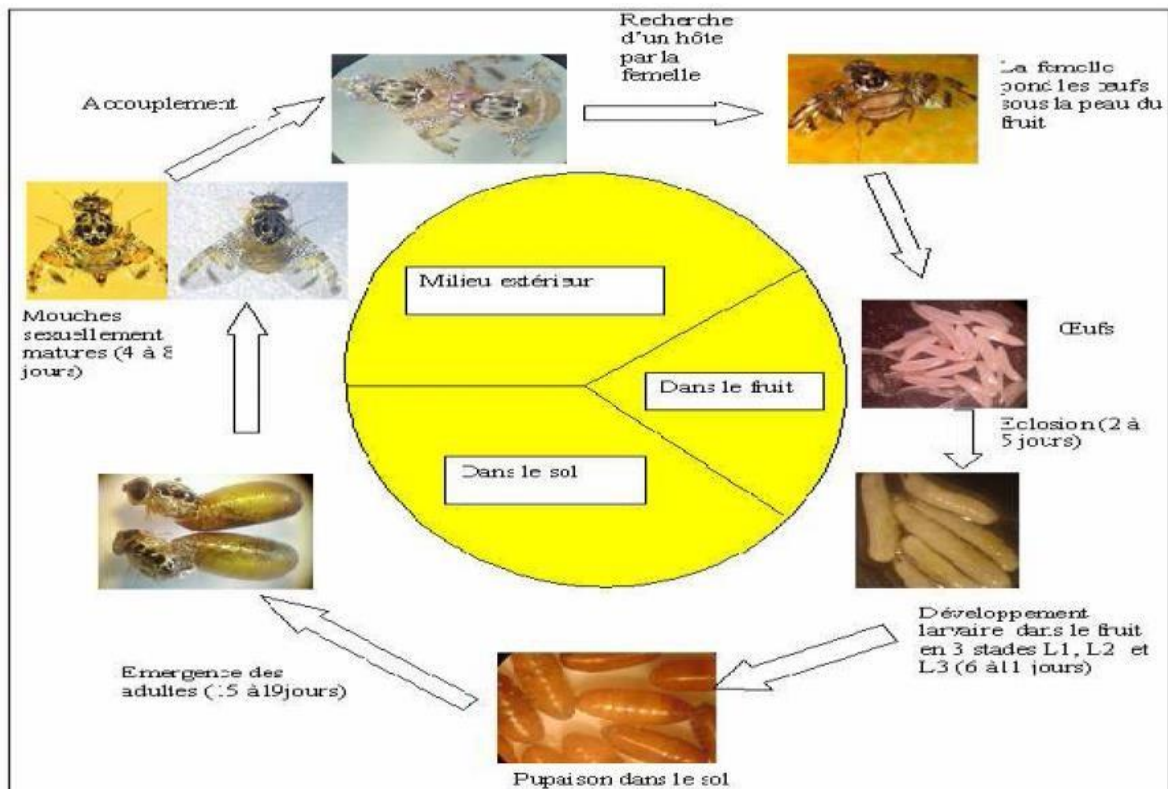


Figure 7: Cycle de développement de *C. capitata* (Khimoud et Louni, 2008)

I.1.4.1. Ponte et incubation

D'après Bodenheimer (1951), il faut de 4 à 10 jours aux adultes de ce diptère pour atteindre leur maturité sexuelle. Il existe un appel phéromonale des mâles de ce diptère (Féron et Myburgh, 1962 ; Quilici et *al.*, 2002). Cet appel consiste la d'évagination d'une ampoule anale qui libère une phéromone très odorante attractive pour la femelle qui va pénétrer son ovipositeur jusqu'à une profondeur approximative de 2 millimètres sous l'épiderme de fruit (Filippi, 2003). Ensuite, elle dépose entre 5 à 10 œufs par fruit, de plus les femelles sont capables d'effectuer plusieurs pontes jusqu'à ce que le nombre total d'œufs pondus atteigne 300 à 400 œufs (Atcitrus, 2002).

Après la ponte, les femelles marquent le site de ponte en y déposant une phéromone (HMP : Host Marking Phéromone) qui inhiberait la ponte d'autres femelles (Prokopy et Roitberg, 1984). Cependant, l'incubation des œufs prend plus de 20 jour en hiver, et juste 2à5jour en été,

jusqu'à l'éclosion qui se fait entre 12°C et 38°C et après 24 à 27 heures selon les conditions climatique (Delrio et *al.*, 1986).

I.1.4.2. Développement larvaire

Après l'éclosion, le développement larvaire comprend 03 stades (L1, L2, L3) et peut varier, fortement, pour une espèce donnée en fonction du fruit hôte (Carey, 1984 ; Fernand et Zucoloto, 1993), généralement dans une période de 09 à 15 jours. Les larves continuent de se nourrir du fruit jusqu'à ce qu'elles atteignent le troisième stade (environ 7 à 9 mm de longueur). Moment auquel elles sortent du fruit pour se nymphoser dans le sol à une profondeur de 5 à 15 cm (Abd-Elgawed, 2021).

I.1.4.3. La pupaison et l'émergence des adultes

La larve de troisième stade « asticot » quitte le fruit et retombe sur le sol dans lequel elle s'enfonce pour nymphoser donnant une pupa. Cette transformation ne dure que quelques heures (Duyck, 2005). Par la suite, cette pupa émerge un adulte qui recommence le cycle de vie à nouveau (Sadoudi, 2007)

La durée de la pupaison est fonction de la température et l'humidité relative. L'émergence de *C.capitata* est affectée par l'humidité quel que soit le type de sol et est plus élevée dans le sol plus sec (Bento et *al.*, 2010 ; Azevedo et Parra, 1989).

Selon Delanoue (1951), à 29°C il suffit de 8 jours à la pupa de la cératite pour donner un adulte, alors qu'il lui faut 35 jours à 15°C. L'Espérance de vie d'adulte après l'émergence des pupes a été estimé à 75 jours chez les femelles et 86 jours chez les males (Ekesi et *al.*, 2006).

I.1.4.4. La maturation

Les adultes sortent du puparium tôt le matin lors des journées chaudes, alors qu'elles émergent plus sporadiquement lorsque les températures sont fraîches (Abd-Elgawed, 2021). A ce stade adulte précoce, ils sont capables de voler sur de courtes distances et peuvent de disperser sur de plus grandes distance grâce au vent (Thomas et *al.*, 2001). Les adultes de *C.capitata* atteignent la maturité sexuelle environ cinq jours après leur sortie du stade nymphale (Dridi, 1990). La durée de cycle de développement varié de 20 jours en été à 2 ou 3 mois en hivers (Delrio, 1985).

I.1.4.5. Nombre de génération

On dénombre 05 générations de *Ceratitis capitata* au littoral Algérien, 03 ou 04 à Nice et 02 dans la région Parisienne, 6 à 7 dans le sud de l'Italie (Balachowsky et Mesnil, 1935). Pour sa part, Oukil (1995) a récapitulé le nombre de générations de la cératite en Algérie de la manière suivante (figure8):

- La 1ère génération en mars- avril ne se trouve que sur les oranges tardives.
- La 2ème génération, individus peu nombreux et passe presque inaperçue au mois de mai.
- La 3ème génération apparaît en juillet et attaque les fruits à noyaux (Pêche, abricot, prune).
- La 4ème génération s'étale de la fin août jusqu'au début du mois de septembre.
- Les deux dernières générations se développent sur les agrumes

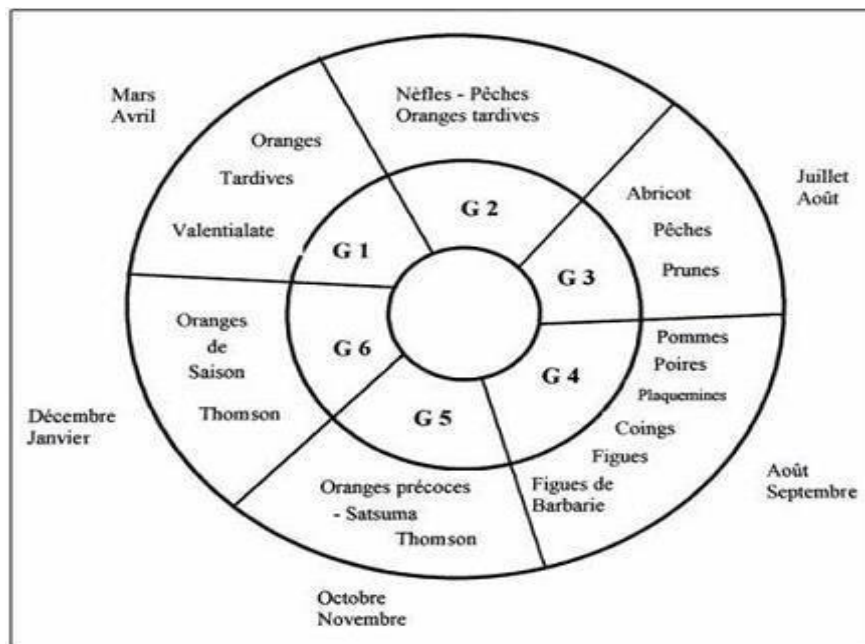


Figure 8: Schéma représentant le nombre de générations possibles en Algérie (Oukil, 1995)

I.1.5. Ecologie et facteurs influençant le développement de la cératite

I.1.5.1. Facteurs climatiques

I.1.5.1.1. La température

Selon les recherches menées par Bodenheimer (1951), Shoukry et Hafez (1979), Delrio (1985) Nunez (1987) mais aussi Duyck et Quilici (2001), la température a un impact significatif sur le comportement de *C. capitata*, notamment sur le développement, la reproduction, la survie et la mobilité de cet insecte, des températures élevées peuvent accélérer le développement des stades larvaires et pupaires, tandis que des températures basses peuvent prolonger la durée de ces stades.

I.1.5.1.2. L'humidité

Les adultes sont inactifs en période de pluie (Ali-Ahmed Sadoudi, 2007). Cependant la sécheresse et le manque d'humidité les gênent et les obligent ainsi à se déplacer à la recherche de l'eau (Nunez, 1987). Shoukry et Hafez (1979), ont observé que le taux d'humidité relative de l'air qui favorise le plus le développement de la cératite varie entre 60 % et 70%.

I.1.5.1.3. Le vent

En dépit de l'importance du vent dans la dispersion de la cératite, il peut s'avérer être un obstacle significatif pour les mouches, celle-ci ont une préférence pour les endroits abrités, tel que les plantations denses avec des arbres touffus, comme l'a souligné Soria en 1963. Les vents chauds et les vents secs gênent l'activité des adultes et peuvent même entraîner leur mort (Delrio, 1985).

I.1.5.1.4. La lumière

L'accouplement et alimentation des adultes se déroulent le jour dès les premières heures, puis diminuent jusqu'à s'annuler à la fin de l'après midi (Bodenheimer, 1951). Pour Nunez (1987), le rapport optimal entre la lumière et l'obscurité pour les différentes phases de développement est de 12 heures de lumière et 12 heures de l'obscurité.

I.1.5.2. Facteurs édaphiques

Dans le sol à la texture fine, la pénétration de la larve est difficile et parfois les pupes se forment en surface. Par contre, en sol à texture grossière, la pénétration est rapide et profonde (Delnoue & Soria, 1954). La survie des larves est négativement affectée par un sol excessivement humide, tel que l'a souligné Bodenheimer en 1951.

Comme il a été prouvé par Ali-Ahmed Sadoudi *et al.* (2007), que la variation de la texture du sol et de la profondeur a un impact distinct sur l'émergence des adultes de la cératite ainsi que sur la période de la pupaison.

I.1.5.3. Facteurs biotiques

I.1.5.3.1. L'alimentation

Selon Slansky et Scriber (1985), pendant les premiers stades de développement larvaire l'alimentation a un impact direct sur la durée de la croissance, le taux d'émergence et la taille final de l'insecte adulte, la quantité d'éléments stockés dans le corps de l'insecte à l'émergence détermine sa taille. Chez les femelles, la production d'œufs a lieu après une période d'alimentation exclusive en glucide durant l'âge adulte.

I.1.5.3.2. L'hôte

L'hôte influence considérablement l'épidémiologie de la cératite (Bodenheimer, 1951 ; Debouzie, 1980). Cette influence revêt une importance capitale car elle détermine le nombre de femelle en quête de ponte dans un biotope donné (Soria, 1962).

D'après Suguy (1950) et Ali-Ahmed Sadoudi (2007), la ponte de cet insecte est favorisée par les caractéristiques de la peau des fruits ainsi que par la quantité d'eau, de protéines et de sucre présentés dans leur chair. De même la structure de la peau du fruit intervient dans la mortalité larvaire, notamment les larves du premier stade (Bodenheimer, 1951 ; Delrio, 1985).

I.1.5.3.3. Compétition larvaire

La compétition larvaire se rencontre au sein du même fruit dans les situations de manque d'hôte. Elle affecte, la taille, la fécondité et longévité des mouches (Delrio, 1985). Pour Debouzie (1977), la compétition entre les larves entraîne une augmentation de la mortalité des

larves, rend exuviation (pupaison), plus difficile et conduit également à une diminution du poids des adultes lors de l'émergence.

I.1.5.3.4. Ennemis naturels

Selon Bodenheimer (1951), Delrio (1988) et Nunez (1987), les insectes du sol tel que les fourmis, les crabes, et les staphylins s'attaquent aux larves âgées et aux pupes de cette mouche. En effet, *Opius humilis*, *Diachasma tryoni*, *Dirhinus giffardi* (famille : hyménoptère) et *Bacterocera dorsalis* (Hendel) (Braconidae : Opiinae), furent les principaux parasites attaquant ce redoutable ravageur (Bess et al.,1961, Rousse et al.,2005).

D'après Balachowsky et Mesnil (1935), dans la région du bassin méditerranéenne, *l'Opius concolor* est largement considéré comme le parasite le plus courant.

I.1.6. Plantes hôtes et dégâts de la cératite

La cératite, ravageur polyphage, est caractérisée par la ponte dans les fruits après véraison jusqu'à maturité complète. Ceci fait que les époques d'infestation coïncident avec la chronologie de maturation des espèces (Lachiheb, 2008).

Les dommages causés par la cératite sont des piqûres de pontes et des galeries dans les fruits engendrées respectivement par les femelles et les larves. La figure9 présente des piqûres de la cératite sur l'orange.

En outre, ces galeries et ces piqûres constituent une voie de pénétration à des champignons et des bactéries qui sont responsables de la décomposition et la chute prématurée des fruits. Ces dégâts constituent un obstacle majeur pour les exportations en raison de la dévalorisation de la marchandise et des mesures de quarantaines imposées par certains pays importateurs. La cératite s'attaque aux variétés précoces et tardives à peau mince (Chouibaniet al., 2003).

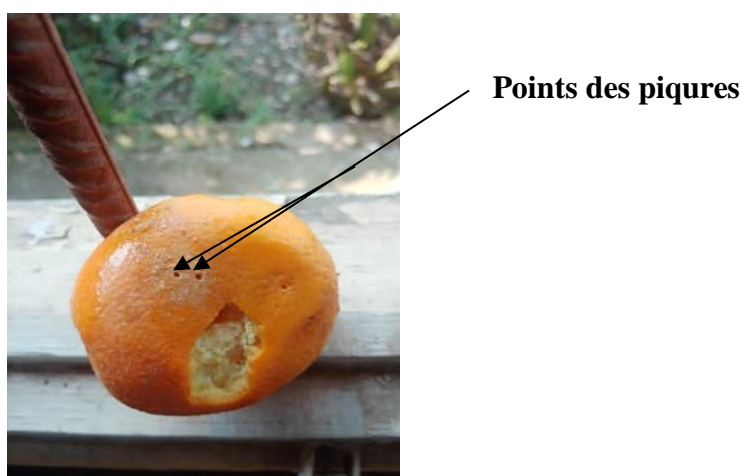


Figure 9: Piqûres de la cératite sur l'orange (Photographie originale)

1.1.7. Importance économique de la cératite

Les dommages causés par la cératite sont des piqûres de pontes et des galeries dans les fruits, engendrées respectivement par les femelles et les larves. En outre, ces galeries et ces piqûres constituent une voie de pénétration à des champignons et des bactéries, responsables de la décomposition et la chute prématurée des fruits. Ces dégâts constituent un obstacle majeur pour les exportations en raison de la dévalorisation de la marchandise et des mesures de quarantaine imposées par certains pays importateurs. La cératite s'attaque aux variétés précoces et tardives (Chouibani *et al.*, 2003).

En plus des pertes directes dû aux attaques de la cératite, les dépenses du contrôle de la cératite et de la mise en quarantaine sont très lourdes (Dimbi *et al.* 2001). En Californie l'établissement des mouches des fruits serait la cause des pertes annuelles de 910 millions dollars américains (Dowell et Wange 1986). Les pertes annuelles des revenus dans la région Est-méditerranéenne (Territoires Palestiniennes et Jordan) sont estimées à 192 millions dollars américains (Enkerlin et Mumford 1997).

Dans une estimation économique pour la région du moyen orient (Palestine, Jordanie, Liban et Syrie), la perte annuelle causée par la cératite a été estimée à 132 millions de dollars américains (Enkerlin & Mumford, 1998). En Californie, les pertes causées par la cératite sont estimées à 910 millions de dollars américains auxquels s'ajoutent 290 millions de dollars dépensés dans les tentatives de contrôle de l'insecte (Fellah, 1996).

Dans la région du Maghreb (Algérie, Lybie, Maroc et Tunisie), les pertes financières imposées par la mouche des fruits sont de 67 et 100 millions de Dollars américains chaque année (Driouchi, 1990).

1.1.8. Moyens de lutte contre la cératite

Les infestations de la cératite sont souvent lourdes et sont occasionnées sur une très grande variété d'hôtes à travers le monde. Seule la lutte chimique est employée en routine par les agriculteurs. Dans le tableau ci-dessous sont mentionnées les différentes méthodes utilisées contre la cératite.

Tableau 2: Différents moyens de contrôle de *C.capitata* (Alaoui, 2011) :

Méthodes	Description	Référence	Inconvénients	Références
Insecticides et Photo-activables insecticides	Insecticides photos dynamiques (Thiopens, Furocaumarins, Quinones.....)	Peck et Mc Quate (1999) ; Ben Amor et al. (1998a et b) ; Robinson (1983)	-Résistances -Toxicité sur les coccinelles, les abeilles et les ennemis naturels -Contamination des eaux -Exposition des opérateurs et les consommateurs	Michaud (2003) ; Harris et al. (1980) ; Troetschler (1983) ; Hoelmer and Dahlsten (1993) ; cohen et al 1987 ; Doane et al.(1990) ; Magana et al.(2007 et 2008)
Pratiques culturales et prophylactiques	-Récolte de fruits verts et maturation artificielle -Irradiation des fruits ; Ramassages des fruits infestées dans sac en plastique -Divers traitement en postrécolte : Température, Méthyle bromide	Bakar (1952) ; Richardson (1952) ; Economopoulos et al.(2007) ; USDA (2008)	-Pollution atmosphérique par Méthyle bromide	UNEP (1992) ; Vick et Narang (1993)
Autocide (TIS)	Elevage et relâchement des insectes stériles dans la nature	Tween (2004) ; Hendricks et al.(2002) ; Parker (2005) ; Rossler et al. (2000)	-Faible compétitivité -Barrière géopolitique	Cohen et Yuval (2000)
Biopesticides	Métabolites microbiens à effet insecticide (Spinosad, G120)	Cisneros et al. (2002); Wilhams et al.(2003) ; Peck and McQuate (2000)	Effet sur les insectes non ciblés, mais moins que Malathion	Vargas et al.(2001)
Résistance variétale	Toxicité chimique de L'écorce (huiles essentielles) -Ecorce épaisse et dure -Maturité retardée	USDA (2008)		

I.2. Données bibliographiques sur *Adhatoda vasica* (*Justicia adhatoda*, Noix de Malabar)

I.2.1. Origine et dénomination

La famille des Acanthaceae comprend près de 250 genres avec 2500 espèces. Ses espèces sont répandues dans les régions tropicales du monde (Wasshausen and Wood, 2004) et sont peu représentées dans les régions tempérées (Mabberley, 1997). *Justicia* est le plus grand genre d'Acanthaceae, avec environ 600 espèces que l'on trouve dans les régions tropicales (Durkee, 1986). La plante est originaire du nord du sous-continent indien (Pendjab, Assam, Népal) et fut introduite dans toute l'Inde, au Ceylan, dans l'archipel malais, en Afrique du Sud et est cultivée aux Antilles. Son nom *Adhatoda* viendrait du tamoul où il désigne une plante délaissée par les animaux (Ghédira and Goetz, 2015). La plante est utilisée dans le système de médecine indigène en Inde depuis plus de 2000 ans. C'est un médicament officiel et mentionné dans la pharmacopée indienne (Atal, 1980)

Adhatoda vasica, également connue sous le nom de (*Justicia adhatoda* L., 1753) ou « adosa », comme elle porte le nom commerciale « vasaka » (Pratibha et al., 2023). Elle est connue sous différents noms dans le système binomial scientifique et dans la section vernaculaire (Ali et Hakeem, 2020). L'espèce est également appelée en :

Hindi : Adora, adalsa, vasaka ;

Sanskrit : Amalaka ;

Télougou : Adasaran ;

Bengali : Barak

Français : Noix de malabar

I.2.2. Position systématique d'*Adhatoda vasica*

Selon Charlie (2007) la classification d'*Adhatoda vasica* (L., 1753) se présente comme suit:

Règne : Plantae

Division : Tracheophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Lamiales

Famille : Acanthaceae

Genre : *Adhatoda*

Espèce: *Adhatoda vasica* Nees

I.2.3. Description botanique

C'est un arbuste vivace de 1 m à 2,5 m de hauteur (figure 10). Les branches sont terminées par un épi à enveloppes vertes. Munies d'une lèvre supérieure recourbée, les fleurs blanches veinées de rouge ou de pourpre rosé s'épanouissent en été. Les fleurs sont de grandes épines terminales denses avec de gros pétales blancs attrayants, striés de violet sur la lèvre inférieure. Les feuilles persistantes vert franc brillant sont et oblongues qui mesurent de 20 à 25 cm de long sur 8 cm de large (Ghédira and Goetz, 2015). Les feuilles poussent dans une formation opposée et sont entièrement lancéolées, et brièvement pétiolées, se rétrécissant vers l'apex et la base. Les feuilles deviennent vert brunâtre lorsqu'elles sont sèches et ont un goût amer avec une odeur semblable à celle du thé fort. Sa tige est douce et fait un bon charbon de bois.



Figure 10 : *Justicia adhatoda* L. [1753] (Roubaudi, 2024)

I.2.4. La composition chimique

La plante *Adhatoda vasica* contient une variété de substances chimiques, Fathima et al. (2020) mentionnent la présence de : phénols, flavonoïde, saponines, tannins, anthraquinones, des acides aminés, des sucres réducteurs, des glucides stéroïdes et alcanes...etc. la plante contient, également, les des huiles essentielles, des graisses et des sucres (Choudhary et al., 2021).

En effet, les résultats d'analyse effectuée par Pratibha et al. (2023) ont révélé que les fruits de cette plante contiennent de l'antraquinone, des alcaloïdes de phénols, des flavonoïdes et des saponines, et (1, 2,3, quinazoline-3-ol, 9-tétrahydropyrrole) présent dans les racines. Les feuilles d'*A. vasica* sont riches en vitamine c et en caroténe, ce qui fait de cette plante une source potentielle d'huiles essentielles (Shoaib, 2021). Quant aux graines, ces dernières contiennent 25,8% d'huile jaune foncé composée de glycérides d'acide arachidique 3,1%, d'acide lignocérique 10,7%, d'acide oléique 49,9%, d'acide cérotique 5%, d'acides linoléique 12,3%, béhénique 11,2% et de β -sitostérol 2,6% 45(Choudhary et al., 2021)

I.2.5 Utilisation d'*Adhatoda vasica*

La consommation de médicaments à base de plantes a augmenté dans le monde entier. Des études ont révélé une augmentation de la croissance des ventes de produits à base de plantes entre 2000 et 2008 allant de 3 % à 12 % par an (Choudhary et al., 2021). Au Sri Lanka, la plante entière d'*Adhatoda vasica* était utilisée dans le traitement de multiples problèmes tels que la ménorragie, les hémorroïdes, les troubles sexuels et l'impuissance (Fathima et al., 2020). Kumar et al. (2005) notent que l'extrait de fruit de cette plante est actif contre le rhume, la fièvre, la bronchite et les diarrhées.

Traditionnellement, diverses parties de la plante sont utilisées pour traiter des maladies comme l'asthme, les douleurs articulaires, les entorses, les douleurs lombaires, le paludisme, le rhume, la toux, l'eczéma, les rhumatismes, les gonflements et les maladies vénériennes. En Angleterre, le liquide extrait de ses feuilles est utilisé comme antispasmodique, expectorant et fébrifuge. Les feuilles de cette plante sont utilisées comme agent spasmolytique et comme expectorant. En Suède, l'extrait de la plante *Adhatoda vasica* est utilisé pour préparer un médicament contre la toux. Différentes parties de la plante jouent un rôle important dans la guérison de différentes maladies (Choudhary et al.,2021).

I.2.6. Activités biologiques et thérapeutiques d'*Adhatoda vasica*

I.2.6.1. Activité antioxydante

Selon Dhankhar et *al.* (2014), la fraction d'éther de pétrole d'*Adhatoda vasica* possède les capacités antioxydantes admirables avec une teneur phénolique totale élevée. La plante contient du tétra cosahexaène et de l'hexa méthylequi est des ingrédients antioxydants. Les extraits de la plante testés ont montré d'importantes activités de piégeage des radicaux libres et ont inhibé l'activité de l'enzyme polyphénol oxydase (Gacche and Dhole, 2011)

I.2.6.2. Activité antimicrobienne

Duraipandiyan et *al.* (2015) ont rapporté que l'acétate de vasicine obtenu par acétylation de la vasicine présentait une bonne zone d'inhibition contre les bactéries: *Enterobacter aerogenes*, *Staphylococcus epidermidis* et *Pseudomonas aeruginosa*. En outre, la vasicine a montré une forte activité antibactérienne contre *Escherichia coli* à une dose de 20 µg/ml et a également démontré une activité antifongique maximale contre *Candida albicans* à la dose >55 µg/ml.

I.2.6.3. Activité bronchodilatatrice

La vasicine et la vasicinone, les principaux constituants alcaloïdes d'*Adhatoda*, sont bien connues pour leurs agents respiratoires thérapeutiques. La vasicine a montré une activité bronchodilatatrice à la fois *in vitro* et *in vivo*. La vasicinone, principal métabolite de la vasicine, a montré une activité bronchodilatatrice *in vitro* mais une activité bronchoconstrictive *in vivo*, suggérant qu'elle est probablement biotransformée *in vivo*, provoquant une bronchoconstriction.

I.2.6.4. Activités antiallergiques et antiasthmatiques

Les deux principaux alcaloïdes vasicine et vasicinone sont connus pour présenter une activité antiallergique. Un extrait contenant l'alcaloïde vasicinone et de vasicine a inhibé les réactions allergiques induites par l'ovalbumine d'environ 37% à une concentration de 5 mg. La vasicinone s'est avérée être un anti-allergène puissant dans des tests sur des souris, et des cobayes (Wagner, 1989).

I.2.6.5. Activité anti-inflammatoire

Les résultats ont révélé que la vasicine présentait les effets anti-inflammatoires les plus puissants (59,51%) à la dose de 20,0 mg/kg six heures après l'injection de carragénine (Chakraborty and Brantner, 2001).

Chapitre II : Méthodologie de travail

II.1. Problématique et objectif :

Les dégâts de la mouche méditerranéenne (*Ceratitis capitata*) des fruits sur les arbres fruitiers, peuvent gravement nuire au rendement des vergers, faisant de ce diptère un ravageur redoutable des cultures fruitières responsable d'une perte économique importante très considérable. Cette situation constitue un obstacle majeur pour des exportations en raison de la dévalorisation de la marchandise et des mesures de quarantaine imposées par certains pays importateurs.

L'usage abusif et non rationnel des insecticides a engendré, toutefois, des problèmes majeurs liés à la pollution de l'environnement et à la santé humaine (résidus) en plus de l'apparition de résistance chez les insectes. Le recours à d'autres alternatives plus prometteuses et respectueuses de l'environnement est plus que nécessaire surtout qu'une partie intéressante de la production des agrumes est destinée à l'exportation où les normes de traçabilité et de contrôle de qualité sont trop strictes et rigoureuses.

Durant les dernières décennies, la communauté scientifique s'est orientée de plus en plus vers la lutte biologique contre les ravageurs des cultures. A titre d'exemple les extraits de plantes, aqueux ou sous forme d'huiles essentielles contiennent des substances toxiques pouvant agir efficacement comme bio insecticides (Aouati, 2016).

L'utilisation des substances naturelle des plantes s'ajoute, actuellement, au recours à l'usage de la méthode des TIS (Technique des insectes stériles) mais aussi des champignons et bactéries entomopathogènes contre la cératite. En effet, les extraits de plantes peuvent agir comme répulsifs ou insecticides, tandis que les huiles essentielles montrent également une activité insecticide notable.

C'est dans ce contexte que notre modeste travail de recherche vise à évaluer l'activité biologique voire insecticide des feuilles d'*Adhatoda vasica* sur certains paramètres physiologiques de *Ceratitis capitata*

II.2. Protocole expérimental

Notre travail de recherche, a été effectué, en premier lieu, sur le terrain (Tipaza et Alger) pour l'échantillonnage des fruits attaqués, des insectes et des pupes et en second lieu, au laboratoire (élevage et traitements) au niveau de la Division Protection des Cultures (D.R.P.C.) (figure 11) sise à la station de Recherche et d'Expérimentation de Mehdi Boualem (Baraki). Cette dernière s'étale sur une superficie de 24 hectares et a été créé en 1986 par arrêté ministérielle N°5395M du 30 mai 1989.

Il est à noter que La division dans laquelle nous avons effectué notre stage expérimentale a pour mission de Promouvoir et développer la protection intégrée contre les différents bio agresseurs des cultures et élargir la gamme des méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique pour une amélioration quantitative et qualitative de la production agricole.

La D.R.P.C. compte plusieurs équipes de recherches (Comm. Pers. Oukil, 2024), dont :

- ✓ **Equipe 1:** Lutte intégrée contre les acridiens grégaires, cas de *Shistocerca gregaria*, *Dosciostaurus maroccanus* et *Locusta migratoria*.
- ✓ **Equipe 2:** Protection intégrée des cultures maraichères (Solanacées dans les principales zones potentielles de production.
- ✓ **Equipe 3:** Protection intégrée des céréales (Blé dur et tendre) et les légumes secs (Pois chiche, petit pois) dans les zones potentielles de production.
- ✓ **Equipe 4:** Interaction cultures stratégiques microorganismes: Epidémiologie, bio contrôle, bio stimulation, bio formulation et recherche de mécanismes de résistances



Figure 11: Division de recherche en Protection des cultures

(Photographie originale)

II.2.1. Matériel biologique

II.2.1.1. Matériel animal

Le matériel animal utilisé dans le cadre de notre étude expérimentale se compose d'adultes et de pupes de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Figure 12).



Adulte de *C. capitata*



Pupe de *C. capitata*

Figure 12: La mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata*
(Photographie originale)

II.2.1.2. Matériel végétal

Pour notre étude, nous avons utilisé les feuilles de la plante *Adhatoda vasica* (Acanthaceae) (figure 13), provenant de la station expérimentale de l'INRAA de Mehdi Boualem (Baraki). Les feuilles d'*A. vasica* sont de couleur vert clair, ont une odeur caractéristique et un goût amer. Elles mesurent entre 10 et 13 cm de long. La forme des feuilles est ovée-lancéolée, l'apex est acuminé, la marge est légèrement crénelée à entière, la base est symétrique, la nervation est pennée et la texture est coriace.



Figure 13: Feuilles fraîches d'*Adhatoda vasica* (Photographie originale)

II.2.2. échantillonnage des fruits atteints par la cératite

Pour la collecte des fruits atteints, nous avons réalisé des prospections dans plusieurs vergers d'agrumes (Baraki, Alger), d'abricotiers et de nectarines (Hdjoute, Tipaza). Ces vergers (figure 14) n'avaient fait l'objet d'aucun traitement chimique ni de techniques de piégeage massif contre la cératite. En conséquence, nous avons constaté une forte infestation, se traduisant par une chute prématurée d'une grande partie des fruits. Ces fruits tombés ont été soigneusement prélevés et placés dans des boîtes d'échantillonnage, puis transportés au laboratoire de Protection des Cultures de l'INRAA en vue d'un élevage de masse de la cératite.



Figure 14: Orangers, abricotiers et nectariniers atteints par la cératite
(Photographies originales)

II.2.3. Technique d'élevage de la cératite au laboratoire

L'élevage de la cératite a été réalisé dans une salle de 38 m², soigneusement conditionnée pour garantir des paramètres optimaux : température de $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$, humidité relative de $60 \pm 15\%$ et photopériode de (12 heures de lumière/12 heures d'obscurité), sur une durée de trois mois (mars, avril et juin) (figure15).

Les fruits infestés, prélevés sur le terrain, ont été placés dans des boîtes contenant environ 4 cm de sable humide stérilisé à l'autoclave et tamisé. Ce substrat permet à la fois de conserver une bonne humidité et de récupérer facilement les pupes. Ces boîtes sont munies de couvercles, modifiés avec du tulle fin, permettent une bonne aération.

Les larves de troisième stade quittent les fruits à maturité et s'enfouissent à faible profondeur dans le sable où elles effectuent leur nymphose, donnant naissance aux pupes. Ces dernières, sont récupérées chaque jour par tamisage quotidien du sable, puis transférées dans des boîtes de Pétri contenant du sable humide.

Pour les fruits très décomposés, comme les abricots, une méthode par flottaison dans l'eau est utilisée pour faciliter la collecte des pupes. Une fois collectées, elles sont placées dans des boîtes de montre remplies de sable, puis transférées dans une cage d'émergence de forme cylindrique. Cette cage est équipée de deux pondoirs ainsi que d'un entonnoir en plastique percé de petits trous et recouvert de tissu humide, ce qui permet la collecte des œufs.

Des boîtes contenant du coton imbibé d'une solution sucrée sont ajoutées dans la cage pour nourrir les adultes. Ces derniers émergent après environ 10 jours. Une fois leur maturité sexuelle atteinte, ils s'accouplent.



Fruits piqués par la cératite



Dépôts de fruits sur le sable



Tamissage du sable et récupération de pupes et de larve



Mise en cage des pupes et 'émergence des adultes

Figure 15: Elevage de masse de la cératite
(Photographies originales)

II.2.4. Préparation de l'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica*

La préparation des extraits aqueux de la plante *Adhatoda vasica* permet d'en extraire les principes actifs essentiels, comme la vasicine, de manière naturelle et accessible et cette préparation suit les étapes énumérées ci-dessous (figure 16) :

- **Nettoyage des feuilles :**

Les feuilles fraîches et intactes d'*A. vasica* ont été soigneusement sélectionnées. Elles sont d'abord été lavées à l'eau du robinet pour éliminer les impuretés visibles, puis rincées avec de l'eau ultra-pure (Milli-Q) afin d'assurer une propreté optimale.

- **Séchage et broyage :**

Les feuilles nettoyées et séchées au chauffage pour préserver leurs composés actifs. Une fois bien sèches, ont ensuite broyé par un broyeur électrique

- **Obtention de poudre et filtration de l'extrait :**

Après le broyage, on obtient une poudre, cette poudre a été mélangé avec de l'eau pure, ensuite le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre Whitman n° 41 (taille de pores : 20-25 μm). Le filtrat obtenu, de couleur jaune pâle, constitue l'extrait

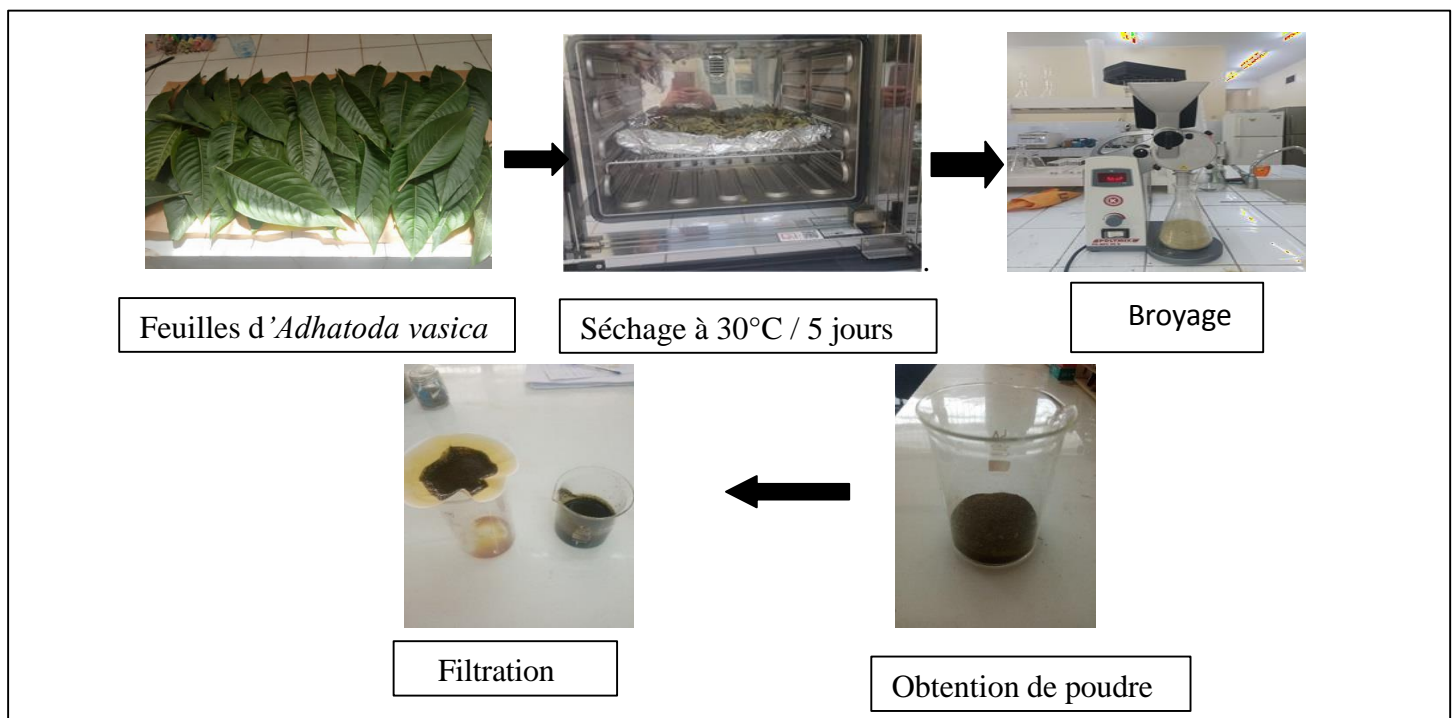


Figure 16: Etapes d'extraction d'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica*

(Photos originales)

II.2.5. Screening phytochimique d'*Adhatoda vasica*

Le criblage phytochimique permet la mise en évidence des métabolites secondaires (alcaloïdes, composés phénoliques et terpènes) contenus dans une plante. Après séchage et broyage des feuilles fraîches d'*Adhatoda vasica*, les différents tests de criblage ont été effectués sur la poudre obtenue. Le screening phytochimique suit les étapes énumérées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: les différentes étapes du screening phytochimique utilisées pour *Adhatoda vasica* selon le protocole mentionné par **El-Haoud et al. (2018)**

Les métabolites recherchés	Modeopérateur
Alcaloïdes	Les tests sont réalisés par des réactions de précipitation avec le réactif de Dragendorff. Introduire 10 g de poudre végétale sèche dans un Erlen Meyer, à laquelle 50ml de H ₂ SO ₄ dilué au 1/10 avec de l'eau distillée est ajouté. Ce mélange a été agité et macéré pendant 24 h. Ensuite, dans 1ml du filtrat, 5 gouttes de réactif de Dragendorff sont ajoutées. L'apparition d'un précipité orange, révèle la présence d'alcaloïdes
Polyphénols	On mélange une quantité égale de chlorure ferrique (FeCl ₃) à 1% et de ferricyanure de potassium (K ₃ Fe(CN) ₆) à 1 %. Additionner 5 ml de ce mélange aux 5 ml d'extrait végétal. L'apparition d'une couleur bleu noirâtre ou verte indique un résultat positif
Tanins	La présence des tanins est mise en évidence en ajoutant à 1 ml de chaque extrait, 1 ml d'eau et 1 à 2 gouttes de solution de FeCl ₃ diluée à 1% L'apparition d'une coloration verte foncée ou bleue verte indique la présence des tanins. L'apparition d'une coloration verte foncée indique la présence des tanins catéchiques. L'apparition d'une coloration bleu-verte indique la présence des tanins galliques
Flavonoïdes	: Les flavonoïdes ont été recherchés par la réaction à la cyanidine. Deux (2) ml de chaque extrait ont été évaporés et le résidu a été repris dans 5 ml d'alcool chlorhydrique dilué 2 fois. En ajoutant 2 à 3 copeaux de magnésium, il y a un dégagement de chaleur puis une coloration rose

	orangé ou violacée. L'addition de 3 gouttes d'alcool isoamylique a intensifié cette coloration qui a confirmé la présence de flavonoïdes
Saponines	Dans une série de 10 tubes à essai numérotés de 1 à 10, introduire respectivement 1, 2,3,...,10ml de la solution à analyser et préparer par décoction en milieu aqueux, hydroalcoolique ou par infusion. Ajuster le volume de chaque tube à 10 ml avec de l'eau distillée. Agiter chaque tube dans le sens de la longueur du tube pendant 15 secondes à raison de 2 agitations par seconde. Laisser reposer 15 min et mesurer la hauteur de la mousse produite dans chaque tube. L'indice de mousse (I) est calculée par la formule suivante : $I = 1000 / N$
Terpénoïdes	Pour 2 ml de chaque extrait, nous avons rajouté 2 ml de chloroforme (CHCl ₃) et bien agité. Puis, on ajoute 2 ml d'acide sulfurique concentré (H ₂ SO ₄). Une coloration marronne de l'interface indique la présence de terpénoïdes
Stéroïdes	Pour 2 ml de chaque extrait, on ajoute 2 ml de CHCl ₃ et quelques gouttes d'anhydride acétique (C ₄ H ₆ O ₃). Le mélange est bouilli au bain-marie et rapidement refroidi dans de l'eau glacée, puis on ajoute 2 ml d'acide sulfurique concentré (H ₂ SO ₄). La formation d'un anneau brun à la jonction de deux couches et l'apparition d'une couleur verte au niveau de la couche supérieure indique la présence de stéroïdes. La formation d'une couleur rouge foncé indique la présence de triterpénoïdes
Sucres réducteurs	Un volume de 5 mL d'extrait a été mélangé à un volume de liqueur de Fehling et chauffer sur un bec Bunsen ou bain-marie à 100 °C. L'apparition d'un précipité rouge brique indique un résultat positif

II.2.6. Méthode de traitement

Au niveau du laboratoire de Protection des Cultures de l'INRAA, les bio-essais des extraits d'*A. vasica* ont été effectués vis à vis les adultes et les pupes de *C. capitata*.

- **Traitement des adultes**

Le premier essai concerne l'effet de la plante testée sur la mortalité des adultes de la cératite. L'expérimentation est suivie jusqu'à la mort totale de tous les individus des lots traités, ou sous les conditions expérimentales prise en considération comme la température constante de $27 \pm 3^\circ\text{C}$, une humidité relative de $40 \pm 5\%$ et une photopériode de 12h (lumière) / 12h (obscurité)

Pour cette expérience nous avons opté pour le traitement par ingestion. Pour cela, nous avons utilisé quatre bouteilles en plastiques dont chacune contient 10 individus adultes de *C. capitata*, avec un côté fermé par du tulle afin d'assurer l'aération des mouches. Dans chaque bouteille nous avons mis du coton imbibé par une solution sucrée fixé sur un bouchon; ensuite nous avons introduit $50\mu\text{l}$ de l'extrait aqueux d'*A. vasica* sur le même coton, ce à l'aide d'une micropipette. Pour les témoins seulement la solution sucrée a été introduite dans le coton (figure 17).



Figure 17: Traitement des adultes de *C. capitata* avec l'extrait aqueux d'*A. vasica*

(Photographies originales)

- **Traitement des pupes**

Pour cet essai, nous avons utilisé quatre boîtes à Pétri (03 répétitions et 1 témoin), dans lesquelles nous avons mis du sable légèrement humide. Par la suite dans chaque boîte, 06 pupes y ont été déposées et sur lesquelles quelques gouttes de l'extrait aqueux ont été déposées (figure 18).



Figure 18: Traitement des pupes de *C. capitata* avec l'extrait aqueux d'*A. vasica*
(Photographies originales)

II.2.7. Paramètres étudiés

II.2.7.1. Etude de l'effet de l'extrait aqueux d'*A. vasica* sur la mortalité de *C. capitata*

Selon Lazar (1968), le critère principal d'évaluation de l'effet toxique d'un traitement chimique ou biologique est la mortalité. Ainsi, le pourcentage des mortalités observées chez les pupes et des adultes (témoins et traités) est estimé selon la formule suivante :

$$\text{(Mortalité observée = [Nombre de morts / Nombre total des individus] x 100)}$$

Les mortalités observées sont ensuite corrigées par la formule d'Abbot (1925) :

$$\text{M.C. (\%)} = (\text{M2} - \text{M1} / 100 - \text{M1}) \times 100$$

Soit :

M.C (%) : Pourcentage de mortalité corrigé.

M1 : Pourcentage de mortalité dans le lot témoin.

M2 : Pourcentage de mortalité dans le lot traité

II.2.7.2. Etude de l'effet de l'extrait aqueux d'*A. vasica* sur la l'hémolymphe des adultes de *C. capitata*

Les individus adultes de *C. capitata*, utilisés lors de cette étude proviennent d'un élevage permanent maintenu au niveau de la division de recherche « Protection des cultures ». Pour accomplir cette étude, nous avons, tout d'abord, réalisé un frottis hémolympatique des mouches témoins avant le traitement, alors que pour les individus traités, le frottis a été effectué 24 heures après le traitement à base de l'extrait aqueux d'*A. vasica*. Ainsi, la technique adoptée est celle de Guzo et Stoltz (1987) cités par Habes (1989) et repose de ce fait, sur la technique suivante (figure 19) :

- Prélever 3 à 5µl d'hémolymphe fraîche au moyen d'une micropipette graduée suite à une incision entre la patte postérieure et le thorax ;
- Etaler une couche mince de ce volume, puis faire sécher la lame à l'air ;
- Après séchage, y déposer 20 gouttes de May-Grunwald dilué ou bleu de Méthylène et laisser reposer pendant 3 minutes, on ajoute quelques gouttes d'eau distillé et laisser pendant 1 minute ;
- Enlever l'excès du colorant avec l'eau distillée par rinçage ;
- Ajouter 40 gouttes de Giemsa et laisser pendant 10 minutes, puis rincer la lame à l'eau courante ;
- Laisse sécher la lame à l'air, après le séchage faire un montage entre lame et lamelle en appliquant une fine couche du liquide de Faure aux extrémités de la lamelle, qui sera collée sur la lame puis laissée sécher ;
- Le comptage des différents types d'hémocytes se fait sous le microscope optique à l'aide d'un compteur manuel. ;

La détermination des différentes catégories hémolytiques à été réalisée par comparaison avec les travaux de références menés par Wigglesworth (1972), Raccaud- Schoeller (1980), mais aussi, les récents travaux de recherches réalisés par Kadota et *al.* (2003), de Negeiro et *al.* (2009), Klowden (2013) et enfin Rosales (2017).

Pour l'étude quantitative, nous avons réalisé un comptage des différents types d'hémocytes sous microscope optique à l'aide d'un compteur manuel, ce, avant et après traitement des mouches.

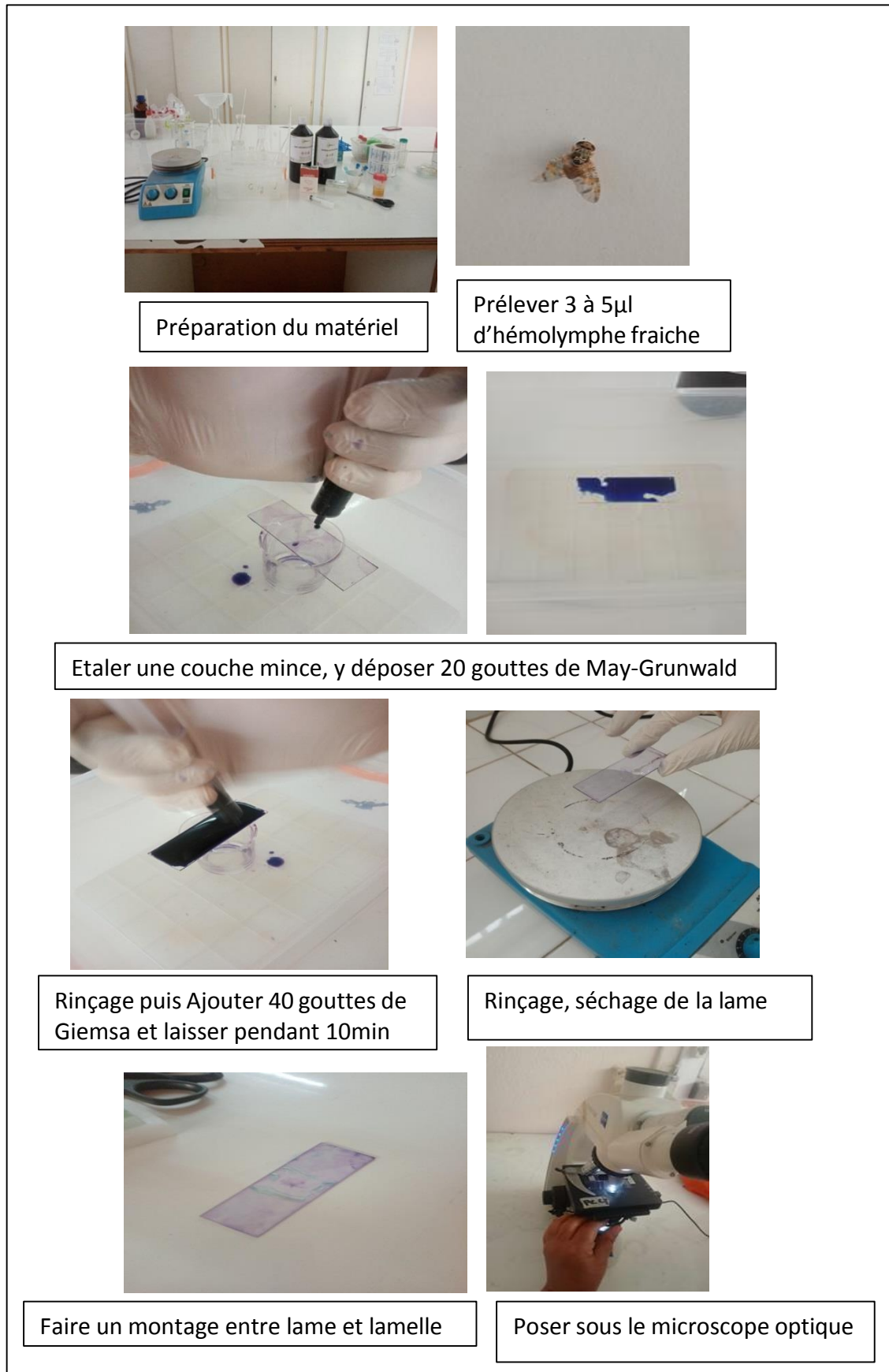


Figure 19: Les différentes étapes de réalisation du frottis hémolymphatique des adultes de *Ceratitidis capitata* (Photographies originales)

II.2.8. Exploitation des résultats

II.2.8.1. Détermination de la (TL50)

Le temps léthal 50 (TL50) est calculé à partir de la transformation en Probits des pourcentages de mortalités corrigées. Nous obtiendrons, par la suite des droites de régression des valeurs (probits) en fonction des logarithmes des temps de traitement. Ces équations sont de type : **(Y = a X + b)**

Soit : Y : Probits des mortalités corrigées, **X** ; logarithme du temps et **a** : la pente qui se calcule par la formule suivante. Nous calculerons les TL50 en remplaçant Y par les probits concernés.

II.2.8.2. Analyse statistique :

Pour approuver l'efficacité des différents facteurs étudiés, nous avons fait appel à l'analyse de la variance (ANOVA) à n critère de classification dans le but de tester la significativité statistique des différences entre les facteurs étudiés (STATSOFT, 2010).

Chapitre III : Résultats obtenus

Dans ce chapitre sont illustrés les résultats obtenus lors de notre expérimentation relative à l'étude de l'effet de l'extrait aqueux de la plante *Adhatoda vasica* sur les adultes et les pupes de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* qui est considérée comme un ravageur redoutable de l'arboriculture fruitière.

III.1. Screening phytochimique d'*Adhatoda vasica*

Le screening phytochimique des feuilles d'*Adhatoda vasica* a été réalisé en utilisant des réactifs spécifiques de révélations basé sur des réactions de précipitation et de coloration, ce, afin de mettre en évidence la présence des métabolites secondaires capable d'intervenir dans la toxicité de la plante pour se défendre contre les ravageurs.

L'ensemble des résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau ci-dessous (Tableau 4). Les résultats ont mis en évidence la présence de composés chimiques connus dans la littérature pour leurs activités biologiques intéressantes.

Ainsi, le criblage phytochimique des feuilles d'*Adhatoda vasica* ont révélé l'abondance considérable des polyphénols les alcaloïdes, des flavonoïdes et des terpénoïdes. Les tanins condensés, les saponines et les stéroïdes sont également présent avec une absence totale des sucres réducteurs.

Tableau 4: Résultat du screening phytochimique des feuilles d'*Adhatoda vasica*

Métabolites secondaires	Présence (+) / Absence (-)
Polyphénols	+++
Alcaloïdes	+++
Flavonoïdes	+++
Tannins condensés	++
Stéroïdes	++
Terpénoïdes	+++
Saponines	+++
Sucres réducteurs	-

(-) : absence du composé recherché dans les feuilles, (+) : composé présent, (++) : présence abondante du composé et (+++) : présence très abondante du composé.

III.2. Effet de l'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica* sur la mortalité des adultes de *Ceratitis capitata*

Le traitement des adultes de *Ceratitis capitata* à base de l'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica* a été réalisé au laboratoire sous une température de $27\pm 3^{\circ}\text{C}$; une humidité relative de $40\pm 3\%$ et une photopériode de 12h (lumière) /12h (obscurité).

Le mode de traitement adopté est celui par ingestion, où nous avons, rappelons-le, inséré un coton imbibé d'une solution sucrée et l'extrait aqueux de la plante utilisée, dans les boîtes contenant les mouches à traiter.

Au deuxième jour de traitement, nous avons remarqué des troubles des mouvements de vol des mouches traitées. Ces troubles sont suivis d'une paralysie progressive, soit un arrêt soudain de l'activité motrice conduisant finalement à la mort des adultes alors qu'aucune de ces observations n'ont été remarquées chez les individus témoins.

Les moyennes de pourcentage de mortalité des adultes de *C. capitata* traités avec l'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica* représentés dans le tableau suivant et illustrés par la figure 20 :

Tableau 5: Pourcentage de mortalité corrigée des adultes de *C. capitata* témoins et traités par l'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica*

Jours d'observation	Témoins	Traités	
		Moyenne mortalités (%)	Mortalités corrigées (%)
1	0	0	0
2	0	10	10
3	0	10	10
4	0	10	10
5	0	16,66	16,66
6	0	33,33	33,33
7	0	56,66	56,66
8	0	76,66	76,66
9	20	93,33	93,33
10	30	100	100
11	40	100	100
12	60	100	100

Les résultats obtenus durant la période d'observation ont démontré l'efficacité de l'extrait aqueux d'*A. vasica* vis-à-vis des adultes des *Ceratitis capitata*, avec un début de mortalité enregistré à partir du 2^{ème} jour de traitement, 50% de mortalité notée à partir du 7^{ème} jour et une mortalité totale des individus observée 10 jours après le traitement.

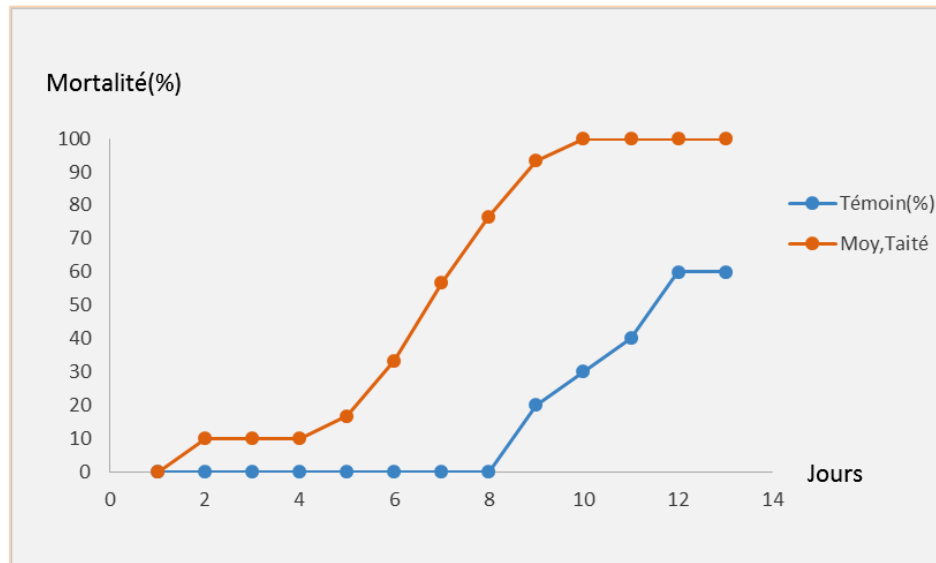


Figure 20: Pourcentages de mortalités des adultes de *Ceratitis capitata* traités par l'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica*

III.2.1. Détermination de la TL50 :

Pour rappel. Afin de calculer la TL 50 relative au traitement des adultes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*A. vasica*, nous avons utilisé, rappelons-le, la fonction suivante :

$y = a \cdot x + b$ où y concerne le probit de 50% de mortalité et x équivalant au logarithme décimal du temps.

Pour cela, nous avons tracé une droite de régression relative aux données obtenues (figure 21) qui a fait ressortir l'équation suivante :

$$Y = 6,2067 x + 0,46$$

La droite de régression a, également fait ressortir un coefficient de détermination $R^2 = 0,92$, ce qui révèle une liaison positive très forte entre les probits des mortalités et le

logarithme décimal du temps d'observation. Ainsi, pour une mortalité de 50%, Y est égale à 5 (probit), il en ressort un $x = 0,7527$.

En utilisant, de ce fait, l'exponentielle 10 de x ($x = 0.7527$), nous obtenons un TL50 atteint à **5,66 jours** (c'est-à-dire entre le 5^{ème} et 6^{ème} jour).

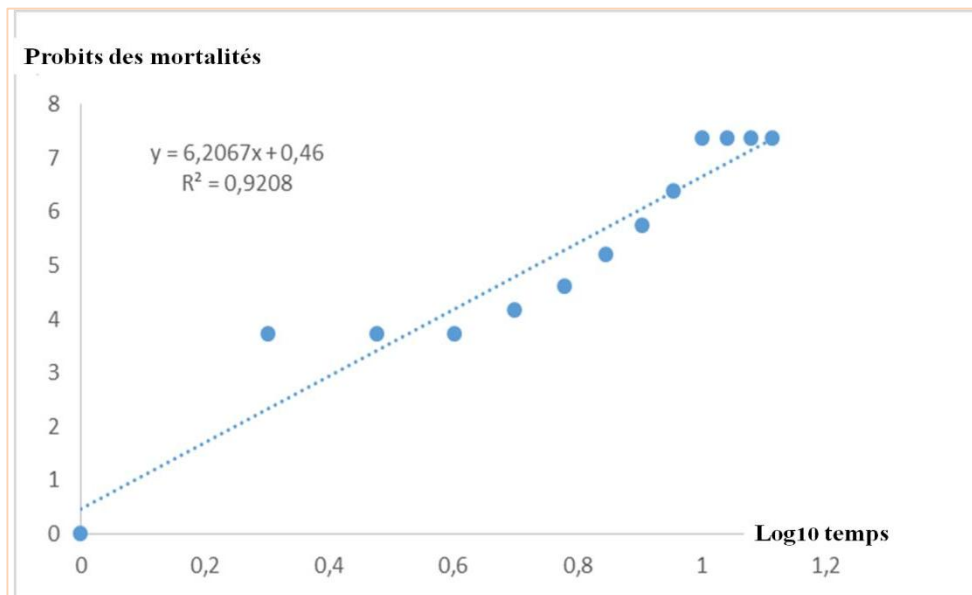


Figure 21: Efficacité de l'extrait aqueux *d'A. vasica* contre les adultes de *C. capitata*

III.2.2. Analyse statistique

L'analyse de la variance à deux critères de classification (traitement et temps) au seuil 5% fait ressortir une différence très hautement significative entre les doses avec un niveau de probabilité $p = 0,000 < 0,005$, mais aussi pour le facteur temps, toujours avec $p < 0,005$ (tableau 5).

Tableau 6: Analyse de la variance des mortalités des adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux (par ingestion) *d'A. vasica*

	SCE	DDL	CM	F. obs.	p
VAR1 (temps)	363254,7	28	16322,6	591,56	0,000
VAR2 (traitement)	265321,3	4	23965,5	822,44	0,000
VAR1*VAR2	59631,5	128	612,2	18,66	0,000
VAR résiduelle	6200,1	187	28,4	-	0,000

III.3. Effet de l'extrait aqueux d'*A. vasicavis*-à-vis des pupes de *C. capitata*

Le traitement des pupes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*A. vasicaa* été suivi pendant 13 jours d'observation, durant lesquels nous avons remarqué que ces pupes se sont transformées en adultes, et sont totalement émergé dans le 13ème jours.

Ainsi, l'application de l'extrait aqueux d'*A. vasicasur* les pupes de *C. capitata* n'a aucun effet létal (tableau7, figure 22).

Tableau 7: Pourcentages d'émergence des pupes de *C. capitata* témoins et traitées par l'extrait aqueux d'*A. vasicica*

Jours d'observation	Pupes Témoins (%)	Pupes traitées (%)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	33,33	19,665
7	66,66	36,83
8	66,66	37,33
9	66,66	37,83
10	83,33	46,665
11	100	55,5
12	100	56
13	100	56,5

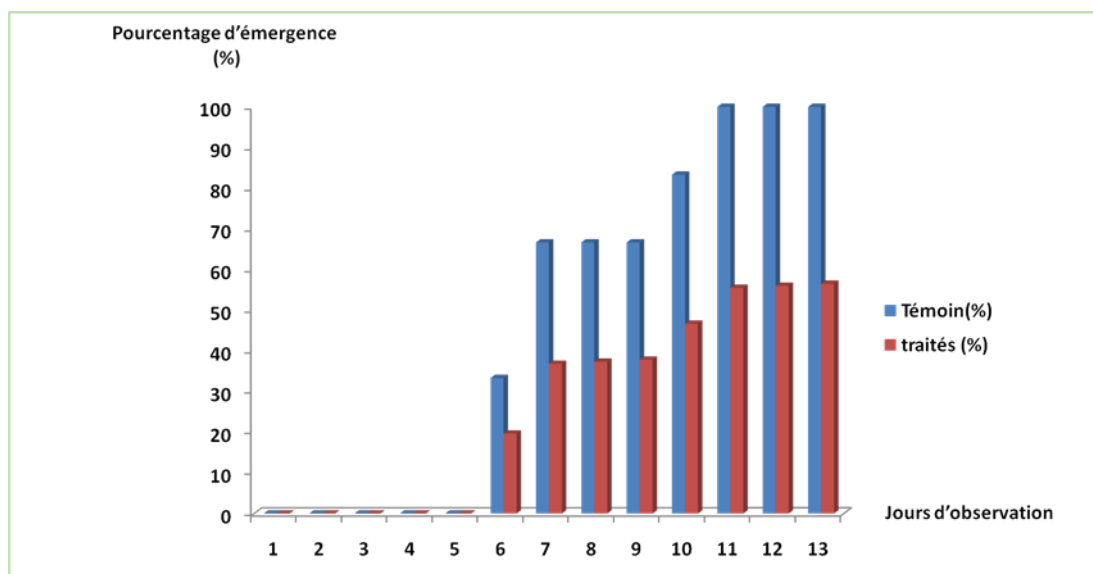


Figure 22: Taux d'émergence des pupes de *C. capitata* témoins et traitées par l'extrait aqueux d'*A. vasicica*

III.4. Effet de l'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica* sur l'hémolymphe des adultes de *Ceratitis capitata*

III.4.1. Etude qualitative

Après la réalisation d'un frottis hémolympatique des adultes témoins de *C. capitata* et en comparaison avec les travaux d'autres auteurs, nous avons distingué quatre catégories d'hémocytes (figure 23), à savoir, les prohéocytes, les plasmocytes, les coagulocytes et les granulocytes.

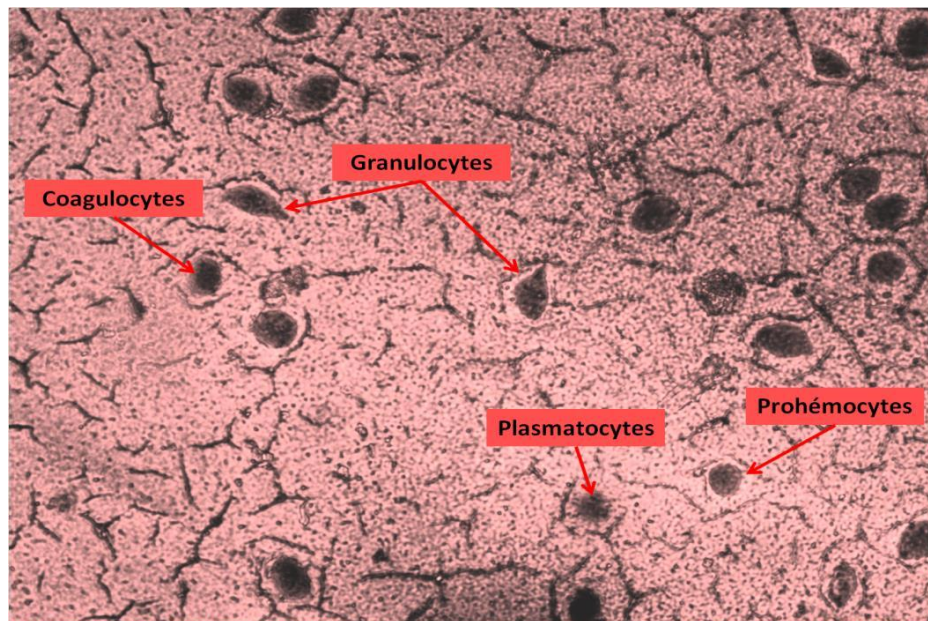


Figure 23: Observation microscopique des différentes hémocytes identifiées dans l'hémolymphe des témoins de *C. capitata* (Photographie originale, Gr. x 40 et Gr. x 100)

Cependant, l'observation microscopique réalisée sur le frottis hémolympatique des individus adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux d'*A. vasica*, révèle une action hémolytique considérable ainsi que d'importantes altérations structurales des hémocytes (figure 24). Une observation, totalement, absentes dans l'hémolymphe des mouches témoins.

Ainsi, les cellules attaquées par les toxines de ladite plante présentent :

- a) Des cellules complètement vidées de leurs contenus cytoplasmiques
- b) Des débris d'hémocytes
- c) Des hémocytes rétractées (aspect dense et diffus)
- d) Apparition de nodules d'encapsulation et de granules de sécrétion libérés par les granulocytes

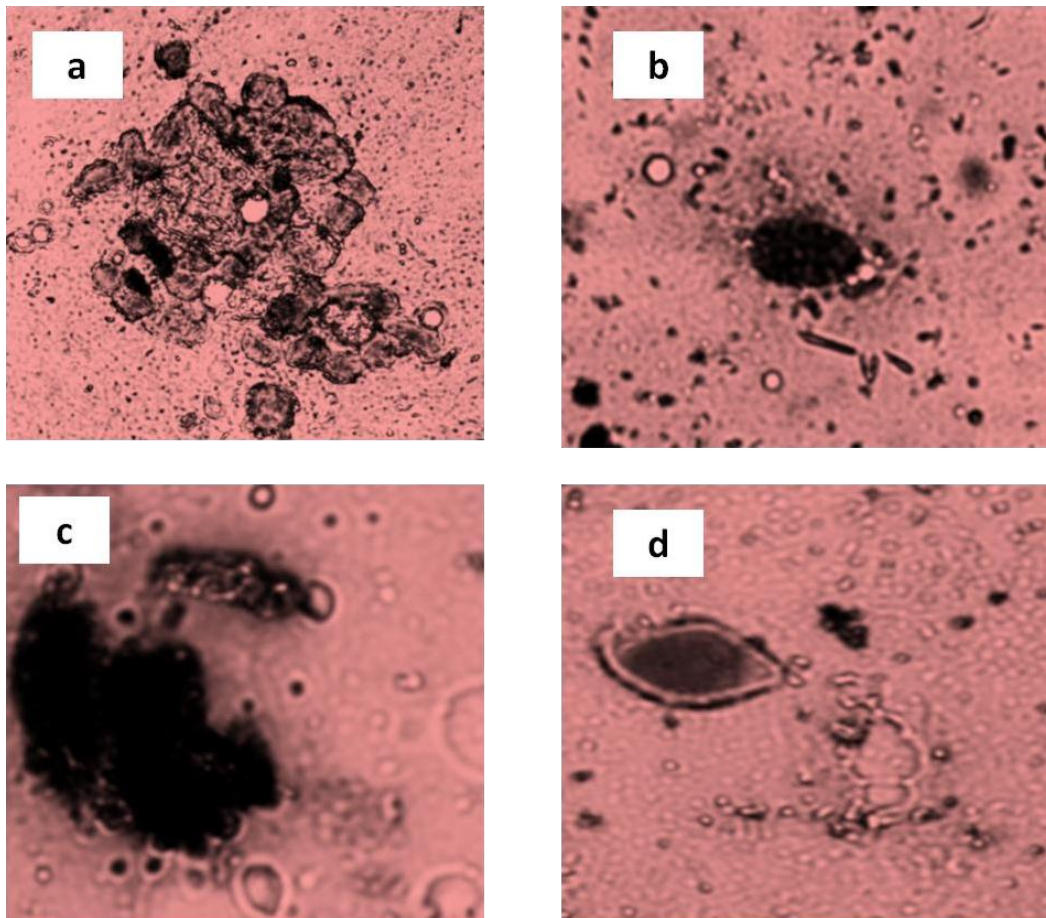


Figure 24: Les différentes altérations structurales des hémocytes observées chez les adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux *d'A. vasica*

(Photographies originales, Gr. x 40 et Gr. x 100)

III.4.2. Etude quantitative

Pour cette étude, nous avons réalisé un calcul du nombre des hémocytes des individus témoins et traités. Les résultats obtenus sont énumérés dans le tableau 8 et illustré par la figure 25. Ces derniers montrent que le traitement à base *d'A. vasica* a engendré une baisse considérable du nombre de prohémoscytes et des granulocytes, alors que les plasmatocytes ont légèrement augmenté.

Tableau 8: Nombre d'Hémocytes et des différentes catégories identifiées dans 3 µl de l'hémolymphe des adultes témoins et traités de *C.capitata* par *A.vasica*

		R1	R2	R3	Moyennes
Hémocytes	Témoins	278	301	354	311
	Traités	166	189	185	180
Prohémocytes	Témoins	59	63	49	57
	Traités	32	29	27	29,333333
Plasmatoctes	Témoins	96	88	83	89
	Traités	109	96	99	101,33333
granulocytes	Témoins	63	85	69	72,333333
	Traités	9	16	11	12

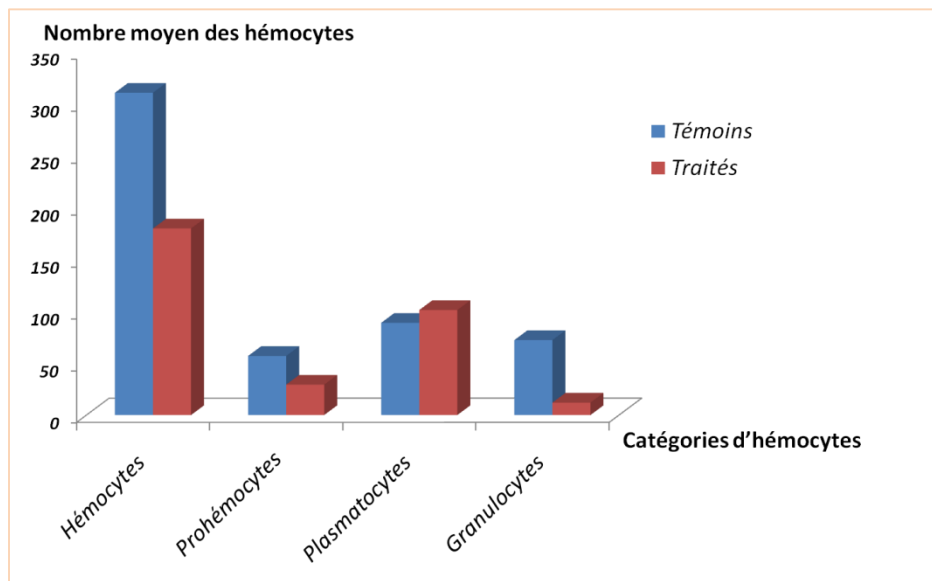


Figure 25: Nombre d'Hémocytes et des différentes catégories identifiées dans 3 µl de l'hémolymphe des adultes témoins et traités de *C. capitata* par *A. vasica*

La figure ci-dessus illustre l'effet significatif du traitement à base de l'extrait aqueux d'*A. vasica* contre les mouches de *C. capitata*, soit une baisse moyenne considérable allant de 311 pour les témoins à 180 hémocytes chez les mouches traitées. Cette baisse numérique concerne les prohémocytes concerne les prohémocytes et les granulocytes, tandis que les plasmatoctes ont légèrement augmenté.

II.4.3. Analyse statistique

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (traitement) représenté par le facteur traitement, fait ressortir un effet hautement significatif ($p < 0,000$) du traitement réalisé (tableau 9), ce qui présente la capacité insecticide de traitement à base d'extrait aqueux d'*Adhatoda vasica* sur les adultes de *Ceratitis capitata*

Tableau 9: Analyse de la variance de l'hémogramme des adultes de *C.capitata* traités par l'extrait aqueux d'*A.vasica*

	SCE	DDL	CM	F. obs.	p
VAR2 (traités)	122647,6	8	18654,6	633,33	0,000
VAR résiduelle	5633,3	166	34,6	-	0,000

Chapitre IV : Discussion des résultats obtenus

IV.1. Screening phytochimique d'*Adhatoda vasica*

Le criblage phytochimique des extraits aqueux de la plante *A. vasica* a été réalisé à l'aide des méthodes chimiques standard pour identifier les présences des constituants phytochimiques. Le but de ce screening permet, en effet, de détecter, la présence des substances appartenant à des classes de composés potentiellement physiologiquement actifs : les métabolites secondaires de la plante ((Trease et Evans, 2003 ; Dohou et *al.* 2003).

Selon Krief (2003), ces métabolites sont probablement des éléments essentiels de la coévolution des plantes avec les organismes vivants, tels que parasites, pathogènes et prédateurs, mais aussi pollinisateurs et disséminateurs. C'est pour cela que nous avons jugé utile d'étudier leur présence dans la plante *Adhatoda vasica* et essayer d'expliquer ultérieurement leurs activités insecticides sur les adultes et les pupes de *Ceratitis capitata*.

A cet effet, les résultats obtenus révèlent une abondance considérable polyphénols, des flavonoïdes et des térapénoïdes. Les tanins condensés, les saponines et les stéroïdes sont également présent avec une absence totale des sucres réducteurs.

Les principaux constituants, en matière de métabolites secondaires d'*A. vasica* sont les alcaloïdes quinazoline avec la vasicine comme principal alcaloïde. Les feuilles sont riches en vitamine C et en carotène et donnent une huile essentielle. Les composés chimiques trouvés dans les feuilles et les racines de cette plante comprennent les huiles essentielles, les graisses, les résines, le sucre, la gomme, les acides aminés, les protéines et la vitamine C, ...etc. (Dymock, 1972).

Ghédira, et Goetz (2015) notent que cette plante contient les flavonoïdes suivants : Vitexine, isovitexine, 2''-O-xylosylvitexine, rhamnosylvitexine, violanthine, apigénine, kaempférol, quercétine, lutéoline.

Nos résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Kumar et *al.* (2013). Ces derniers ont analysé l'extrait aqueux des feuilles d'*Adhatoda vasica* pour y rechercher des métabolites secondaires et ont découvert la présence des alcaloïdes des saponines ; des composés phénoliques et de flavonoïdes, l'auteur a constaté une teneur maximale en alcaloïdes, et une teneur minimale en phénols dans l'extrait aqueux de ladite plante

Sajeeb et *al.* (2015) mentionnent que l'analyse de l'extrait brut d'*A. vasica* donné des résultats positifs avec tous les réactifs alcaloïdes, d'où, la couleur sur le chromatogramme TLC de la solution échantillon correspondaient parfaitement à celles de la solution de référence standard de vasicine qui indiquait la présence de vasicine dans le résidu amorphe.

l'analyse phytochimique d'*A. vasica* révéla la présence des saponines, de tanins, de phénols, d'alcaloïdes, de terpénoïdes, de glycosides dans l'extrait méthanoliques et de glycosides cardiaques dans l'extrait aqueux et d'alcaloïdes, de terpénoïdes, de flavonoïdes, de phlobatanines, de glycosides et de glycosides cardiaques Sakthi Prya et *al.* (2021)

IV.2. Activité toxique des feuilles d'*Adhatoda vasica* vis-à-vis des adultes de *Ceratitis capitata*

IV.2.1. Effet sur la mortalité

Durant notre expérience sur l'effet d'extrait aqueux d'*A. vasica* contre les adultes et les pupes de la mouche méditerranée des fruits *C. capitata*, nous avons remarqué chez cette espèce provoque une excitation, des troubles de vols et des mouvements ralentis des mouches traitées, quelques heures après le traitement, jusqu'à leurs mortalité total, alors qu'aucune de ces observations n'ont été remarquées chez les individus témoins. Cela témoigne l'action toxique de l'extrait aqueux de cette plante vis-à-vis la cératite.

Plusieurs recherches ont montrés la propriété insecticide de cette plante contre différentes insectes. En effet les feuilles d'*A. vasica* sont utilisées comme insecticide depuis des temps immémoriaux en raison de la présence de la vasicinol qui confère une activité insecticide (Srivastava et *al.*, 1965).

Selon Anton et Lobstein (2005), les alcaloïdes agissent sur le système nerveux central et sur le système nerveux Autonome, ce qui pourrait expliquer les mouvements d'excitation remarquées dans les lots traités de *C. capitata*, induits par l'action neurotoxique exercée par les alcaloïdes contenus dans la plante.

D'ailleurs, en 2001, Copping avait rapporté que les alcaloïdes présents dans la plante ont une activité neurotoxique qui ralentit la fermeture des canaux Na⁺ dépendant (comme le pyrèthre) et perturbe la dépolarisation membranaire, cette activité provoque une paralysie avant la mort.

S'agissant des pourcentages de mortalité observés, rappelons que le traitement des mouches adultes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*A. vasicca* engendré un début de mortalité enregistré à partir du 2^{ème} jour de traitement, 50% de mortalité notée à partir du 7^{ème} jour et une mortalité totale des individus observée 10 jours après le traitement. Ces observations confirment le rapport entre les alcaloïdes des feuilles d'*A. vasicca* et leur toxicité sur la *C. capitata* durant le traitement. De nombreux alcaloïdes ont une action sur le système nerveux fréquemment sur le système nerveux centrale (Khalid et al, 2004), ils sont assez proche des neuromédiateurs comme la sérotonine, la dopamine ce qui va leurs permet d'interagir sur plusieurs récepteurs (Sylvie, 2023).

D'autre essais d'inhibition d'enzymatique par la vasicine qui est un alcaloïde essentiel de cette plante contre l'enzyme Acétylcholine estérase (ACHE), montrent des résultats d'inhibition modéré, et cette dernière entraîne une accumulation d'ACHE dans la synapse provoquant une paralysie progressive aux insectes (Shawar et al., 2010)

Bien avant, Saxena et al (1986) notaient que les alcaloïdes présents dans la plante d'*A. vasicca* sont responsable de l'activité anti fertilité et anti-appétante contre les insectes, parmi ces alcaloïdes la vasicine, le vasicinol et la vasicinone, dont la vasicinol à provoquer un grave effet anti fertilité contre *Dysdercus koenigii* et *Tribolium castaneum* en raison de blocage des ovocytes dans l'oviducte, ainsi que chez *Aulacophora foveicollis* et *Epilachna vijintio ctopunetata* ils ont observé une dissuasion alimentaire.

L'utilisation d'extraits acétoniques et méthanoliques de cette plante ont apporté des résultats prometteurs contre l'espèce *Brevicoryne brassicae* et ses nymphes, l'acétone présente une mortalité plus élevée (Haifa et Ali, 2016).

L'effet des flavonoïdes et des composés saponiques contenus dans les feuilles d'*A. vasicca* semble être toxique pour les adultes de *C. capitata*. En effet, l'action des saponines, a été notée dans les travaux de Nozzolillo et al. en 1997 où l'incorporation des saponines extraites des racines et des feuilles de la luzerne à 0,5 ou 1,6 mg/g du poids frais dans le milieu d'élevage de *Ostrinia nubilalis* avait affecté significativement la croissance et le développement des chenilles de l'insecte.

S'agissant des composés terpénoïdes, Klocke et al. (1989) ainsi que Mueller et al. (1991) indiquent que ces métabolites possèdent des propriétés répulsives et insecticides. De ce fait, nos résultats corroborent avec ceux obtenus par Hamraoui et Regnault-Roger (1997) qui

ont mentionné que les monoterpènes révèlent une activité toxique en milieu confiné ou semi-aéré sur *C. capitata* et *Rhopalosiphum padi*.

D'autre part, Sheebab et Mohan (2012) ont testé des extraits d'*A. vasica* (méthanoliques, acétonique et aqueux) contre des souches bactériennes de *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Proteus vulgaris*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, et *Klebsiella pneumonia*, soit une action bactéricide confirmée.

Plus de 2000 espèces végétales sont connues pour leurs activités potentielles contre les insectes, notamment contre la cécidie (Klocke, 1980 ; Souza et al., 2017), à titre d'exemple, les travaux de Tavares et al. en 2023 qui rapportent un taux de mortalité élevé de *C. capitata* observé à 72h après traitement par les extraits éthanoliques de *S. canariensis*, *C. symphytifolius* et *H. gardnerianu*.

Farag et Ragab (2023) mentionnent d'autres résultats prometteurs ont concerné l'utilisation de *Peganum harmala*, *Laurus nobilis* et *Ziziphus spina-christi* contre la cécidie.

Une autre étude, menée par Ibrahim et al. (2023) relative à l'utilisation des extraits de feuilles des plantes *Eucalyptus camaldealensis* Dehn (Myrtaceae) et *Viola odorata* Linn (Violaceae) contre *Ceratitis capitata*, fait ressortir un effet sur le stade de développement larvaire induisant des malformations nymphales, soit une modification ultra structurale chez l'adulte de ce diptère.

D'autre part, les pupes de *Ceratitis capitata* traitées à l'extrait de *E. camaldealensis* ont présenté plusieurs formes de malformations observées, indiquant un échec d'émergence des mouches et par conséquent une perturbation du cycle de vie de *C. capitata* (Ibrahim et al., 2023).

S'agissant des études de recherche sur l'activité toxique d'autres plantes contre *C. capitata*, nous pouvons dire que les résultats que nous avons obtenus, rejoignent ceux de Marcio et al. (2011), ayant évalué l'effet de tourteau de grain de neem *Azadirachta indica* sur le stade pré-pupaire de *C. capitata*, ont révélé que lorsqu'elle est mélangée au substrat de nymphose (vermiculite) elle provoque une mortalité élevée à partir d'une concentration de 50%. De plus, elle prolonge la période nymphale de *C. capitata*.

L'activité toxique de différentes plantes contre la cécidie a été mentionnée dans différents travaux de recherche. Il s'agit de l'essai des extraits aqueux et éthanoliques de *Mondragore autumnalis* ayant provoqué, après 24 heures d'exposition, la mort des adultes de *Ceratitis capitata* aux trois doses : 30, 20 et 16g/20ml avec une mortalité de plus de 50% après deux jours de traitements (Fahad et al., 2012). Aussi, Djaout (2015), rapporte que l'utilisation

de l'extrait de *Lavandula stoechas* sur les larves de *C. capitata* a révélé l'effet létal de l'extrait en question à une dose de 40µl.

L'efficacité de l'extrait de *Ramalina farinacea* contre les adultes de *C. capitata* a, également été testé par inhalation (Sadoudi, 2018). Ces derniers, rapportent que le test avait provoqué une mortalité de 100% après 48 heures avec la dose 15µl, alors que la dose 20µl s'avère plus efficace puisque la mortalité de 100% a été enregistrée après 48 heures.

En 2021, les travaux de Hedjaz, portant sur l'activité bio-insecticide de l'extrait aqueux des racines du chêne liège *Quercus suber* sur les larves de *C. capitata*, a démontré que le taux de mortalité est de 44% puis s'élève jusqu'à 91% avec la dose 50g/L après 48 heures. Ainsi, la dose 100 g/L a engendrée une mortalité de 45% et 94% après 24h 48 h, respectivement, ce qui relève aussi que le temps a un facteur significatif sur le taux de mortalité.

IV.3. Effet sur l'hémolymphe

La recherche sur les hémocytes d'insectes à reçu beaucoup d'attention, car ce sont les cellules qui assurent l'immunité cellulaire des insectes (Huang et al., 2010). L'hémolymphe contient des cellules circulantes appelées hémocytes, qui contribuent aux fonctions immunitaires des insectes (Kanost, 2009 ; Kanost et al., 1990).

IV.3.1. Etude qualitative

Il existe, au moins, environs huit types d'hémocytes chez les insectes : les prohéocytes, les plasmatocytes, les cellules granuleuses, les coagulocytes, les cellules cristallines, les sphérulocytes, les oenocytoïdes et les thrombocytoïdes, (Pandey et Tiwari, 2012).

Lors de notre expérimentation, nous avons étudié l'action cytotoxique relative au traitement des adultes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*A. vasica*.

Ainsi, la réalisation du frottis hémolympatique des adultes témoins de *C. capitata*, a permis l'identification de quatre types de cellules hémocytaires. Il s'agit des prohéocytes, des plasmatocytes ou phagocytes, des coagulocytes et enfin des granulocytes.

Du point de vue qualitatif, chez les insectes, les catégories d'hémocytes varient d'une espèce à une autre. Lepesme (1938) distingue chez les adultes de *S. gregaria* deux catégories hémocytaires (proleucocytes et phagocytes). Bien après, Raccaud-Schoeller (1980) souligne que le sang des orthoptères contient quatre types d'hémocytes, également présents chez d'autres insectes : les prohéocytes, les plasmatocytes, les granulocytes et les coagulocytes.

Habes et Soltani (1992) avaient identifié, pour leur part, cinq types hémocytaires dans l'hémogramme de *Thaumetopea pityocampa*, soient les prohémyocytes, les plasmacytes, les granulocytes, les coagulocytes et les adipocytes).

De son côté, Klowden (2013) a identifié sept catégories d'hémocytes chez les insectes, à savoir les prohémyocytes, les plasmacytes, les granulocytes, les oenocytoides, les coagulocytes, les adipohémocytes et les cellules à sphérules. Nacheva et al. (2020) ont identifié six catégories d'hémocytes chez *C. capitata* à tous les stades étudiés. Il s'agit des : Granulocytes, Sphérulocytes, Prohémyocytes, Oenocytoides, Plasmacytes et Podocytes.

Notons aussi que les prohémyocytes que nous avons identifiées sont similaires à celles identifiées par Price et Ratcliffe (1974) ainsi que Stettler et al. (1998). Les Granulocytes dans le présent travail correspondent à celles exposées par Stettler et al. (1998) chez *Spodoptera littoralis*, mais aussi aux granulocytes précédemment décrites dans la clé de Brehelin et Zachary (1986).

Par ailleurs, nous avons réalisé des observations microscopiques de l'hémolymphe des mouches traitées par l'extrait aqueux en question, afin de voir son action sur les hémocytes.

Pour rappel, l'immunité cellulaire consiste en la phagocytose des micro-organismes agressifs par les hémocytes, la formation de nodules et l'encapsulation (Boman, 1998 ; Stanley, 2006 ; Beckage, 2008).

Dans notre cas, l'examen microscopique de l'hémolymphe des adultes de *C. capitata*, traités par l'extrait aqueux d'*A. vasica* a révélé d'importantes altérations structurales, totalement absentes chez les individus témoins et qui sont traduites par un aspect rétracté dense et diffus des hémocytes ; des cellules complètement vidées de leurs contenus cytoplasmiques et enfin l'apparition de nodules et des granules de sécrétions libérés par les granulocytes.

La destruction des cellules hémocytaires de *C. capitata* semble être due à l'action des saponines d'*A. vasica*. Ces métabolites ont des propriétés hémolytiques selon Krief (2003). Ce dernier, souligne, également, que les terpènes peuvent jouer un rôle dans la toxicité des plantes.

Les mêmes altérations structurales et formation de nodules d'encapsulation ont été soulignées chez Zibae (2011) qui a réalisé une étude sur les insecticides botaniques et leurs effets sur la biochimie et l'immunité des insectes.

Nos observations corroborent avec celles faites par Kaidi et al. (2017) qui ont traité les L5 et imagos de *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria* par l'extrait acétonique de *Calotropis procera*. Rosales (2017), dans une étude descriptive des cellules cristallines, des

plasmatoctes, et des lamellocytes chez *Drosophila melanogaster*, indique que l'infection bactérienne provoque les mêmes altérations structurales notées dans notre présent travail Nos résultats corroborent avec ceux trouvés par Tebah (2023) et Yennek et Yahiatene (2023), qui ont étudié, respectivement, la cytotoxicité des feuilles de *Calotropis procera* et *Salvadora persica* contre les adultes de *C. capitata*.

IV.3.2. Etude quantitative

L'étude des indices hématologiques chez les animaux (vertébrés ou invertébrés) sont importants pour déterminer le risque de toxicité puisque des changements dans le système sanguin ont une valeur prédictive supérieure pour la toxicité humaine (D'après Olsen et al., 2000).

Le nombre d'hémocytes est affecté à la fois par les facteurs internes de l'insecte, tels que l'âge, le stade de développement, le sexe et la taille de l'insecte (Jones, 1962 ; Ragan et al., 2009 ; Rantala et al., 2020). Comme il peut être affecté par des facteurs externes tels que l'état nutritionnel, l'état physiologique et l'exposition aux toxines (Beetz et al., 2008 ; Ghoneim & History, 2019). Des changements dans le nombre d'hémocytes ont également été signalés après un traitement avec un insecticide ; la dose, la durée d'exposition, le temps, la dose et la durée d'exposition (George & Ambrose, 2004 ; Morya et al., 2010 ; Perveen & Ahmad, 2017 ; Tiwari et al., 2006).

Du point de vue quantitatif, nous avons remarqué que le taux d'hémocytes chez les adultes traités par l'extrait aqueux d'*A. vasica* a été réduit par rapport à celui des témoins, soit baisse moyenne considérable allant de 311 pour les témoins à 180 hémocytes chez les mouches traitées. Cette baisse numérique concerne les prohéocytes concerne les prohéocytes et les granulocytes, tandis que les plasmatoctes ont légèrement augmenté.

Cette diminution remarquable peut s'expliquer par leur intervention dans le processus de défense immunitaire mais l'action hémolytique des métabolites secondaires d'*A. vasica* tel que les saponines. La diminution du nombre des hémocytes peut être également due à l'épuisement de ces cellules suite à la phagocytose des toxines. De ce fait, la toxine de la plante a, certainement, échappé à la barrière phagocytaire du système immunitaire des individus traités, en provoquant 24 heures après le traitement une lyse presque totale des cellules.

Quant à la légère augmentation des plasmatoctes, ceci pourrait être expliqué par la phagocytose est une réponse immunitaire rapide où les hémocytes se multiplient pour pouvoir

phagocyter les corps étrangers (Hilliier 2016). D'ailleurs, chez les insectes, la phagocytose ne joue pas seulement un rôle important dans la défense contre les pathogènes, elle est aussi un facteur important lors de la métamorphose car elle élimine les tissus dégénérés et les cellules apoptotiques (Feldhaar et Gross, 2008). Ce type de défense immunitaire a été observé chez les adultes de *Drosophila melanogaster* traité par l'imidaclopride dans un travail de recherche réalisé par Walderdorff en 2019.

Rosales (2017), dans une étude descriptive portant sur les cellules cristallines, les plasmatocytes et les lamellocytes chez *Drosophila melanogaster*, rapporte que l'infection bactérienne entraîne une diminution significative du nombre des différents types d'hémocytes, à l'exception des plasmatocytes, dont le nombre augmente pour déclencher une réponse immunitaire immédiate

Kaidi (2018) avait signalé une chute remarquable du nombre des hémocytes avec une augmentation considérable des plasmatocytes des imagos de *S. gregaria* traités par les champignons entomopathogènes *Métarhizium anisopliae* Var *acridum* et *Beauveria bassiana* ainsi que par six plantes du désert, soient ; *Calotropis procera*, *Citrullus colocynthis*, *Cleome arabica*, *Solenostemma argel*, *Aerva javanica* et *Salvadora persica*

Kaidi (2023) avait également enregistré une diminution remarquable de nombre des prohéocytes et des plasmatocytes des adultes de *Ceratitis capitata* traités par l'extrait aqueux de *Salvadora persica*

Conclusion générale

La mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* n'a cessé de susciter l'intérêt de la recherche dans les pays du Bassin Méditerranéen, notamment en Algérie, ce à cause des dégâts occasionnés sur l'arboriculture fruitière, induisant, de ce fait, la dépréciation de la valeur marchande des fruits piqués, ainsi que leur refus à l'exportation qui influe particulièrement notre production.

Toutefois, l'utilisation des insecticides chimiques contre la cératite constitue une menace pour l'environnement, la faune auxiliaire et la santé publique et est même à l'origine de nombreux cas de résistances chez les insectes.

Le recours à des molécules naturelles, telles que présentes dans les espèces végétales (d'intérêt écologique et économique) s'avère être une alternative prometteuse pour une lutte contre les insectes ravageurs, puisque depuis toujours les plantes ont été utilisées pour leurs bénéfices thérapeutiques, pharmaceutiques, leurs abondances dans la nature qui ne nécessitent pas de frais élevés.

Notre travail de recherche qui vise à explorer une nouvelle approche biologique pour réduire les populations de *C. capitata*, consiste en l'évaluation de l'effet insecticide de l'extrait aqueux d'une plante médicinale *Adhatoda vasica* (Noix de Malabar) contre les pupes et les adultes de la cératite, au laboratoire.

Le criblage phytochimique des feuilles d'*A. vasica* révèle une présence considérable en : polyphénols, flavonoïdes et terpénoïdes. Les tanins condensés, les saponines et les stéroïdes sont également présents avec une absence totale des sucres réducteurs.

En effet, ces métabolites interviennent dans l'activité insecticide d'*A. vasica* vu que le traitement des individus adultes de *C. capitata* par l'extrait aqueux de ladite plante a révélé une toxicité notable traduite par une action neurotoxique sur les mouches traitées, exercée, certainement, par les alcaloïdes contenus dans *A. vasica*. Cette neurotoxicité a été suivie de la mort totale des individus traités, soit, un début de mortalité enregistré à partir du 2^{ème} jour de traitement, 50% de mortalité notée à partir du 7^{ème} jour et une mortalité totale des individus observée 10 jours après le traitement, avec un TL50 de l'ordre de 5,66 jours. La toxicité de la plante en question contre les mouches de la cératite pourrait être expliquée, également, par l'action des flavonoïdes, les terpènes et les saponines, selon la littérature scientifique.

S'agissant du traitement des pupes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*A. vasica*, nous avons noté que l'émergence des pupes en adultes s'est déroulée normalement. Ce qui indique que l'extrait aqueux n'a pas eu d'effet inhibiteur sur la nymphose de ce diptère. Toutefois, les adultes nouvellement émergés sont toutes morts quelques heures seulement après l'émergence.

En sus, nous avons, également, étudié l'effet de l'extrait aqueux d'*A. vasica* vis-à-vis de l'hémolymphe des mouches, où observé, dans l'hémolymphe des individus traités, d'importantes altérations structurales des hémocytes, voir une désagrégation considérable de la plupart des hémocytes, ne laissant que des débris. En effet, la plupart des hémocytes se sont vidées de leur contenu cellulaire, mais aussi, l'apparition de certains nodules et de groupes d'amas de cellules rétractées, mais aussi des granules de sécrétion éparpillés dans le cytoplasme, correspondant à la libération de ces derniers par les granulocytes. Notons qu'avant les traitements effectués, nous avons procédé, tout d'abord, à l'identification des différentes catégories d'hémocytes présentes dans l'hémolymphe de la mouche méditerranéenne des fruits. Il s'agit de prohéocytes, de plasmocytes, de granulocytes et de coagulocytes.

Pour ce qui est de l'hémogramme, celui-ci a, également, été perturbé, à savoir, une chute numérique considérable de quelques catégories hémocytaires.

En effet, du point de vue quantitatif, nous avons remarqué que le taux d'hémocytes chez les adultes traités par l'extrait aqueux d'*A. vasica* a été réduit par rapport à celui des témoins, soit baisse moyenne considérable allant de 311 pour les témoins à 180 hémocytes chez les mouches traitées. Cette baisse numérique concerne les prohéocytes et les granulocytes, tandis que les plasmocytes ont légèrement augmenté.

Cette diminution remarquable peut s'expliquer par leur intervention dans le processus de défense immunitaire mais l'action hémolytique des métabolites secondaires d'*A. vasica* tel que les saponines. La diminution du nombre des hémocytes peut être également due à l'épuisement de ces cellules suite à la phagocytose des toxines. De ce fait, la toxine de la plante a, certainement, échappé à la barrière phagocytaire du système immunitaire des individus traités, en provoquant 24 heures après le traitement une lyse presque totale des cellules. De ce fait, la toxine de la plante a, certainement, échappé à la barrière phagocytaire du système immunitaire des individus traités, en provoquant 24 heures après le traitement une lyse presque totale des cellules.

Nous pouvons, ainsi, conclure que les composés naturels et toxiques présents dans *Adhatoda vasica* pourraient, alors, constituer une base prometteuse pour la synthèse de

molécules insecticides. Ces dernières pourraient être en meilleure harmonie avec l'environnement.

Dans ce contexte les perspectives suivantes sont envisageables :

- Optimisation des méthodes d'extraction et d'identification pour mieux cibler les molécules bioactives dans diverses plantes.
- La recherche d'une méthode expérimentale idéale pour l'étude des interactions antagonistes- ravageurs, ce qui augmente la chance d'acquiescer une bonne formulation biopesticide.
- Déterminer les corrélations à forte signification entre telle molécule bioactive et tel ravageur, En effectuant des essais nombreuses est précises. Ces trois axes sont les facteurs de la fiabilité et l'efficacité des moyens de lutte biologique.

Références bibliographiques

1. **Aboussaid H., El Messoussi S. et Oufdou K., 2009-** Activité insecticide d'une souche marocaine de *Bacillus thuringiensis* sur la mouche méditerranéenne : *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera : Tephritidae). *Afrique SCIENCE* 5(1), p. 160-172.
2. **Abd-Elgawad, M. M. (2021).** The Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae), a key pest of citrus in Egypt. *Journal of Integrated Pest Management*, 12(1), 28.
3. **Abd-Elgawad, M. M. M., Abdel-Razek, A. S., & Abd El-Wahab, A. E. (2012).** Efficacy of kaolin, entomopathogenic nematodes and fungi on the Mediterranean fruit fly infecting citrus. *Egyptian Journal of Agronematology*, 11, 178-192
4. **Ali Ahmed-Sadoudi D., 2007.** *Bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 (Diptera : Trypetidae) dans quelques vergers de la Kabylie. Thèse de Doctorat Univ. Mouloud Mammeri T.O. 179 p.
5. **Ali Ahmed, D., Soltani, N., Kellouche, A., & Mazouzi, F. (2007)-** Effects of the soil texture and the burying depth of the larvae on some biological parameters of *Ceratitis capitata* (Diptera : Trypetidae). *African Journal of Agricultural Research*, 2, 105-111.
6. **Ali, M., Hakeem, K. R., Ali, M., & Hakeem, K. R. (2020).** Distribution and Availability of the Present Remedy. *Scientific Explorations of Adhatoda vasica: An Asian Health Remedy*, 5-6.
7. **Alouani A., Remichi N et Soltani N., 2009.** Larvicidal activity of neem tree extra (Azadirachtin) against mosquito larvae in the republic of Algeria. *Jordan journal of biological sciences* (2): 15-22.
8. **Aouati A., 2016-** *Etude de la toxicité de certaines plantes sur les larves de Culex pipiens* (Diptera, Culicidae). Université des frères mentouri. Faculté des sciences de la nature et de la vie. 129p
9. **Azevedo, EM et Parra, JR (1989).** Influence de l'humidité dans deux types de solo, lors de l'émergence de *Ceratitis capitata*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 24 , 321-327.
10. **Bachiri L., Echchegadda G., Ibjibijen J., Nassiri L., 2016.** Etude phytochimique et activité antibactérienne de deux espèces de lavandes autochtones au Maroc: *Lavandula stoechas* L. et *Lavandula dentata* L. *European Scientific Journal* 12 (30) : 1857- 7881.

11. **Balachowsky A.S. & Mesnil L., 1935:***Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Leurs mœurs, leur distribution. Insectes nuisibles aux arbres fruitiers, à la vigne, aux céréales et aux graminées de prairies.* Ed. Busson, tome 1, Paris : 242-253.
12. **Balachowsky A.S., 1951.** L'origine de la mouche des fruits (*Ceratitis capitata* Wied, 1824) C.R. Acad. Agric. Fr (36): 242-253.
13. **Barakat, A. A., Abd El-Hameed, H. M., Karam, T., Salwa, A. E., & Heba, M. E. (2024).** Toxic and biological impact of vegetative parts extract, *Euphorbia tirucalli* L. towards *Ceratitis capitata* (Wiedemann). *Cuestiones de Fisioterapia*, 53(02), 627-637
14. **Bateman M.A., 1972.**The ecology of fruit flies. *Ann. Rev. Entomol*, (17): 493-518.
15. **Bento, FDM, Marques, RN, Costa, MLZ, Walder, JMM, Silva, AP, & Parra, JRP (2010).** Développement nymphal de *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae) et *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera : Braconidae) à différentes valeurs d'humidité dans quatre types de sol. *Entomologie environnementale* , 39 (4), 1315-1322
16. **Bjeliš, M., Rodovitis, VG, Lemic, D., Kaniouras, P., Gančević, P. et Papadopoulos, NT (2024).** Histoire d'invasion et dynamique de dispersion de la mouche méditerranéenne des fruits dans la péninsule balkanique. *Insectes* , 15 (12), 975..
17. **Bodenheimer F.S., 1951-***Citrus entomology in the Middle East with special references to Egypt, Iran, Irak, Palestine, Syria, Turkey:* 87-161p.
18. **Boller E. F., 1983-** *Biotechnical methods for the management of fruit fly populations.* In: *Cavalloro R.* (Ed.) *Fruit flies of economic importance.* Proc. CECIOBOC Int. Symp., Athens, Greece, 16-19 Nov. 1982. Balkema, Rotterdam: 642p.
19. **Boudjelida, H., and N. Soltani.2011:** *Pathogenicity of Metarhizium anisopliae (Metsch) on Ceratitis capitata L.(Diptera: Tephritidae).**Annals of Biological Research. Depart. Ento.* Univ. Badji Mokhtar,Annaba, Algeria,2(2): 104- 110.
20. **Bonizzoni, M., Malacrida, A. R., Guglielmino, C. R., Gomulski, L. M., Gasperi, G., & Zheng, L. (2000).** Microsatellite polymorphism in the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Insect Molecular Biology*, 9(3), 251-261.
21. **Cayol J.P., Causse R., Louis C. et Barthes J., 1994 -** Medfly *Ceratitis capitata* Wiedmann (Diptera: Tephritidae) as a rot vector in laboratory conditions. *J. Appl. Entomol.*, 117: 338-343
22. **Carey, J. R. (1984).** Host-specific demographic studies of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*. *Ecological Entomology*, 9(3), 261-270

23. **Chambers, D. L., Cunningham, R. T., Lichty, R. W., & Thraikill, R. B. (1974).** Pest control by attractants: a case study demonstrating economy, specificity, and environmental acceptability. *Bioscience*, 150-152.
24. **Choudhary, S., Kaurav, H., & Chaudhary, G. (2021).** *Adhatoda vasica* (Vasapatra): a review based upon its medicinal properties. *Int J Res Ayurveda Pharm*, 12(3), 79-87.
25. **Claeson, U. P., Malmfors, T., Wikman, G., & Bruhn, J. G. (2000).** *Adhatoda vasica*: a critical review of ethnopharmacological and toxicological data. *Journal of ethnopharmacology*, 72(1-2), 1-20
26. **Cosimi, S., Rossi, E., Cioni, P. L., & Canale, A. (2009).** Bioactivity and qualitative analysis of some essential oils from Mediterranean plants against stored-product pests: Evaluation of repellency against *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Tenebrio molitor* (L.). *Journal of Stored Products Research*, 45(2), 125-132.
27. ***Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Tenebrio molitor* (L.).** *Journal of Stored Products Research*, 45(2), 125-132.
28. **Debouzie D., 1977.** Etude de la compétition larvaire chez *Ceratitis capitata* (Diptera, Trypetidae). *Arch. Zool. Exp Gen. T. 118, Fac c3: 316-334.*
29. **Delanoué P., et Soria F., 1962.** Au sujet de l'avortement de l'évolution de *Ceratitis capitata* Wied dans certains agrumes de Tunisie. *Ann de l'INRAT vol. 35 : 75-96.*
30. **Delrio G., 1985.** *Tephritid pests in citriculture. CEC/Porc. Experts meeting. Acireal; Balkema. Rotterdam Integrated pest control in citrus.* Ed. Recher. Cavaloro and Dimartino: 135-149.
31. **Djaout K., 2015 –** *Essai de lute bio-insecticide contre la mouche méditerranéenne des fruits Ceratitis capitata (WIEDMANN, 1824), (Diptera : Tryptidae) avec l'extrait ddes feuilles de la lavande (Lavandula stoechas) au laboratoire.* Mém.Mast., Univ, Mouloud Mammeri, 44p
32. **Dhaliwal, G. S., & Koul, O. (2011).** Biopesticides and pest management: conventional and biotechnological approaches. Kalyani Publishers
33. **Driouchi A., 1990.** Evaluation économique des pertes causées par la mouche méditerranéenne des fruits: cas de l'économie agricole Tunisienne. *Rapport de mission d'un expert consultant AIEA/FAO. Division de l'assistance technique et de la coopération,* 22p.

34. **Duyck, PF, et Quilici, S. (2002).** Survie et développement à différents stades de développement de trois espèces de *Ceratitis* (Diptera : Tephritidae) élevées à cinq températures constantes. *Bulletin de recherche entomologique*, 92 (6), 461-469.
35. **Enkerlin W.R And JD. Mumford, 1998.** Economic evaluation of three alternative methods for control of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Palestine, Jordan, Labanon and Syria. *Final report to IAEA*: 1066-1072.
36. **Ekesi S, Maniana N.K, Lux S.A, 2003.**Effect of soil temperature and moisture on survival and infectivity of *Metarhizium anisopliae* to four Tephritid fruit fly puparia. *J. Inverteber.Path.*83: 157-167.
37. **Elqdhly, MB, Ait Hamza, M., Askarne, L., Fossati-Gaschignard, O., Lakhtar, H., El Mousadik, A., ... & Boubaker, H. (2024).** Biologie, écologie et lutte contre la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae), avec une référence particulière à la lutte biologique par nématode entomopathogène (EPN) : une revue. *Journal of Plant Diseases and Protection* , 131 (2), 365-402.
38. **Erler F., Ulug I., Yalankaya B., 2006.**Repellent activity of five essential oils against *Culex pipiens*. *Fitoterapia*. 77: 491-494.
39. **Eskafi, FM, et Fernández, A. (1990).** Mortalité larvaire-nymphale de la mouche méditerranéenne des fruits (Diptera : Tephritidae) en fonction de l'interaction entre le sol, l'humidité et la température. *Environmental Entomology*, 19 , 1666-1670.
40. **Fahad, K., Gmira, N., Benziane, T., & Sekkat, A. (2014).** Etude de la bio-écologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann (1824) sur rosacées dans la région de Sefrou (Maroc). *Entomologie Faunistique-Faunistic Entomology*.
41. **Fathima, T., Joghee, S., & Alex, A. M. (2020).** An updated review, *Adhatoda vasica*. *Int. J. Res. Pharm. Sci*, 11(3), 3981-3987.
42. **Fellah H., 1996.** Contribution à l'étude de la bioécologique de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Weidemann (Diptera : Tephritidae) sur les fruits d'été. Mémoire de fin de cycle de spécialisation de l'INAT. Tunisie.
43. **Fitt, G.P. (1986):** The roles of adult and larval specializations in limiting the occurrence of fivespecies of *Dacus* (Diptera, Tephritidae) in cultivated fruits. *Oecologia*, 69: 101-109.
44. **Ghanim, N. M. (2017).** Population fluctuations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wied.) with respect to some ecological factors in peach orchards. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 8(11), 555-559.

45. **Gilmore, J. E., 1989-** *Sterile insect technique (SIT): overview*, p. 353-363. In 1690 A. S. Robinson & G. Hooper, eds., *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. W. Helle, ed., *World crop pests*, Vol. 3(B). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 447 p.
46. **Grout, TG, et Stoltz, KC (2014)**. Taux de développement à température constante de trois espèces de *Ceratitidis* (Diptera : Tephritidae) d'importance économique en Afrique australe. *Environmental Entomology*, 36 (6), 1310-1317.
47. **Guarrera, P. M. (1999)**. Traditional antihelmintic, antiparasitic and repellent uses of plants in Central Italy. *Journal of ethnopharmacology*, 68(1-3), 183-192.
48. **Hafsi, A., Abbes, K., Harbi, A., Rahmouni, R., & Chermiti, B 2015-**Comparative efficacy of Malathion and spinosad bait sprays against *Ceratitidis capitata* Wiedmann (Diptera: Tephritidae) in Tunisian citrus orchards. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(6), 246-49.
49. **Harris, E. J. (1989)**. Pest status: Hawaiian islands and North America. *Fruit flies: their biology, natural enemies and control*, 3, 73-81.
50. **Ibrahim, A., Soliman, N. A., Alamin, S. M., Mesbah, A. E., & Mahmoud, A. (2023)**. SUSCEPTIBILITY OF THE DIFFERENT STAGES OF THE MEDFLY CERATITIS CAPITATA WIEDEMANN (DIPTERA: TEPHRITIDAE) TO THE EXTRACTS OF VIOLA ODORATA AND EUCALYPTUS CAMALDEULENSIS. *Egyptian Journal of Zoology*, 80(80), 18-34
51. **Jerraya, A. (2003)**. Principaux nuisibles des plantes cultivées et des denrées stockées en Afrique du Nord: leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts et leur contrôle. Climat pub
52. **Kaidi, N., 2018** – *Bioécologie et distribution spatio-temporelle des populations solitaires du criquet pèlerin (Schistocera gregaria Forscal, 1775)(Orthoptera, Acrididae) en période de rémission dans le Sud Algérien et les essais de lutte biologique*. THèse Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Aronomique, El-Harrache, 186p.
53. **Kaur, A., & Kaur, P. (2017)**. Green pesticides for clean environment. *International Journal of Engineering Development and Research*, 5(4), 1347-1349.
54. **Kara, D., et Tellache, Z., 2015-** *Effet bio-insecticide de l'extrait de romarin (Rosmarinus officinalis) sur lrs larves et les pupes de la mouche méditerranéenne des fruits (Ceratitidis capitata) (WIEDMANN, 1824)(Diptera : Trypetidae)*. Mém.Master, Université Mouloud Mammeri), 47p.

55. **Kellouche A., Ait Aider F, Labdaoui K., Moula D., Hamadi N., Ouramdane A, Fererot B. & Mellouk M., 2010.** Biological activity of ten essential oils against cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae). *International Journal of Integrative Biology*. Vol.10: 86-83.
56. **Koua K.H., Hans S.H & D’Almeida M.A., 1998-** Histopathologie d’*Anopheles gambiae*. S.I. Gilis, 1902 (Diptera, Culicidae) soumis à l’activité larvicide de l’extrait aqueux de *Persea americana* Miller 1768 (Lauraceae), *Entomologie médicale*.
57. **Krainacker, D.A., Carey, J.R., & Vargas, R.I. (1989):** Size-specific survival and fecundity for laboratory strains of two tephritid (Diptera: Tephritidae) species: implications for mass rearing. *Journal of Economic Entomology*, 82 : 104-108.
58. **Kumar, A., Ram, J., Samarth, R. M., & Kumar, M. (2005).** Modulatory influence of *Adhatoda vasica* Nees leaf extract against gamma irradiation in Swiss albino mice. *Phytomedicine*, 12(4), 285-293.
59. **Laamari, M., Talbi, Y., & Mahmoudi, R. (2015).** *Ceratitis capitata*: une nouvelle menace pour le pommier en Algérie. *Eppo Bulletin*, 45(2), 207-208.
60. **Lachiheb A., 2008.** *Optimization de la dose d’irradiation dans le cadre d’un projet de lutte contre Ceratitis capitata*. Mémoire d’ing. Ecol sup. d’Agri. De Morgane, Tunisie. 122p.
61. **Liquido N.J., Cunningham R.T., et Nakagawa S., 1990:** Host plants of the mediterranean fruit fly on the island of Hawaii (1949-1985 survey).]. *Econ.Entomol.* 83: 1863-1878.
62. **Magaña, C., Hernández-Crespo, P., Ortego, F., & Castañera, P. 2007.-** Resistance to Malathion in Field Populations of *Ceratitis capitata*. *Journal of Economic Entomology*, 100(6), 1836–1843.
63. **Messenger, PS, et Flitters, NE (1959).** Effet des variations de température sur le développement des œufs de trois espèces de mouches des fruits. *Annales de la Société d’entomologie d’Amérique* , 52 (2), 191-204.
64. **Meyer J.Y., 2002.** La lutte biologique contre les espèces introduites envahissantes : solution miracle ou méthodes risquées. Fiche tech. Maroc. 16p.
65. **Meyer, M. D. (2000).** Systematic revision of the subgenus *Ceratitis* MacLeay ss. (Diptera, Tephritidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 128(4), 439-467.
66. **Michaud JP .2003.** Toxicité des appâts contre les mouches des fruits pour les insectes utiles des agrumes. *Journal de la science des insectes* (dans la presse).
67. **Midgarden, D., Ovalle, O., Epsky, N. D., Puche, H., Kendra, P. E., Rendon, P., &**

- Heath, R. R. (2004).** Capture of Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae) in dry traps baited with a food-based attractant and Jackson traps baited with trimedlure during sterile male release in Guatemala. *Journal of economic entomology*, 97(6), 2137-2143.
- 68. MIMOUNI.W., 2009.** Détection de la Wolbachia dans la population sauvage tunisienne de *Ceratitis capitata*. 64p
- 69. Morsi, G., Farag, S. R., & Ragab, S. K. (2023).** Toxicity Evaluation of Foliar Extracts of some Medical Plants on Fruit Fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) and Peach Fly *Bactrocera zonata* (Saunders), Diptera: Tephritidae. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 14(6), 165-169.
- 70. Mossa, A. T. H. (2016).** Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of environmental science and technology*, 9(5), 354.
- 71. Navarro-Llopis, V., Ayala, I., Sanchis, J., Primo, J., & Moya, P. (2015).** Field efficacy of a *Metarhizium anisopliae*-based attractant–contaminant device to control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(4), 1570-1578.
- 72. Nèbie R.C.H., 2005.** *Etude des huiles essentielles de plantes aromatiques du Burkina : Production, composition chimique et propriétés insecticide.* Thèse doctorales Science physique, Université de Ougadougou, Burkina Faso.175p.
- 73. Nunez, B. L. (1987).** La moska del mediterreo. Informa (Enera. Febrero-Maio), CA, 9-17.
- 74. Oukil S., 1995 :** *effet des insecticides et des radiations ionisantes en relation avec la variabilité de Ceratitis capitata (Diptera :trypetidae).* Thèse 3èmecycle.Univ. Aix. Marseille III. Fac. Sci. Tech. St Jerome. 138p.
- 75. Oukil S., Bues R., Toubon J.F., Quilici S., 2002.**Allozyme polymorphism in populations of *Ceratitis capitata* from Algérie, the northwestern Mediterranean coast and Reunion Island. *Fruit 57*: 183-191.
- 76. Papadopoulos NT, 2017.**Toxic and hormetic-like effects of three components of citrus essential oils on adult Mediterranean fruit flies (*Ceratitis capitata*).PLoS ONE 12 (5): e0177837.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177837>.
- 77. Pengs S., 1983.**Biological control- One of the fine traditions of ancient Chines agricultural techniques.*Scientia Agricultura Sinica*, N°1, p. 92-98.
- 78. Quayle, HJ (1914).** Insectes des agrumes dans les pays méditerranéens (n° 134). Département de l'Agriculture des États-Unis.
- 79. Rageau J et Delaveau P., 1980.** Effet toxique d'extraits végétaux sur les larves de moustiques. *Bulletin de la société de pathologie exotique (72)* : 168-171.

80. **Rao, J., Zhang, Y., Zhao, H., Guo, J., Wan, F., Xian, X., ...& Liu, W. (2024).** Projecting the Global Potential Geographical Distribution of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) under Current and Future Climates. *Biology*, 13(3), 177.
81. **Regnault-Roger C., Ribodeau M, Hamraoui A, Bateau I, Blanchard P, Gil-Munoz MI, Barberan FT., 2004.** Polyphenolic compounds of Mediterranean Lamiaceae and investigation of orientational effect on *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Journal of stored Product Research* .Volum 40 (4): 395-408.
82. **Riba G. et Silvy C., 1989.** Combattre les ravageurs des cultures, enjeux et perspectives. INRA, Paris, 230 p.
83. **Ricalde, MP, Nava, DE, Loeck, AE, & Donatti, MG (2012).** Développement et survie thermodépendants des populations brésiliennes de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata*, des régions tropicales, subtropicales et tempérées. *Journal of Insect Science* , 12 (1), 33.
84. **Rohrlich, C. (2018).** *Lutte biologique à base de champignons entomopathogènes du genre Beauveria en zone tropicale* (Doctoral dissertation, Université de la Réunion).
85. **SADOUDI-ALI AHMED, D. (2019).** *Biologie de la mouche méditerranéenne des fruits Ceratitis capitata Wied, 1824 (Diptera; Trypetidae) en Kabylie*. Thèse Doc., Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 12p
86. **Sarker, A. K., Chowdhury, J. U., & Bhuiyan, H. R. (2011).** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil Collected from *Adhatoda vasica* leaves. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 46(2), 191-194.
87. **Saxena, B. P., Tikku, K., Atal, C. K., & Koul, O. (1986).** Insect antifertility and antifeedant allelochemics in *Adhatoda vasica*. *International Journal of Tropical Insect Science*, 7(4), 489-493.
88. **Seguy E., 1950:** La biologie des Diptères: Encyclopédie entomologique. Ed. Paul Le chevalier Paris VI. 609p.
89. **Shamsuddin, T., Alam, M. S., Junaid, M., Akter, R., Hosen, S. Z., Ferdousy, S., & Mouri, N. J. (2021).** *Adhatoda vasica* (Nees.): A review on its botany, traditional uses, phytochemistry, pharmacological activities and toxicity. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 21(14), 1925-1964.
90. **Sharma, M. K., & Sharma, R. K.** A Research Paper on Applied Medical Phytogeography of Shekhawati Region.

91. **Shoaib, A. (2021).** A systematic ethnobotanical review of *Adhatoda vasica* (L.), Nees. *Cellular and Molecular Biology*, 67(4), 248-263.
92. **Shoukry, A., & Hafez, M. (1979).** Études sur la biologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata*. *Entomologia Experimentalis et applicata* , 26 (1), 33-39.
93. **Slansky F., Jrand Scriber J.M., 1985-** Food consumption and utilization In *Comprehensive Insecte Physiology, Biochemistry and Pharmacology (Eds Kerkut G.A. and Gilbert L.L)*, vol. 3, pp 87-163 Pergamon Press, Oxford.
94. **Tavares, W. R., Jiménez, I. A., Oliveira, L., Kuhtinskaja, M., Vaher, M., Rosa, J. S., ...& Barreto, M. D. C. (2023).** Macaronesian Plants as Promising Biopesticides against the Crop Pest *Ceratitis capitata*. *Plants*, 12(24), 4122.
95. **Thomas, M. C., Heppner, J. B., Woodruff, R. E., Weems Jr, H. V., Steck, G. J., & Fasulo, T. R. (2004).** Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann)(Insecta: Diptera: Tephritidae): EENY-214/IN371, rev. 9/2001. EDIS, 2004(8).
96. **Thomas, M. C., Heppner, J. B., Woodruff, R. E., Weems, H. V., Steck, G. J., & Fasulo, T. R. (2001).** Mediterranean fruit fly. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, EENY-214.
97. **Toledo J., Liedo P., Flores S., Campos S E., Villasenor A., et Montoya P., 2006:** Use of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for fruit fly control: a novel approach. *Proceedings of the 7th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance:* 127-132.
98. **Vayssières, J. F., Sinzogan, A. A. C., & Bokonon Ganta, A. (2008).** Les mouches des fruits du genre *Ceratitis* [Diptera: Tephritidae] en Afrique de l'Ouest: Fiche n° 1. *Projet régional de lutte contre les mouches des fruits en Afrique de l'Ouest.*
99. **Vayssières J.F., Sinzogan A., & Bokonon-Ganta A., 2008:** les mouches des fruits du genre *Ceratitis* (Diptera: Tephritidae) en Afrique de l'Ouest., IITA-CIRAD. UPR Production fruitière, Montpellier., 4p.
100. **Vinayaka K.S, Krishnamurthy YL, Prashithkekuda T.R, Praveen Kumar S.V,**
101. **Waage J., 2004.** La lutte biologique- Réaliser la promesse. Dossier Bio contrôle, décembre, p.1.
102. **Weems H., 1981:** Mediterranean fruit *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera : Trypetidae). *Pep. Agric. Cumer, Dir.Plant Industry. Entomol.Circ. Florida* (230), 12p.
103. **White I.M. & Elson-Haris M.M ; 1992:** Fruit Flies of Economic Significance: their identification and bionomics. C.A.B. ACIAR : 12-601.

104. **Zapata, N., Budia, F., Viñuela, E., & Medina, P. (2006).** Insecticidal effects of various concentrations of selected extractions of *Cestrum parqui* on adult and immature *Ceratitis capitata*. *Journal of Economic Entomology*, 99(2), 359-365.

Title :

Evaluation of the bioinsecticidal action of the medicinal plant *Adhatoda vasica* (L.) against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera, Tephritidae)

Abstract :

Our research aims to evaluate the bio-insecticidal action of the medicinal plant *Adhatoda vasica* against adults and pupae of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*, a formidable pest of fruit trees in the Mediterranean region. Firstly, phytochemical screening of *A. vasica* leaves reveals a considerable abundance of polyphenols, flavonoids, terpenoids, condensed tannins, saponins, and steroids, while reducing sugars are completely absent.

Secondly, the results relating to the treatment based on the aqueous extract of *A. vasica* against *C. capitata* highlight the neurotoxic action of the alkaloids contained in the plant, which acted on the central nervous system and the nervous system, followed by the death of all the individuals treated. This treatment was marked by the onset of mortality recorded from the second day of treatment, 50% mortality noted from the sixth day, and total mortality of the individuals observed 10 days after treatment. The TL50 is around 5,66 days. In addition, microscopic examination of the hemolymph of adult *C. capitata* treated with the aqueous extract in question revealed significant structural alterations in the hemolymph, which were completely absent in the control individuals and were reflected in a dense and diffuse retracted appearance of the hemocytes; cells completely emptied of their cytoplasmic contents, and finally the appearance of nodules and granules of secretions released by granulocytes. The destruction of hemocyte cells appears to be due to the action of *A. vasica* saponins. It should also be noted that these structural alterations are accompanied by a considerable drop in the number of prohemocytes, coagulocytes, and granulocytes, while plasmatocytes have increased slightly.

Keywords:

Ceratitis capitata, *Adhatoda vasica*, mortality, hemolymph, blood count, toxicity

العنوان:

تقييم التأثير الحيوي المضاد للحشرات لنبات أداتودا فاسيكا (L.) الطبي ضد ذبابة الفاكهة المتوسطي *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritida) (Wied.)

الملخص:

تهدف أبحاثنا الى تقييم تأثير المبيد الحيوي لنبات *Adhatoda vasica* الطبي ضد البالغات و الشرايق من ذبابة الفاكهة المتوسطية *Ceratitis capitata*, و هي افة خطيرة تهدد أشجار الفاكهة في منطقة البحر الأبيض المتوسط. أولا كشف الفحص الفينوكيميائي لأوراق *A. vasica* عن وجود كميات كبيرة من : البوليفينول، الفلافونويد، التربينويد، التانينات المكثفة، الصابونين والستيرويدات، في حين أن السكريات المختزلة غائبة تماما.

ثانياً، أظهرت النتائج المتعلقة بمعالجة *C. capitata* بمستخلص مائي من *A. vasica* التأثير العصبي للفلويدات الموجودة في النبات المذكور على الجهاز العصبي المركزي والجهاز العصبي، مما أدى إلى موت جميع الأفراد المعالجين. وقد تميزت هذه المعالجة ببدء معدل الوفيات المسجل اعتباراً "را من اليوم الثاني من المعالجة، حيث لوحظ معدل وفيات بنسبة 50% اعتباراً "را من اليوم السادس ومعدل وفيات إجمالي للأفراد بعد 10 أيام من المعالجة. و يبلغ TL50 حوالي 5,66 يو "ما. بالإضافة إلى ذلك، كشف الفحص المجهرى للدم في البالغين من *C. capitata*، الذين عولجوا بالمستخلص المائي المعني، عن تغيرات هيكلية كبيرة في الدم، غائبة تما "ما في الأفراد الضابطة، والتي تنجلي في شكل انكماش كثيف ومفروق للخلايا الدموية؛ خلايا فارغة تما "ما من محتوياتها السيتوبلازمية وأخي "را ظهور عقيدات وحببيات من الإفرازات التي تفرزها الخلايا الحبيبية. يبدو أن تدمير خلايا الدم ناتج عن تأثير الصابونين الموجود في *A. vasica*. وتجدر الإشارة أي "ضا إلى أن هذه التغيرات الهيكلية مصحوبة بانخفاض كبير في عدد الخلايا الدموية الأولية والخلايا التخثرية والخلايا المحببة، في حين زادت الخلايا البلازمية بشكل طفيف.

الكلمات المفتاحية:

Adhatoda vasica، *Ceratitis capitata*، معدل الوفيات، الهيموليمف، تعداد الدم، السمية

Titre :

Evaluation de l'action bio-insecticide d'une plante médicinale *Adhatoda vasica* (L.) contre la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera, Tephritidae)

Résumé :

Notre travail de recherche vise à évaluer l'action bio-insecticide d'une plante médicinale *Adhatoda vasica* contre les adultes et les pupes de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata*, redoutable ravageur des arbres fruitiers dans la région méditerranéenne. En premier lieu, le criblage phytochimique des feuilles d'*A. vasica* révèle une abondance considérable de : polyphénols, flavonoïdes, terpénoïdes, tanins condensés, saponines et des stéroïdes, alors que les sucres réducteurs sont totalement absents.

En second lieu, les résultats relatifs au traitement à base de l'extrait aqueux d'*A. vasica* contre *C. capitata*, font ressortir l'action neurotoxique des alcaloïdes contenus dans ladite plante ayant agi sur le système nerveux central et sur le système nerveux, suivi d'une mort de tous les individus traités. Ce traitement a été marqué par un début de mortalité enregistré à partir du 2ème jour de traitement, 50% de mortalité notée à partir du 6ème jour et une mortalité totale des individus observée 10 jours après le traitement. Le TL50 est de l'ordre de 5,66 jours. En sus, l'examen microscopique de l'hémolymphe des adultes de *C. capitata*, traités par l'extrait aqueux en question a révélé d'importantes altérations structurales au niveau de l'hémolymphe, totalement absentes chez les individus témoins et qui sont traduites par un aspect rétracté dense et diffus des hémocytes ; des cellules complètement vidées de leurs contenus cytoplasmiques et enfin l'apparition de nodules et de granules de sécrétions libérés par les granulocytes. La destruction des cellules hémocytaires semble être due à l'action des saponines d'*A. vasica*. A noter, également, que ces altérations structurales sont accompagnées par une chute considérable du nombre des prohémoocytes, des coagulocytes et des granulocytes, tandis que les plasmocytes ont légèrement augmenté.

Mots clés : *Ceratitis capitata*, *Adhatoda vasica*, mortalité, hémolymphe, hémogramme, toxicité