

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomique  
Département Biologie



## *Mémoire de fin d'études*



En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Biologique  
*Spécialité : Biologie des Organismes et des Population*

**Evaluation de l'activité toxique de l'extrait aqueux  
d *hoscyamus muticus* L. subps *falazlez* contre  
*Ceratitis capitata* (Weideman , 1824) (Tephritidae ,  
*Diptera*)**

• **Réalisé par :**

M<sup>elle</sup> ALIOUANE Nawal

M<sup>elle</sup> BABACI Céline

➤ **Membre de jury :**

Présidente : Mme DJIOUA Ouiza

MAA

UMMTO

Promotrice : Dr. KAIDI Narimen

Maitre de Recherche B.

INRAA

Co-Promotrice : Pr. BRAHMI Karima

Professeur

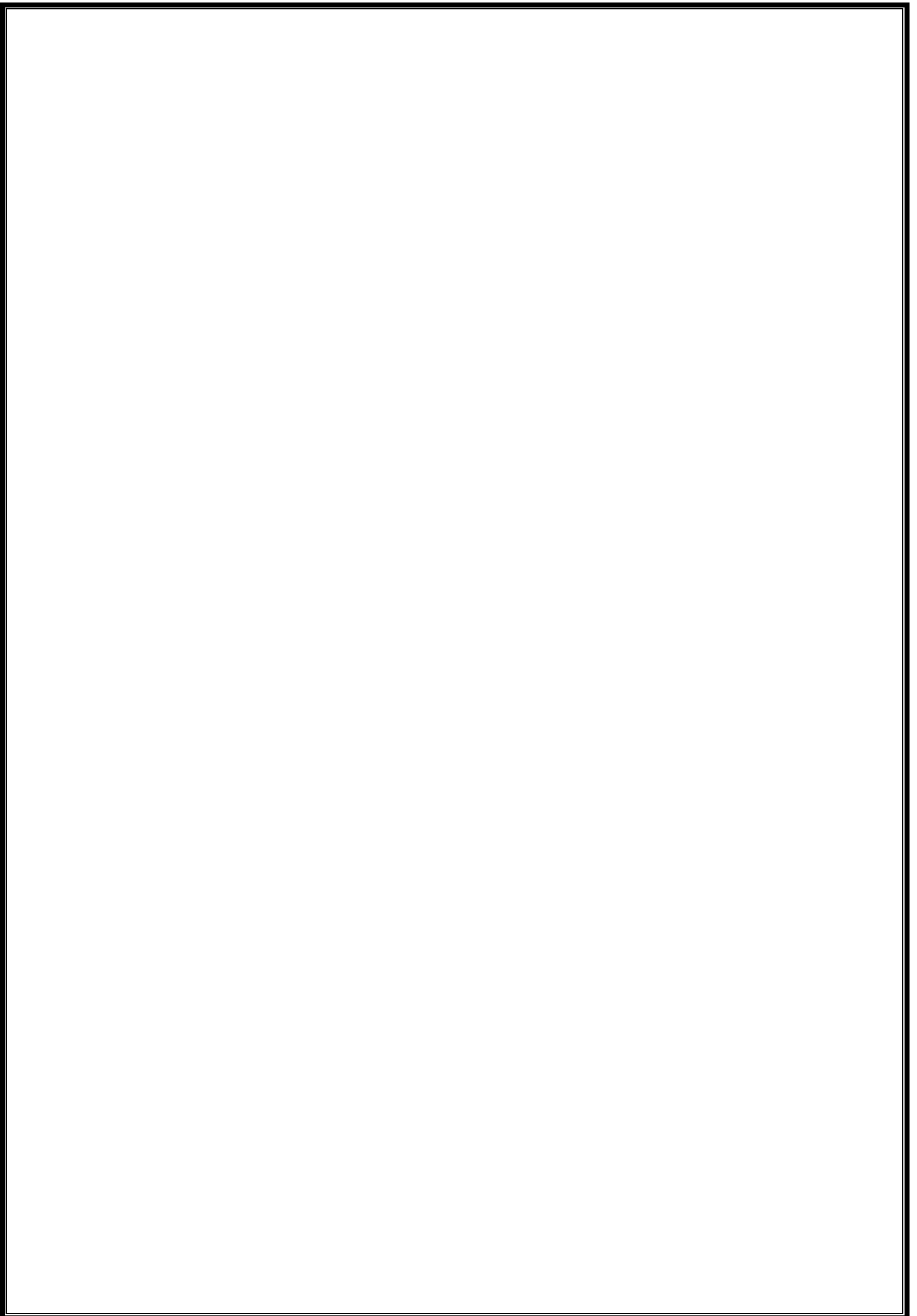
UMMTO

Examinatrice : Mme KHAMMES-TALBI Nassima

MAA

UMMTO

**Promotion: 2023/2024**



# Remerciement

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au bon dieu de nous avoir donné la force pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions particulièrement notre promotrice **Dr. KAIDI Narimen**, Maître de recherche B, de la Division de Recherche Protection des Cultures (Institut Nationale de la Recherche Agronomique d'Algérie, INRAA) qui nous a encadrés pendant la période de ce travail. son orientations nous a permis de mener à merveille ce travail. En mettant à notre disposition tous les moyens nécessaires. Notre Co-promotrice **Pr. BRAHMI Karima**, Professeur à l'UMMTO pour son soutien, ses conseils tout au long de ce travail. Elle a été dans grand soutient, d'encouragement et qui a fait preuve d'une grande patience.*

*Je remercie également **Dr. OUKIL Salah**, Directeur de la Division de Protection des Cultures de l'INRAA, de nous avoir acceptées au sein de sa division de recherche et qui nous a aider pendant la realisation de ce travail  
Je remercie également les membres de jury qui ont bien voulu juger ce travail à savoir :*

***Dr. TALMAT-CHAOUCHI Nora**, Maitre de conférences A à l'UMMTO et **Dr. DJIOUA Ouiza**, Maitre-assistant A à l'UMMTO.*

*Nous tenons à remercier le propriétaire du verger d'étude qui nous a facilité la réalisation de notre échantillonnage.*

*Nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Sans oublier nos familles qui ont beaucoup souffert pour que le but visé soit atteint.*

# Dédicace

*Je tiens à dédier ce travail tout particulièrement à :*

*À mes très chers parents, je souhaite exprimer ma profonde gratitude pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes études, ainsi que pour leurs sacrifices et leur soutien tout au long de mon parcours. Je prie Dieu le Tout-Puissant de leur accorder une bonne santé et de les récompenser pour toutes les peines et les sacrifices qu'ils ont consentis, auxquels je ne pourrai jamais rendre suffisamment hommage.*

*A ma chère sœur **CHANEZ** qui n'a pas cessée de m'encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu la protège et lui offre la chance et le bonheur.*

*A mes chers oncles et tantes*

*A mes chers cousins et cousines*

*A la famille **BABACI** et **LOUCIF***

*A ma chère binôme **NAWAL***

# Dédicace

*Je dédie ce travail:*

*A La mémoire de ma chère mère, dont le souvenir restera à jamais gravé dans mon cœur, en reconnaissance de tout ce que tu as fait pour moi*

*A mon père, pour ta sagesse, ton soutien infaillible, et les valeurs que tu m'as transmises*

*A mes chers frères, Abdellah, Ali, Elhachmi, AHCEN, Mustapha et Adel*

*A mes chères sœurs, Rachida, Dihia, Meriem, et Liza*

*A mes chères belles sœurs, Souad, ghania et Malika*

*A mes meilleurs(e) amis(e) Rahim & Liza*

*A ma chère binôme Céline*

*A la famille ALIOUANE et BOUABIDA*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Chronologie des signalements de <i>C. capitata</i> dans le monde.....	2
<b>Tableau 2</b> : Dimorphisme sexuel chez <i>C. capitata</i> ).....	7
<b>Tableau 3</b> : Différents moyens de contrôle de <i>C. capitata</i> .....	16
<b>Tableau 4</b> : Les différentes étapes du screening phytochimique utilisées pour <i>H. muticus L. subps falezlez</i> selon le protocole.....	29
<b>Tableau 5</b> . Résultat du screening phytochimique des feuilles d' <i>Hyoscyamus muticus L. subps Falezlez</i> .....	36
<b>Tableau 6</b> : Pourcentages moyens des mortalités journalières des adultes de <i>C. capitata</i> traités par l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	37
<b>Tableau 7</b> . Analyse de la variance des mortalités des adultes de <i>C. capitata</i> traités par l'extrait aqueux (par ingestion) d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	38
<b>Tableau 8</b> : 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>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	43
<b>Tableau 9</b> : Analyse de la variance de l'hémogramme des adultes de <i>C. capitata</i> traités par l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	44

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Distribution mondiale de la mouche méditerranéenne des fruits.....	3
<b>Figure 2</b> : Illustrations des mouches des fruits du genre <i>Ceratitis</i> en Afrique de l'Ouest.....	5
<b>Figure 3</b> : Aspect général de la femelle et du mâle de <i>C. capitata</i> .....	6
<b>Figure 4</b> : Aspect général des œufs de <i>Ceratitis capitata</i> observés sous loupe binoculaire (Gr x 32) .....	7
<b>Figure 5</b> : Aspect général d'une larve de <i>Ceratitis capitata</i> observés sous loupe binoculaire (Gr x 32).....	8
<b>Figure 6</b> : Aspect général des pupes de <i>Ceratitis capitata</i> observés sous loupe binoculaire (Gr x 32) .....	8
<b>Figure 7</b> : Cycle de vie de <i>Ceratitis capitata</i> .....	9
<b>Figure 8</b> : Nombre de génération de <i>Ceratitis capitata</i> (Oukil, 1995) .....	12
<b>Figure 9</b> : Organisation morphologique d' <i>Hyoscyamus muticus L. subsp. falezlez.</i> ....	18
<b>Figure 10</b> : Les différentes catégories cellulaires de l'hémolymphe des insectes .....	22
<b>Figure 11</b> : Division de recherche en Protection des cultures .....	26
<b>Figure 12</b> : Oranger et abricotiers attaqués par la cératite (Baraki) .....	27
<b>Figure 13</b> : Les différentes étapes d'élevage de la cératite .....	28
<b>Figure 14</b> : Technique de préparation de l'extrait aqueux d' <i>Hyoscyamus muticus L. subps falezlez</i> .....	31
<b>Figure 15</b> : Traitement des adultes de <i>C. capitata</i> par <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	32
<b>Figure 16</b> : Traitement des pupes par <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	33
<b>Figure 17</b> : Réalisation du frottis hémolympathioque de <i>C capitata</i> .....	34
<b>Figure 18</b> : Pourcentage de mortalités moyennes des adultes de <i>C. capitata</i> traités par l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	38
<b>Figure 19</b> : Efficacité de l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> contre les adultes de <i>C. capitata</i> .....	39
<b>Figure 20</b> : Taux d'émergence des adultes de <i>C. capitata</i> issus des pupes témoins et traitées par <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	40
<b>Figure 21</b> : Observation microscopique des différentes hémocytes identifiées dans l'hémolymphe des témoins de <i>C. capitata</i> (Gr. x 40 et Gr. x 100).....	41
<b>Figure 22</b> : Observation microscopique des différentes hémocytes des adultes de <i>C. capitata</i> traités par l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> (Gr. x 100).....	42
<b>Figure 23</b> : Nombre moyen des hémocytes et leurs différentes catégories dans l'hémolymphe des adultes de <i>C. capitata</i> témoins et traités par l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> .....	43

# Sommaire

## Liste des tableaux

## Liste des figures

## Introduction .....1

### Chapitre I : synthèse bibliographique

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

##### I.1.1 origine et historique de *ceratitis capitata*

I.1.1.1 origine ..... 4

I.1.1.2 historique et répartition géographique ..... 5

##### I.1.2 présentation de la mouche méditerranéenne des fruits *ceratitis capitata*

I.1.2.1 position systématique ..... 7

I.1.2.2 caractéristique morphologique ..... 7

I.1.2.3 cycle de vie de *ceratitis capitata* ..... 12

I.1.3 plantes hôtes, dégâts occasionnés et importance économique ..... 15

##### I.1.4 les facteurs agissant sur le développement de la mouche

I.1.4.1 les facteurs climatiques ..... 16

I.1.4.2 les facteurs édaphiques ..... 17

I.1.4.3 les facteurs biotiques ..... 18

I.1.5 méthodes de contrôle de *ceratitis capitata*..... 19

#### I.2 données bibliographiques sur *hyoscamus muticus.L subps falezlez*

I.2.1 description botanique ..... 20

I.2.1 .1 appareil végétatif ..... 20

I.2.1.2 appareil reproducteur..... 21

I.2.3 origine, aire de répartition et habitat ..... 22

I.2.5 utilisation d'*hyoscamus muticus* en phytothérapie ..... 23

I.2.6 effet secondaire d'*hyoscamus muticus* ..... 23

#### I.3 données générales sur l'hémogramme des insectes

I.3.1 composition de l'hémolymph	24
I.3.2 les différents types d'hémocytes	24
I.3.3 les fonctions physiologiques des hémocytes	26
I.3.4 l'hémolymph et la défense ; immunité et protection	26

## Chapitre II : approche méthodologique

II.1 problématique et objectifs	28
II.2 présentation de l'institut nationale de la recherche agronomique algérien ( I.N.R.A.A)	
II.2.1 aperçu sur la station (I.N.R.A.A) de Mahdi Boualem (Baraki)	28
II.3 Echantillonnage des fruits attaqués par la ceratite	29
II.4 technique d'élevage de la ceratite	31
II.5 échantillonnage de la plante <i>hyoscamus muticus</i>	32
II.6 screening phytochimique d' <i>hyoscamus muticus</i>	33
II.7 préparation de l'extrait aqueux d' <i>hyoscamus muticus</i>	34
II.8 protocole de traitement de la ceratite	
II.8.1 traitement des adultes	35
II.8.2 traitement des pupes	36
II.9 exploitation des résultats	
II.9.1 calcul de taux de mortalité	36
II.9.2 réalisation du frottis hemolymphatique de <i>C.capitata</i>	37
II.9.3 détermination de la DL 50	38
II.9.4 analyse statistique des résultats	38

## Chapitre III : résultats obtenus

III.1 screening phytochimique d' <i>Hyoscamus muticus</i>	39
III.2 effet de l'extrait aqueux d' <i>H.muticus</i> sur la mortalité des adultes te des pupes de <i>C.capitata</i>	40

III.3 analyse statistique .....	41
III.4 détermination de la DL50 .....	42
III.5 effet d' <i>Hyoscamus muticus L. sub felezlez</i> vis-à-vis des pupes de <i>C.capitata</i> .....	43
III.6 effet de l'extrait aqueux d' <i>Hyoscamus muticus</i> sur l'hémolymphe des adultes de <i>C.capitata</i>	
III.6.1 étude qualitative .....	43
III.6.2 Etude quantitative .....	46
 <b>Chapitre IV: Discussions des résultats obtenus</b>	
IV. 1. Screening phytochimique de <i>Hyoscyamus muticus L. subps falezlez</i> .....	48
IV.2. Activité toxique de l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> vis-à-vis des adultes et des pupes de <i>C. capitata</i> .....	49
IV.3. Effet de l'extrait aqueux d' <i>H. muticus L. subps falezlez</i> sur l'hémolymphe des adultes de <i>C. capitata</i>	
IV.3.1. Etude qualitative .....	51
IV.3.1. Etude quantitative .....	53
 <b>Conclusion</b> .....	 56
<b>Références bibliographiques</b> .....	58
<b>Resumés</b> .....	65

## **Introduction générale**

L'arboriculture fruitière joue un rôle essentiel dans la vie économique et sociale de l'Algérie. Grâce à sa position géographique et à ses variétés de conditions pédoclimatiques, ce vaste pays bénéficie de la possibilité de cultiver une grande diversité d'espèces fruitières et de produire des fruits frais tout au long de l'année.

Malgré l'essor que connaît le secteur arboricole, plus précisément l'agrumiculture, au sein de notre économie nationale, son développement reste confronté à plusieurs contraintes qui entravent notamment, l'amélioration qualitative et quantitative de la production.

En effet, ces contraintes, les différents problèmes phytosanitaires liés aux dégâts engendrés par les différents ravageurs et maladies, occupent une place de premier plan. Les pertes occasionnées sont considérables, aussi bien au niveau de la production qu'au niveau de la commercialisation.

Parmi les insectes nuisibles, voir, ravageurs de l'arboriculture fruitière, la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Weideman, 1824), est réputée comme l'une des espèces les plus destructrices dans les régions méditerranéennes (Bodenheimer, 1951). Ce diptère, signalé pour la première fois en Algérie en 1858, est un ravageur de grande importance économique, capable de causer des dommages importants aux fruits et de réduire ainsi leur accès au marché international. Cette espèce, 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 due 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, les producteurs ont recours à un contrôle chimique, souvent inopportun et mal raisonné caractérisé par un nombre de traitements très élevé et une panoplie de matières actives polyvalentes. La fréquence et les concentrations de ces pesticides utilisés peuvent porter préjudice à la spéculation et à plus ou moins long terme à l'ensemble de la biocénose, notamment par un développement du phénomène de résistance chez un grand nombre d'espèces de ravageurs vis-à-vis de certaines familles de produits (Chaboussou, 1968 ; Levitin et Cohen, 1998).

En sus, les résidus des insecticides synthétiques utilisés contre la cératite réduisent l'acceptabilité du consommateur vue la demande croissante d'aliments sans résidus.

De ce fait, les préoccupations environnementales et les risques pour la santé ont nécessité l'évaluation de nouvelles substances, plutôt naturelles, pour la gestion de ce ravageur.

Actuellement, la lutte contre les ravageurs des végétaux entre dans une nouvelle phase puisque les recherches privilégient une approche agro-écologique fournissant des moyens en meilleure adéquation avec l'environnement (Philogene, 1991). En effet, ces dernières années, les efforts des chercheurs se sont focalisés en vue de trouver le moyen de lutte le plus efficace pour pallier à la lutte chimique (Aouati, 2016 ; Bachiri *et al.*, 2016 ; Papanastasiou *et al.*, 2017). Après les méthodes de lutte chimique classique, il y a eu recours aux méthodes biotechniques essentiellement la lutte autocide. Cette dernière, dont le concept repose sur des lâchers de mâles stériles, a été appliquée avec succès notamment au sud du Mexique où elle a permis de réduire les populations de cette mouche (Riba et Silvy, 1989). Néanmoins, l'efficacité de cette méthode demeure tributaire de la compétitivité sexuelle des mâles lâchés par rapport aux mâles sauvages (Knippling, 1955; Hendrichs *et al.*, 2002).

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).

En effet, les extraits de plantes, aqueux ou sous forme d'huiles essentielles contiennent des substances toxiques pouvant agir efficacement comme bioinsecticides (Aouati, 2016).

C'est des sources de molécules naturelles présentant un grand potentiel d'application contre les insectes et d'autres parasites de plantes et du monde animal (Guarrera, 1999).

C'est dans ce contexte que notre étude s'inscrit dans la recherche de moyens de lutte biologique capable de réduire les populations de *C. capitata* en utilisant un extrait aqueux de la jusquiame blanche (*Hyoscamus muticus* ) en évaluant le taux de mortalité chez les adultes, et le taux d'émergence.

Le présent document est articulé autour de quatre chapitres. Dans un premier temps, un chapitre est consacré à la synthèse bibliographique sur les différents éléments biologiques utilisés ou étudiés dans ce travail de recherche. Il sera suivi par la présentation l'approche méthodologique adoptée pour notre expérimentation. Par la suite, le troisième et le quatrième chapitre, traiteront, respectivement, les résultats obtenus et leurs discussions avec des travaux de recherches similaires. Ces derniers chapitres seront suivis, enfin, par une conclusion générale et des perspectives.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

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

#### I.1.1. Origine et historique de *Ceratitis capitata*

##### I.1.1.1. Origine

En Afrique du Nord, la Cératite a été signalée pour la première fois dans les îles de l'Atlantique (Açores, Madère, Cap vert) en 1829; en Algérie en 1859 et en Egypte en 1904. Ensuite, vers 1863, la Cératite a gagné l'Italie du Nord et a été signalée en 1878 en Calabre et Sicile. Ce n'est qu'en 1885 qu'on l'a découvert en Tunisie pour la première fois. En Afrique du Nord, elle existait sur toute la zone littorale et sub- littorale depuis la Tunisie jusqu'au Souss au Maroc (Balachowsky et Mesnil, 1935).

Selon Balachowsky (1950), *Ceratitis capitata* s'est répandu depuis plus de deux siècles dans les cultures fruitières des cinq continents et serait originaire de la région paléarctique sud-occidentale et que sa patrie originelle se trouve dans le Sud marocain, dans la limite du secteur botanique de l'Arganier (*Argania spinosa* L.) au sud du Haut-Atlas et l'ensemble de l'Anti-Atlas occidental. Comme il avait conclu qu'en Afrique occidentale, comme dans le reste de l'Afrique noire, *C.* présente les caractères d'un insecte accidentellement introduit par la civilisation à une époque récente.

D'après Buyckx (1994), l'origine de la mouche méditerranéenne des fruits est plus précisément l'Afrique sub-saharienne à partir de laquelle elle s'est répandue dans les deux hémisphères à une latitude supérieure à 40° au delà de laquelle la survie de la Cératite est limitée par le froid et les températures hivernales.

Les travaux de De Meyer et *al.*, (2002) concluent que l'espèce *C. capitata* est originaire de la région afrotropicale et qu'elle s'est peut-être répandue dans le monde entier, principalement en raison des activités humaines. Selon les même auteurs, des recherches récentes concernant la phylogénie, la biogéographie, la gamme de plantes hôtes et l'abondance de la mouche du vinaigre et de ses congénères du sous-genre *Ceratitis s.s.*, soutiennent toutes l'idée que l'espèce est originaire de l'est de l'Afrique de l'Est, peut-être des Hautes Terres, et qu'elle s'est dispersée à partir de là. Seules les preuves moléculaires contredisent ce point de vue, la diversité de l'ADN mitochondrial étant plus élevée en Afrique de l'Ouest, suggérant, ainsi que l'hypothèse d'une origine ouest-africaine devrait encore être envisagée (De Meyer et *al.*, 2002).

**I.1.1.2. Historique et répartition géographique**

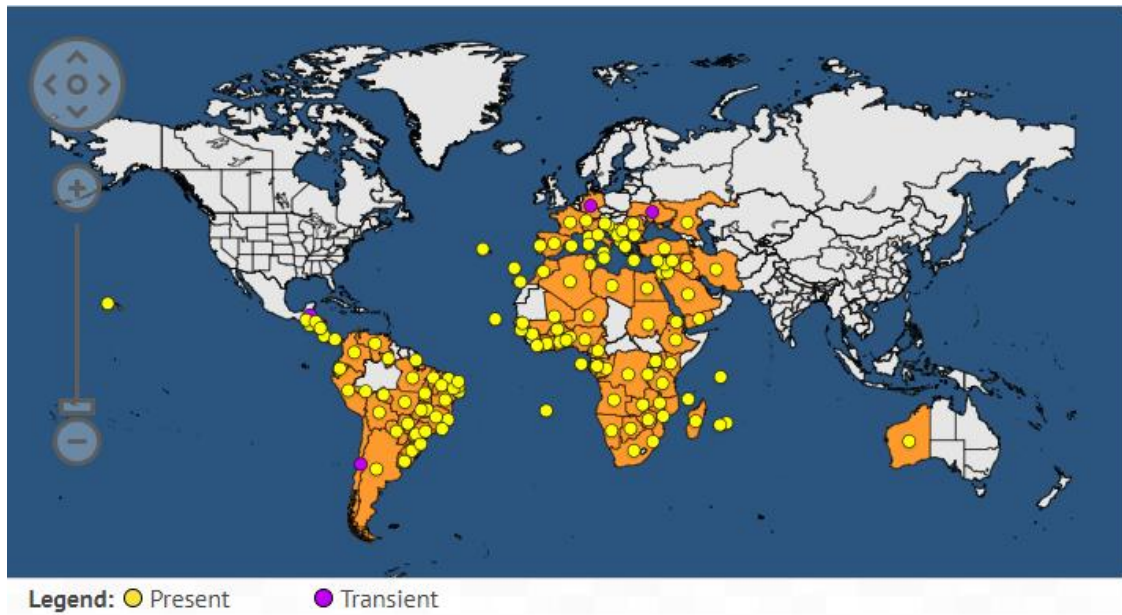
L'historique sur l'apparition de ce diptère est largement discuté dans les publications scientifiques. Certains auteurs (**tableau 1**) attribuent l'origine de la cératite à la forêt marocaine d'arganier devant l'ampleur de sa prolifération dans l'arganeraie (Balachowsky & Mesnil, 1935 ; Balachowsky, 1950 ; Sacantanis, 1957) alors que d'autres suggèrent l'Afrique tropicale ou de l'ouest comme origine de ce ravageur en s'appuyant sur l'abondance des ennemis naturels de la cératite dans différents pays africains, (Silvestri, 1914, Bodenheimer, 1951 ; Liquido et al, 1991 ; White & Elson-Harris, 1992).

**Tableau 1** : Chronologie des signalements de *C. capitata* dans le monde (Malacrida et al., 1998)

Air de diffusion		Date de la première détection	Référence
Région géographique	Pays		
Afrique	Afrique de Sud -Est	Zone source putative	Fletcher (1989b)
	Afrique de Sud	1889	Back and Pemberton (1918)
Iles Extra - méditerranéennes	Iles canaries	Début 1800	Fimiani (1989)
	Madère	1829	
Méditerranéenne	Espagne	1842	
	Algérie	1850	
	Tunisie	1855	
	Sud d'Italie	1863	
	France	1885	
	Portugal	1898	
	Palestine	Fin 1800	
	Turquie	1904	
Grèce	1915		
Ex-Yougoslavie	1947		
Amérique latine	Brésil	1905	Enkerlin et al. (1989)
	Costa Rica	1955	
	Nicaragua	1960	
	Panama	1963	
	Guatemala	1975	
Mexique	1977		
Pacifique	Hawaï	1910	Harris (1989)
Australie	Australie	1897	Hooper and Drew (1989)

L'aspect génétique du processus de la colonisation par *C. capitata* a été étudié par l'analyse du polymorphisme protéique (Gasperi et al., 1991, Malacrida et al., 1992a) et d'ADN (Haymer & Mc Innis, 1994 ; Mc Pheron et al., 1994; Baruffi et al., 1995 ; Gasparich et al., 1995; Gomulski et al., 1996). À partir de ces études, il est possible de suggérer une origine africaine de cette espèce dans la région subsaharienne de l'Est (Kenya) et de mettre en évidence la présence de processus de différenciation intra-spécifique d'un ancêtre vers les populations périphériques.

A l'heure actuelle, il est admis que la cératite s'est propagée durant la deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle à partir de ces origines africaines vers les pays du pourtour méditerranéen puis vers l'Amérique et l'Australie (Fletcher, 1989b). L'aire de répartition de *C. capitata* est très vaste dans le monde (**figure 1**). L'espèce s'est répandue dans de très nombreux pays dans le monde (Afrique, Amérique centrale et du Sud, Bassin Méditerranéen, Australie, Hawaii...) (Gilstrap et Hartl 1987 ; Liquido et *al.*, 1990).



**Figure 1** : Distribution mondiale de la mouche méditerranéenne des fruits  
(Gasperi et *al.*, 2002 ; EPPO Global Data Base, 2024)

Aujourd'hui, outre son installation dans tous les pays du Bassin méditerranéen, la Cératite se cantonne, avec une importante abondance répandue dans la zone littorale et sub-littorale, dans la plupart des contrées tropicales du globe. Elle est répandue dans toutes les régions qui ont un climat tempéré et chaud (de type méditerranéen) où elle vit aux dépens des fruits de nombreuses plantes (Maddison et Bartlett, 1989). Les adultes peuvent se disperser sur deux kilomètres et plus, spécialement dans la direction du vent, mais ne peuvent pas migrer ou parcourir de longues distances (Buyck, 1994).

En Algérie, cet insecte se trouve dans les régions littorales surtout, et dans les oasis dont les conditions bioclimatiques favorables à son extension (Settaoui et *al.*, 2017).

### I.1.2. Présentation de la mouche méditerranéenne des fruits

### I.1.2.1. Position systématique

Depuis le début du XIXe siècle, la cératite a été désignée sous plusieurs noms, soient : *Trypeta capitata* par Wiedemann (1824), *Petalophora capitata* par Macepi (1825), *Trypeta citriperda* par Mac leay (1829), *Trypeta hispanica* par De Brème (1842), *Ceratitis flexuosa* par Walk (1856), et enfin, *Pardalapsis asparagi* par Bezzi en 1942 (Goureau, 1859).

La cératite *Ceratitis capitata* (Wiedemann) est une mouche Diptère Brachycère qui appartient à la famille des Tephritidae (Synonyme : Trypetidae). Cette dernière est constituée d'environ 4000 espèces dont 250 sont des ravageurs de plantes d'intérêt agronomique (White et Elson-Harris 1992 ; Thompson 1999).

Selon Hendel (1927), Constantino (1950), Seguy(1934) et Dyck et *al.*(2005), la mouche méditerranéenne des fruits 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*

*Les différentes appellations de cette mouche sont :*

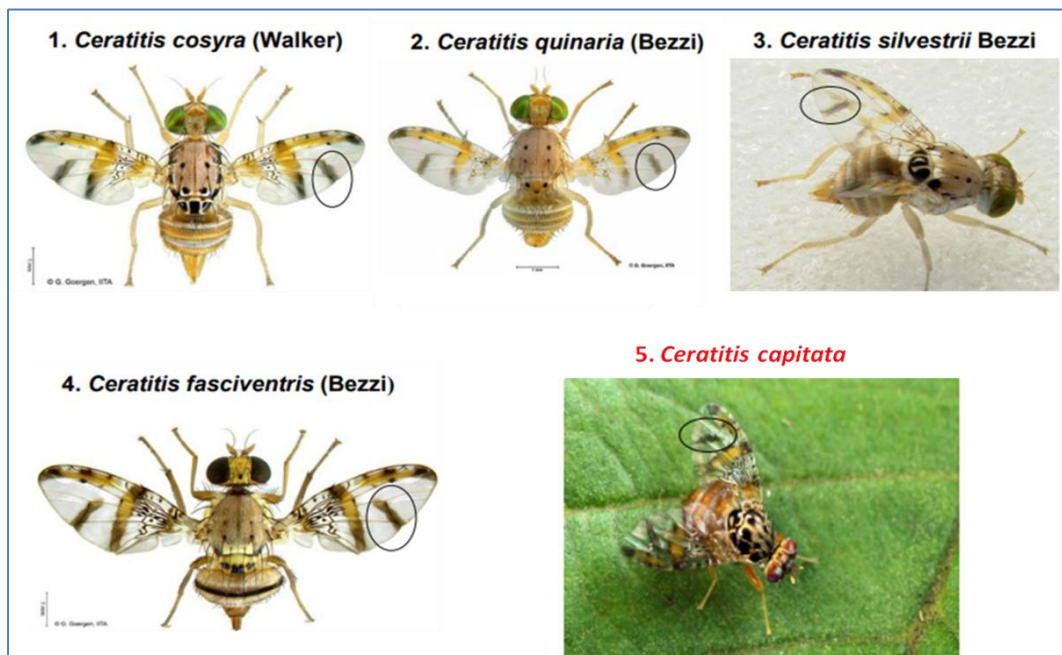
- ✓ La mouche méditerranéenne des fruits ou la cératite (Français).
- ✓ Mosca de la hoga (Espagnol).
- ✓ The Mediterranean Fruit Fly ou medfly (Anglais).
- ✓ Doubabate al fawakih ذبابة فاكهة البحر الابيض المتوسط (Arabe)

### I.1.2.2. Caractéristiques morphologiques

#### I.1.2.2.1. Adulte

De façon générale, les cératites sont petites, ont des taches ou bandes sur les ailes et un scutellum bombé tacheté de jaune et noir. La présence d'au moins trois taches noires sur le scutellum

ainsi que d'une tache alaire isolée, entourée d'un ellipsoïde noir, sont les deux principaux critères de différenciation des *Ceratitis* par rapport aux autres genres (Vayssière et al., 2005) (**figure 2**).



**Figure 2 :** Illustrations des mouches des fruits du genre *Ceratitis* en Afrique de l'Ouest (Vayssière et al., 2005)

L'adulte des *Ceratitis capitata* est de taille variable (long: 4,5 – 6 mm.) et possède une tête jaunâtre, un thorax et un abdomen jaune-gris; les ailes montrent trois bandes jaune-orange, une longitudinale et deux transversales (De Meyer, 2000).

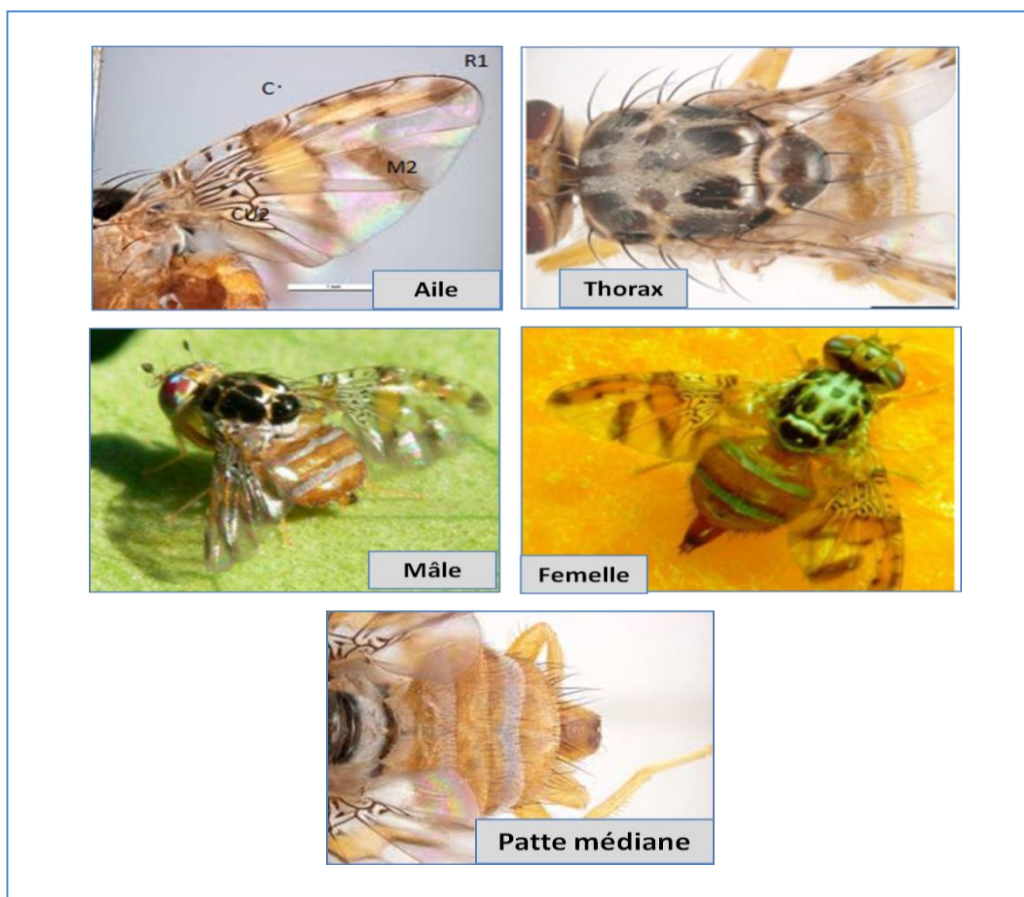
Le scutellum de *C. capitata* est noir et muni à sa partie antérieure d'une bande transversale sinueuse de couleur jaunâtre. L'abdomen, brun-jaunâtre avec deux bandes transversales grises, se termine chez la femelle par un oviscapte pointu et rétractile qui lui permet d'insérer ses œufs dans les fruits et chez les mâles par une ampoule gonflable, dont le rôle est d'émettre des phéromones sexuelles lors de l'accouplement. Les palettes céphaliques sont sous forme de deux soies orbitales noires aplatis et élargis à leurs extrémités en forme de triangle. Elles distinguent le mâle de la femelle et constituent un caractère morphologique important pour l'identification du Genre *Ceratitis*. La couleur foncée de ces palettes est typique de *C. capitata*. Les mâles se différencient très facilement par la présence de petites expansions (palette) losangiques noires à l'apex de leurs soies orbitales antérieures et allongées (Balachowsky et Mesnil, 1935 ; Delucchi 1964 ; White et Elson-Harris 1994 ; De Meyer, 2000 ; Thomas et al., 2001) (**figure 3, tableau 2**).

Les ailes (de 4 à 6 mm de longueur) sont écartées par rapport au corps et inclinées de manière que leur bord extérieur touche presque le substrat au repos, ce qui donne à l'insecte une allure distinctive. Au niveau de l'aile, une zone hyaline à l'extrémité de la nervure radiale (R1) sépare la bande transversale discale de la bande costale (Thomas et *al.*, 2001) .

La nervation de l'aile se caractérise par :

- ✓ Deux fractures de la nervure costale (C).
- ✓ La courbure profonde de la cubitale (Cu2) coudée en S
- ✓ L'angle aigu que fait la 1ère cellule discale avec la nervure médiane M2.

Les pattes ont un tibia médian sans soies vigoureuses disposées de manière à donner un aspect plumeux au niveau du thorax (Jeffrey, 2004).



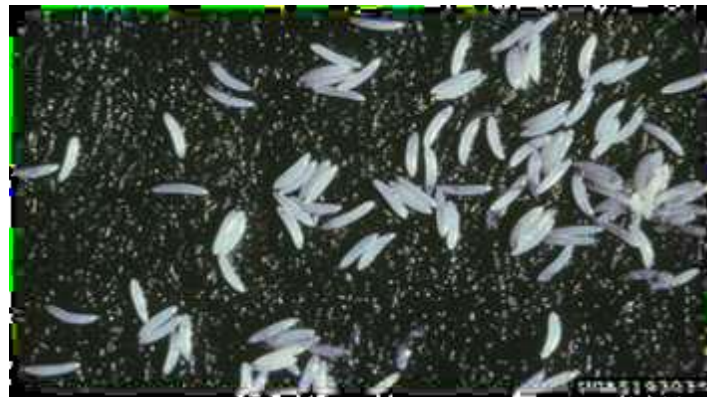
**Figure 3 :** Aspect général de la femelle et du mâle de *C. capitata* (Jeffrey, 2004 ; Allaoui, 2011)

**Tableau 2 :** Dimorphisme sexuel chez *C. capitata* (Balachowsky et Mesnil, 1935 ; Delucchii 1964 ; White et Elson-Harris 1994 ; De Meyer, 2000 ; Thomas et *al.*, 2001)

Mâle	Femelle
Une paire d'appendices frontaux fixes (soies front orbitales)	Absence d'appendices frontaux
Pilosité abondante sur les pattes antérieures	Pilosité réduite sur les pattes antérieures
Dernier segment abdominal forme le forceps portant l'anus et l'ampoule anale	Dernier segment est transformé en ovipositeur effilé

#### I.1.2.2.2. L'œuf

Les œufs sont blancs et allongés, légèrement arqués et longs d'environ 0,9 à 1,1 mm avec un diamètre de 0,2 à 0,25 mm et sont effilés à leurs extrémités (**figure 4**) (Bodenheimer 1951). L'œuf de la cératite présente un côté dorsal convexe et un côté ventral concave (Balachowsky et Mesnil, 1935).



**Figure 4 :** OEufs de la Cératite (Thomas et *al.*, 2004)

#### I.1.2.2.3. La larve

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 (Cals-Usiatis, 1972). Le même auteur mentionne qu'au 1<sup>er</sup> stade larvaire, le squelette céphalopharyngien n'est pas mélanisé. Les crochets buccaux sont caractéristiques de ce stade avec une cuspidé apicale arquée, une cuspidé subapicale développée et l'absence des stigmates. Au 2<sup>ème</sup> stade larvaire, la base des crochets buccaux est mélanisée. Au 3<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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) (**figure 5**).

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



**Figure 5** : *Ceratitis capitata* larves dans la pêche endommagée (Nigel Cattlin, 2007)

#### I.1.2.2.4. La pupe

Les pupes ont la forme d'un petit tonnelet arrondi. Elles mesurent environ 5 mm de longueur et 2 mm de diamètre, d'une couleur brun clair pour les jeunes pupes et brun foncé pour les pupes âgées (**figure 6**) (Bodenheimer, 1951 ; Weems, 1981). La couleur est variable : blanc, jaune, brune, brun foncé, et parfois grisâtre.

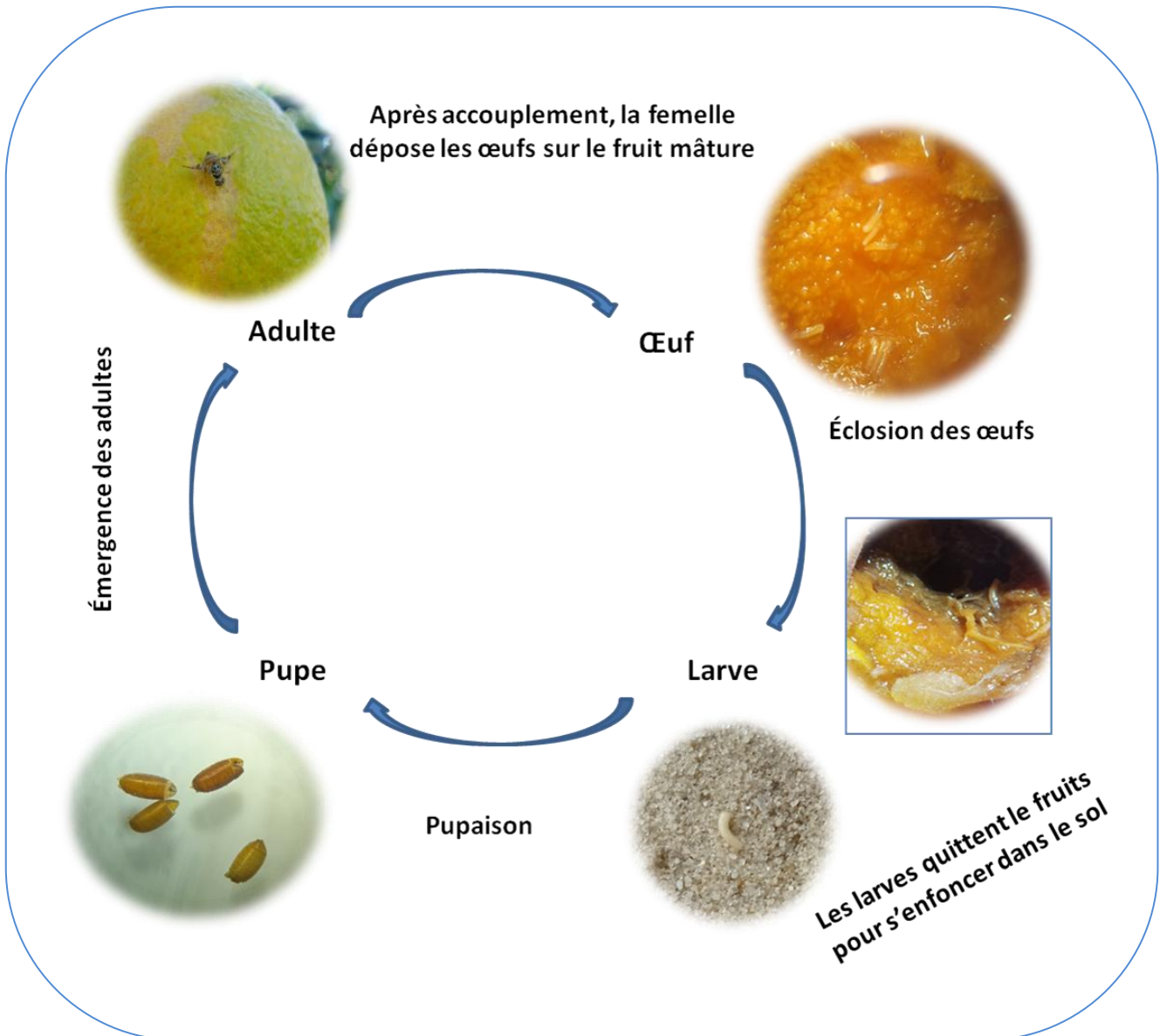


**Figure 6** : Aspect général des pupes de *Ceratitis capitata* observés sous loupe binoculaire (Gr x 32) (**photographie originale**)

#### I.1.2.3. Cycle de vie de *C. capitata*

Selon Nuez (1987), les conditions climatiques, notamment la température jouent un rôle prépondérant sur l'ensemble du cycle biologique (**figure 7**) de *Ceratitis capitata*, soit une gamme de température qui permet développement ou la survie des différents stades (œufs ; larve ; pupe ;

adulte), comprise entre 10 et 35°C avec un optimum se situant entre 23 et 27°C. Certains auteurs ont corrélé l'hibernation de la cératite à la température alors que d'autres l'ont lié à la disponibilité des fruits (Miranda 1999 ; Ros et *al.* 2002 ; Alonso-Munoz et Gracia-Mari 2003 ; Martinez-Ferrer et *al.*, 2006).



**Figure 7 :** Cycle de vie de *Ceratitis capitata* (photographies originales)

D'après Djazouli et *al.* (2004), les adultes récemment émergés se nourrissent de substances sucrées sur les arbres fruitiers de sécrétion glandulaires de plantes ; de nectar et d'exsudats de sève de petits insectes de l'ordre des hémiptères.

Les femelles ont, en outre, besoin de protéines afin de réaliser leur maturation sexuelle (dont la durée varie entre 4 et 10 jours) et élaborer leurs œufs (Zuccoloto et *al.*, 2005).

#### **I.1.2.3.1. Accouplement et ponte**

Selon Bodenheimer (1951), la maturité sexuelle des adultes de *C. capitata* est atteinte au bout de 4 à 10 jours et de 6 à 8 jours, d'après Ronald et Jayma (1992). Par la suite, les mâles se posent sur la plante hôte et lancent un appel phéromonal très odorant et attractif pour les femelles (Quilici et *al.*, 2002).

Après l'accouplement, la femelle dépose son ovipositeur pointu sous l'épiderme du fruit (à 2-5 mm de profondeur) ou elle profite parfois des blessures de l'épiderme ou des trous de pontes des autres femelles et dépose environ une vingtaine d'œufs par ponte (lorsque les conditions sont favorables). Après la ponte, la femelle dépose autour du point de ponte une phéromone de marquage (Flippi, 2003). Les femelles déposent entre 5 et 10 œufs par fruit. De plus, elles sont capables d'effectuer plusieurs pontes jusqu'à ce que le nombre total d'œufs pondus atteigne 300 à 400 œufs (Atcitrus, 2002 cité par Elaini, 2003).

#### **I.1.2.3.2. Stade embryonnaire**

Selon Delassus et *al.* (1931), la durée du stade embryonnaire de *C. capitata* dure 2 à 5 jours en été et plus de 20 jours en hiver. La femelle a la capacité de pondre 2 à 5 œufs par ponte et aller même jusqu'à 300 à 800 œufs tout au long de sa vie (Sacantanis, 1951 ; White et Elson-Harris, 1994).

#### **I.1.2.3.3. Stade larvaire**

Après l'éclosion des œufs, les larves s'enfoncent dans la pulpe du fruit (Hasnaoui, 1974). La durée du développement larvaire varie selon l'espèce fruitière, le degré de maturité des fruits et leur richesse en protéines ainsi que les conditions climatiques. La durée du développement larvaire de 8 à 50 jours, selon la température, la nature et la maturité de l'hôte. (Carey, 1984 ; Zuccoloto et *al.*, 2005). Selon Carey (1983), la période de développement larvaire varie de 8 à 50 jours selon : la température, la nature et le degré de maturité de l'hôte.

#### **I.1.2.3.4. Nymphose (pupaison)**

Au terme de sa croissance, la larve du troisième stade quitte son milieu de naissance en effectuant un saut qui commence peu avant laube et atteint son maximum juste avant le lever du soleil (Causse, 1974). Elle peut descendre jusqu'à 10 à 20 cm plus loin pour se nymphoser dans le sol.

Une fois que la larve est enfouie dans le sol, elle entre dans un stade fixe où elle subit un certain nombre de transformations profondes. La température et l'humidité relative déterminent la durée de la pupaison. Selon Bodenheimer (1951), la période de pupaison varie de 9 à 80 jours selon les conditions climatiques.

#### **I.1.2.3.5. Maturation des adultes**

Les adultes émergent généralement du sol, où ils restent le temps de développer et de déployer leurs ailes. Souvent, les éruptions se produisent tôt à l'aube et continuent jusqu'au début de la matinée.

Les adultes sont immatures lorsqu'ils naissent. Selon Bodenheimer (1951), le mâle nécessite une période de maturation. Contrairement à Balachowsky et Mesnil (1935) et Seguy (1951), qui considèrent qu'il est sexuellement mature dès son apparition.

Avec l'étude de la spermatogenèse, Williamson (1989) opte pour la première hypothèse car elle démontre que l'activité sexuelle est liée à l'âge de l'adulte ; le mâle atteint sa maturité sexuelle après 2 à 4 jours après l'émergence, et la femelle atteint sa maturité sexuelle après 2 à 3 jours après l'émergence.

#### **I.1.2.4. Nombre de générations**

L'évolution complète de la cératite est très variable pour une même région. Elle dépend des facteurs climatiques, particulièrement la température mais également des espèces fruitières sur lesquelles ont lieu les pontes. Dans les conditions algériennes, Oukil (1995) rapporté par Bachi (2018) fait état de la chronologie des générations de cératite comme suit (**figure 8**) :

- 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

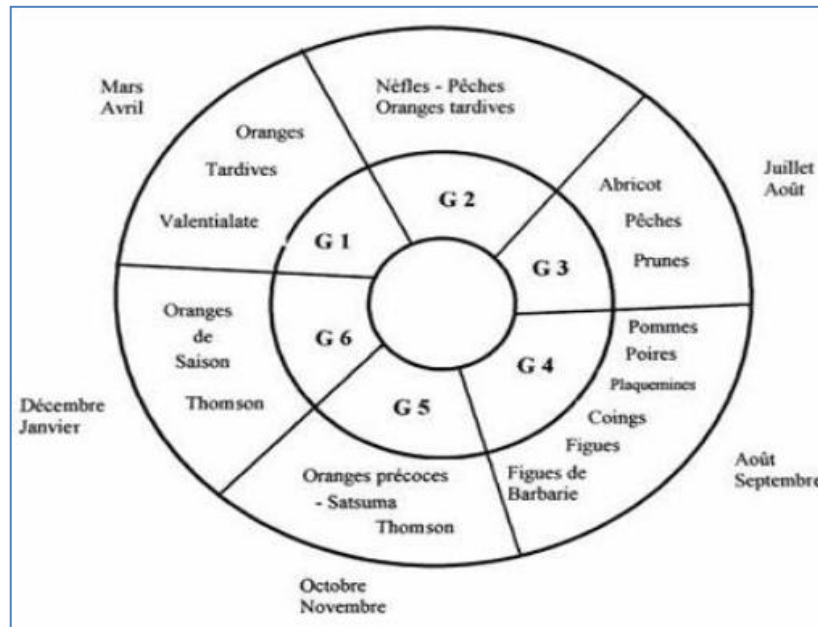


Figure 8 : Nombre de génération de *Ceratitis capitata* (Oukil, 1995)

### I.1.3. Plantes Hôtes, dégâts occasionnés et importance économique

Connue par sa large gamme d'hôtes, la cératite est le ravageur polyphage le plus dangereux des régions tropicales et subtropicales. A partir de son aire d'origine, l'Afrique de l'Ouest; elle a pu s'adapter et coloniser plusieurs régions tels que le bassin méditerranéen, l'Amérique centrale et du sud et l'Australie de l'ouest, s'attaquant à 353 plantes hôtes (Fellah, 1996). Dans le bassin méditerranéen, Cheikh et *al.* (1975), indiquent que *C. capitata* s'attaque à tous les fruits d'hiver et d'été, particulièrement le Bigaradier, l'Oranger, le Mandarinier, le Clémentinier, l'Abricotier, le Néflier du Japon, le Pêcher, le Prunier, le Figuier, le Pommier, le Poirier et la Figue de Barbarie. Sans oublier les espèces sauvages considérées comme hôtes secondaires (Soria, 1962b). Selon Lachiheb (2008), les époques d'infestation des fruits par *C. capitata* coïncident avec la chronologie de maturation des espèces.

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 et celles à peau mince (Chouibani et *al.*, 2003).

Dans le bassin méditerranéen, Cheikh *et al.* (1975), indiquent que *C. capitata* s'attaque à tous les fruits d'hiver et d'été, particulièrement le Bigaradier, l'Oranger, le Mandarinier, le Clémentinier, l'Abricotier, le Néflier du Japon, le Pêcher, le Prunier, le Figuier, le Pommier, le Poirier et la Figue de Barbarie. Sans oublier les espèces sauvages considérées comme hôtes secondaires (Soria, 1962b). Selon Lachiheb (2008), les époques d'infestation des fruits par *C. capitata* coïncident avec la chronologie de maturation des espèces.

Selon Delassus *et al.* (1931), les agrumes ne sont pas les seules plantes attaquées par la cécidite en Algérie. C'est un ravageur important des agrumes et des fruits à noyau (Sadoudi Ali-Ahmed, 2007). En effet, Laamari et Talbi (2015) ont souligné son émergence sur le pommier dans la région de Batna. Mostefaoui *et al.* (2020) ont également signalé l'émergence de ce ravageur sur le piment sous serre dans la zone sub-saharienne de la région du Souf.

Les dommages causés par la cécidite sont des piqures de pontes et des galeries dans les fruits, engendrées respectivement par les femelles et les larves.

En plus des pertes directes dû aux attaques de la cécidite, les dépenses du contrôle de la cécidite et de la mise en quarantaine sont très lourds (Dimbi *et al.* 2001). En Californie l'établissement des mouches des fruits serait la cause des pertes annuelles de 910 million 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).

#### **I.1.4. Les facteurs agissant sur le développement de la mouche**

Le développement de la mouche des fruits de l'œuf jusqu'à l'imago est sujet à l'influence de plusieurs facteurs biotiques ou abiotiques, perturbant les différentes étapes évolutives ou les arrêtant, causant parfois même la mort de l'individu. Ces facteurs peuvent être intrinsèques relatifs à l'insecte, ou extrinsèques dus au milieu environnant.

##### **I.1.4.1. Les facteurs climatiques**

###### **I.1.4.1.1. 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.1.4.1.2. 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.1.4.1.3. 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.1.4.1.4. 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.1.4.2. 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.1.4.3. Facteur biotique**

#### **I.1.4.3.1. 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.1.4.3.2. 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 chaire. 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.1.4.3.3. 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 l'exuviation (pupaison), plus difficile et conduit également à une diminution du poids des adultes lors de l'émergence.

#### **I.1.4.3.4. 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, *Opius concolor* est largement considéré comme le parasite le plus courant.

#### **I.1.5. Méthodes de contrôle de *C. capitata***

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

Méthodes	Description	Référence	Inconvénients	Références
Insecticides et Photo-activables insecticides	Insecticides photodynamiques (Thiopens, Furocaumarins, Quinones.....)	Peck et Mc Quate (1999) ; Ben Amor et <i>al.</i> (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 <i>al.</i> (1980) ; Troetschler (1983) ; Hoelmer and Dahlsten (1993) ; cohen et al 1987 ; Doane et <i>al.</i> (1990) ; Magana et <i>al.</i> (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 <i>al.</i> (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 <i>al.</i> (2002) ; Parker (2005) ; Rossler et <i>al.</i> (2000)	-Faible compétitivité -Barrière géopolitique	Cohen et Yuval (2000)
Biopesticides	Métabolites microbien à effet insecticide (Spinos ad, G120)	Cisneros et <i>al.</i> (2002) ; Wilhams et <i>al.</i> (2003) ; Peck and McQuate (2000)	Effet sur les insectes non ciblés, mais moins que Malathion	Vargas et <i>al.</i> (2001)
Résistance variétale	Toxicité chimique de L'écorce (huiles essentielles .....) -Ecorce épaisse et dure -Maturité retardée	USDA (2008)		
Microbiologie (Virus, Bactéries, champignons, protozoaires)	-Incompatibilité cytoplasmique embryonnaire induite par Walbachia . -Environ 700	Zabalou et <i>al.</i> (2004) ; Konstantopoulon Et <i>al.</i> (2003) ; Quesada Moraga et <i>al.</i> (2006) ;		

	espèces de champignons entomopathogènes (Metarhizium, Beauveria.....)	Ekesi et al (2002, 2005) ; Dimbi et al. (2003) ; Imoulan et al. (2011)		
Prédateurs ; Fourmis ; Némathodes	-Susceptibilité des larves et de l'adulte aux genres Heterorhabdites et steinernema .Introduction et protection des fourmis dans les verges	Efron et al. (2001) ; Almeids et al. (2007) ; Malan & Manrakhan (2009) ; Eskafi & Kolbe (1990)		
Compétition inter et intra spécifique		Duyck (2005)		
Parasitoïdes		Montoya et al. (2005)		

## I.2. Données bibliographiques sur *Hyoscyamus muticus* L. subsp. *falezlez*

### I.2.1. Description botanique

*Hyoscyamus muticus* L. (**figure 9**) est une plante méditerranéenne qui appartient à la famille des Solanacées, qui est considérée comme très importante pour les êtres humains d'un point de vue médicinal et économique (Bourebaba *et al.*, 2019).

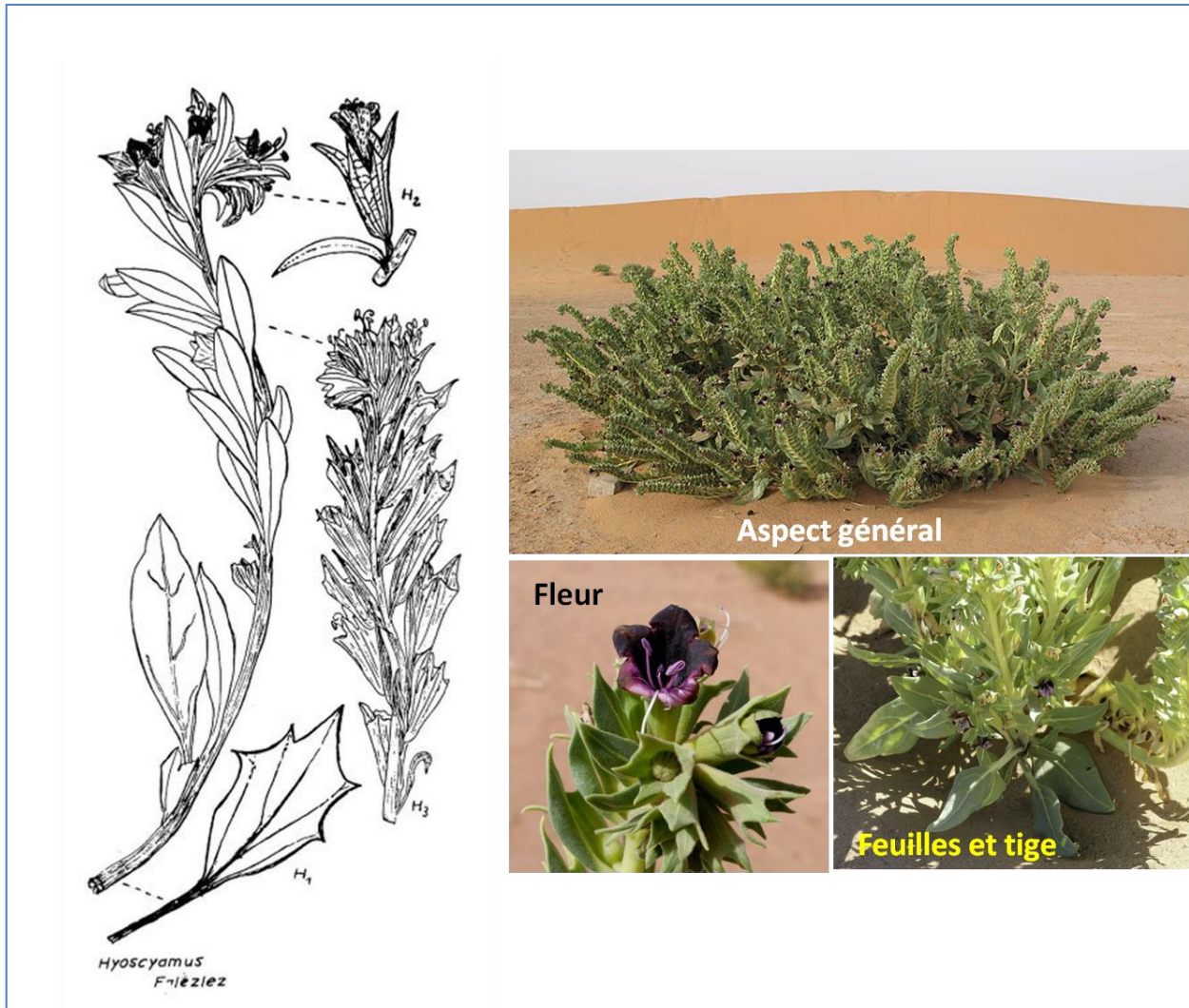
#### I.2.1.1. Appareil végétatif

*H. muticus* L. subsp. *falezlez* est une plante herbacée vivace atteignant 150 cm de haut, elle peut être glabre ou poilue et présente une tige épaisse et succulente. Les feuilles sont disposées en spirale, à limbe simple elliptique à ovale, à base cunéiforme, apex aigu et bord grossièrement denté. Les feuilles supérieures sont plus petites et souvent entières portant des poils simples. Le pétiole est de 1,5 à 5,5 cm de long sans stipules à sa base (Quézel et Santa, 1963). La sous-espèce *falezlez* diffère d'*Hyoscyamus muticus* L. par son port moins robuste, son limbe beaucoup moins ample à nervation plus prononcée (Cosson, 1864).

Elle contient des alcaloïdes tropaniques tels que l'hyoscyamine et la scopolamine, qui lui confèrent des propriétés médicinales et psychoactives (Ayari-Guentri *et al.*, 2021).

#### I.2.1.2. Appareil reproducteur

Cette espèce est caractérisée par une inflorescence dense à cyme terminale, s'allongeant jusqu'à 30 cm ou plus. La fleur est bisexuée, pentamère ; à calice régulier en entonnoir, penta-denté, les dents ont environ 5 mm de long. Une corolle zygomorphe, largement en entonnoir, penta-lobée, les lobes d'environ 2 cm de long, sont veinés de violet foncé. Les étamines, à anthère extrorse d'environ 4 mm de long ; l'ovaire est supère, biloculaire, le style très long et mince. Le fruit est une capsule ovoïde d'environ 6 mm de diamètre et 2 cm de long, déhiscente par une fente circulaire équatoriale, contenant de nombreuses graines réniformes d'environ 1 mm x 1,5 mm (Quézel et Santa, 1963). La sous-espèce *falezlez* diffère de *Hyoscyamus muticus* L. par, ses inflorescences plus serrées, son calice à pédicelle très court (de moitié plus petit), sa corolle moins ample et son fruit plus petit et plus court (Cosson, 1864 ; Ayari-Guentri *et al.*, 2021).



**Figure 9** : Organisation morphologique d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp. falezlez. (Ozenda, 1977 ; Photographies originales)

### I.2.3. Origine, aire de répartition et habitat

C'est une plante originaire de l'Egypte; elle se rencontre également à l'est de Kaboul, dans le Pendjab et dans le Sind (Pakistan-Occidental), répartition Région saharienne tout entière. (Benchelah et *al.*, 2011).

*Hyoscyamus muticus*, est présente dans tout le Sahara. La sous-espèce falezlez est une espèce endémique saharienne .Dans les bas-fonds argileux et les épandages argilosableux, elle forme de véritables colonies comme à tegharghart près de Djanet ou dans la tadrart, à wan- zwaten par exemple (Benchelah et *al.*, 2011).

Cette sous-espèce pousse spontanément dans le sable de certaines zones désertiques d'Algérie, en particulier dans les districts de Tamanrasset (Sahki et Sahki, 2004), El Goléa, Ouargla, Beni Abès (Maiza *et al.*, 1993) Adrar (Ayari-Guentri *et al.*, 2017).

### **I.2.5. Utilisation d'*H. muticus* en phytothérapie**

L'*Hyoscyamus* est une plante médicinale, les formes galéniques dépendent des pays. En France on trouve la poudre de l'*Hyoscyamus*, la teinture et l'extrait mou de l'*Hyoscyamus*; on trouvait les feuilles d'*Hyoscyamus*. Cette plante entre dans la composition de sirops antitussifs et entrainait il y a quelques années dans la composition de cigarettes et de poudre antiasthmatique. Elle est utilisée en phytothérapie pour ses différents composants, tels que :

- ✓ Atropine : préanesthésie, ophtalmologie, manifestations douloureuses et spasmodiques du tube digestif et de l'appareil urinaire.
- ✓ Scopolamine : préanesthésie et troubles parkinsoniens, mal des transports (avec le risque de rétention urinaire en cas de troubles prostatiques).

Aussi, cette plante est diurétique, hypnotique, narcoyique, sédatrice, Plus anecdotique, on utilise encore sous les tropiques la feuille d'*Hyoscyamus* séchée en fumigation pour calmer la crise d'asthme et la feuille verte légèrement chauffée en cataplasme sur les articulations douloureuses (Bown, 1995 ; Chevallier, 1996).

### **I.2.6. Effets secondaires d'*H. muticus***

L'*Hyoscyamus* est une plante hallucinogène qui a été utilisée de tous temps par les "sorciers", "chamans et "guérisseurs médium". Son usage est particulièrement dangereux car la quantité de feuille à fumer ou à ingérer pour obtenir l'effet hallucinogène est difficile à doser. A forte dose (ce qui correspond à quelques g de feuille), le délire est furieux avec convulsions puis coma et parfois mort; à faible dose les effets sont juste par sympathicolytiques. Les hallucinations fantastiques qui débutent 2 à 4 H après l'absorption et durent plusieurs heures sont puissantes, En Afrique orientale l'*Hyoscyamus* a été utilisé comme poison d'épreuve dans des «jugements de dieu», des ordalies. Aux Indes beaucoup de suicides ou d'empoisonnements criminels lui sont dus (Bown, 1995 ; Chevallier, 1996).

Les multiples sources dans la médecine traditionnelle ont mentionné les dangers de l'utilisation imprudente de la plante *H. muticus*. Sa consommation peut entraîner une perte de conscience, une dilatation des pupilles, une irritation de la peau et des troubles du sommeil. Les effets indésirables moins fréquents comprennent une accélération du rythme cardiaque, des spasmes musculaires, des

vomissements, une augmentation de la pression artérielle, une perte de concentration et de contrôle des mouvements, des hallucinations et de l'agressivité. Dans certains cas rares, des doses élevées peuvent être mortelle (Mekhalfi et Mohammedi, 2019). Les effets secondaires de cette plante ne sont pas clairement établis, mais il est possible qu'elle présente une certaine toxicité due à la présence d'alcaloïdes tropaniques, qui sont des substances neurotoxiques pouvant provoquer des troubles du système nerveux central, tels que la confusion, l'agitation, les hallucinations, les convulsions et le coma. Il est donc recommandé de faire preuve de prudence et de consulter un médecin avant d'utiliser cette plante à des fins thérapeutiques (Mekhalfi et Mohammedi, 2019).

### **I.3. Données générales sur l'hémolymphe des insectes**

L'hémolymphe est le seul liquide extracellulaire qui circule dans le corps de l'insecte, son volume représente 1 à 45 % du poids total de l'insecte. Ce liquide a un pH qui varie de 6 à 7,5, il peut être clair ou coloré parfois par des pigments verts ou jaunes (Wigglesworth, 1972 ; Raccaud-Schoeller, 1980).

#### **I.3.1. Composition de l'hémolymphe**

Ce liquide comprend le plasma et les différents types de cellules nucléées en suspension ou adhérentes à certains tissus, appelées les hémocytes. Il est composé de :

- **Plasma :**

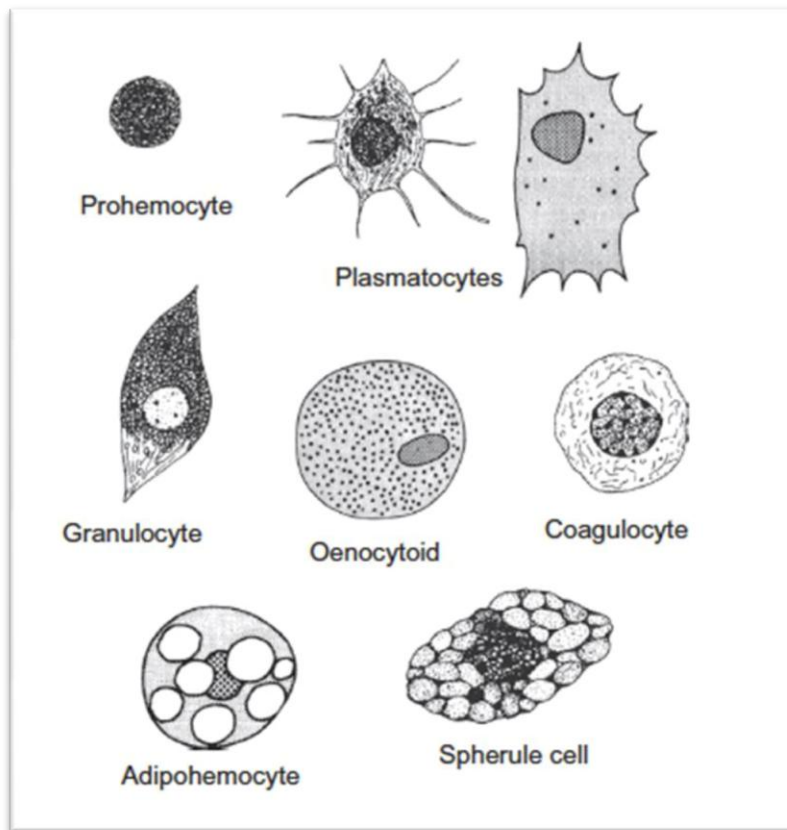
Le plasma est formé d'une importante quantité d'eau, de glucides, de protéines de lipides, mais aussi de substance non organiques telles que les ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Cl}^-$ ), les acides uriques et organiques, ainsi que les enzymes et les acides aminés (Heusser et Dupuy, 2015).

- **Hémocytes :**

Les hémocytes dérivant du mésoderme embryogénique ou apparût à la suite de division des prohémoscytes, sont des cellules nucléées qui peuvent circuler avec le plasma, pénétrer dans les cavités corporelles se déplaçant ou non à l'intérieur du cœur (Chapman, 1972 ; Wigglesworth, 1972 ; Amouriq, 1973 ; Raccaud-Schoeller, 1980 et Klowden, 2013).

#### **I.3.2. Les différents types d'hémocytes:**

On considère qu'il existe chez les insectes trois types d'hémocytes bien définis (**figure 10**) :



**Figure 10 :** Les différentes catégories cellulaires de l'hémolymphe des insectes (Klowden, 2013)

✓ **Les prohémoctes ou pro leucoctes :**

Ces cellules de petite taille, avec un grand noyau et dont le cytoplasme est riche en ribosomes et en acides nucléiques, sont souvent en division mitotique représentant ainsi les cellules souches de tous les autres types d'hémocytes.

✓ **Les plasmatoctes ou phagocytes :**

Dérivant des prohémoctes et de forme variable, ils sont caractérisés par un grand noyau ovoïde situé au centre du cytoplasme basophile. Ces cellules sont douées de phagocytose.

✓ **Les granulocytes :**

Ce sont des cellules polymorphes dont le noyau est relativement petit et le cytoplasme renferme de nombreux granules remarquables, ces cellules interviennent dans le métabolisme intermédiaire.

**I.3.3. Les fonctions physiologiques des Hémocytes :**

Les hémocytes peuvent être impliqués dans le mécanisme intermédiaire. Ils renferment une variété de substances nutritives comme le glycogène, les lipides et les protéines (Gupta et Sutherlab, 1967 cités par Habes, 1989).

Une autre fonction des hémocytes, à savoir, l'encapsulation des corps étrangers qui est une action de défense contre les endoparasites. En effet, les hémocytes forment une agrégation autour du corps étranger et après plusieurs jours, de la mélanine est posée à la surface du parasite (Nappi et *al.*, 1972 cités par Habes, 1989).

De plus, les hémocytes sont caractérisées par le phénomène de phagocytose des petites particules qui est réalisé surtout par les plasmatoctes. C'est une réaction où les tissus en histolyse au moment de la mue et les particules solides sont ingérés (Chauvin, 1956).

Les hémocytes sont, également, dotées de la fonction de coagulation qui consiste en l'accumulation des hémocytes qui colmatent la brèche, ce qui permet à l'insecte d'attendre la mue suivante assurant ainsi le rétablissement de la continuité du tégument. Ce sont surtout les cystocytes ou coagulocytes qui sont responsables de ce processus (Chapman, 1972).

**I.3.4. L'hémolymphe et la défense : immunité et protection**

Les granulocytes et les plasmatoctes de l'hémolymphe interviennent dans les réactions immunitaires, par les processus de phagocytose et d'encapsulation (Heusser et Dupuy, 2015). Les mêmes auteurs, ajoutent que la phagocytose est un processus cellulaire comportant quatre étapes successives :

- l'adhérence du microorganisme aux cellules phagocytaires ;
- l'ingestion du microorganisme par les cellules phagocytaires ;
- la digestion du microorganisme par des enzymes des lysosomes ;
- l'expulsion des résidus non digérés du microorganisme.

L'encapsulation implique l'action coordonnée de plusieurs hémocytes se réunissant autour du microorganisme et en réalisant la dégradation. Chez certains Insectes, l'hémolymphe peut intervenir

dans la protection et la défense vis-à-vis des prédateurs. Elle peut être libérée au niveau de diverses régions du corps. En présence d'un prédateur, la Chrysomèle noire libère un liquide rouge-orangé par la bouche et les articulations, tout en se tenant immobile. Il s'agit d'hémolymphe dont le goût est désagréable pour les prédateurs. En cas de rupture locale de la cuticule, l'hémolymphe intervient comme agent cicatrisant (Heusser et Dupuy, 2015).

## Chapitre II: Approche méthodologique

### II.1. Problématique et objectifs

Depuis sa première signalisation en Algérie ainsi que dans les pays de la méditerranée, *Ceratitis capitata* s'est bien établie et devenue parmi les ravageurs les plus nuisibles en causant des dégâts quantitatifs et qualitatifs sur plusieurs cultures arboricoles, notamment les agrumes. Ces dégâts constituent un obstacle majeur pour des exportations en raison de la dévalorisation de la marchandise et des mesures de quarantaine imposées par certains pays importateurs.

Toutefois, la lutte chimique était le moyen le plus utilisé pour la lutte contre cet insecte. L'usage abusif et non rationnel des insecticides a engendré 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. A cet effet, la recherche d'alternatives efficaces s'avère 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, un grand intérêt a été alloué aux méthodes biologiques de lutte contre les insectes nuisibles, plus respectueux de l'environnement, en vue du remplacement des procédés chimiques. 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).

C'est dans cette optique que se trace l'objectif de notre travail de recherche qui vise à explorer l'activité insecticide de l'extrait aqueux des feuilles de *Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez* contre deux stades biologiques (pupes et adultes) de *Ceratitis capitata*.

### II.2. Présentation de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (I.N.R.A.A)

#### II.2.1. Aperçu sur la station INRAA de Mehdi Boualem (Baraki)

La station de recherche et d'expérimentation de Mehdi Boualem communément appelée station de recherche polyvalente et s'étalant sur une superficie de 24 hectares, a été créée en 1966 par arrêté ministérielle N°539SM du 30 mai 1989. Avec le passage de l'I.N.R.A.A. au statut d'EPST en vertu du décret exécutif N° 99-256 portant organisation scientifique des EPST, la station de recherche et d'expérimentation de Mehdi Boualem constituera l'un des supports pour la

domiciliation des nouvelles structures de Recherche, telles les unités, divisions et les grands instruments d'appui à la recherche (I.N.R.A.A., 2016). ( figure 11)



**Figure 11:** Division de recherche en Protection des cultures  
(Photographie originale)

### **II.3. Echantillonnage des fruits attaqués par la cératite**

En mois de mai, nous avons réalisé un échantillonnage de deux types des fruits attaqués par la cératite l'abricot et l'orange. Les vergers prospectés se trouvent aux alentours de la station expérimentale de l'INRAA de Mehdi Boualem à Baraki, où nous avons observé une importante infestation des fruits mûres par la cératite traduite par une perte de la majorité des fruits qui sont tombé prématurément au sol (**figure 12**).

Ces fruits ont été collectés et mis dans des sacs en papiers pour les transférer vers le laboratoire de Protection des Cultures de la D.R.P.C. (Station expérimentale de Mehdi Boualem, Baraki) pour la mise en place d'un élevage de la cératite.



Abricots piqués par *C. capitata*



Oranges endommagées par *C. capitata*

**Figure 12 :** Oranger et abricotiers attaqués par la cératite (Baraki)  
(Photographie originale)

#### II.4. Technique d'élevage de la cératite

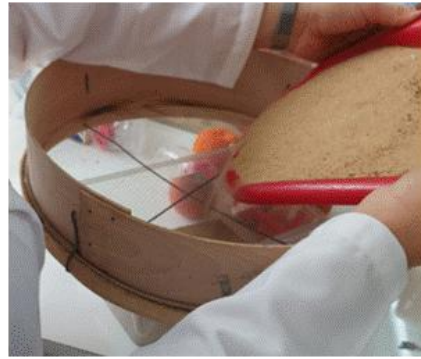
L'élevage se déroule en laboratoire dans des conditions stables de température ( $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), d'humidité relative (environ  $60 \pm 15\%$ ) avec une période d'éclairage de 12 heures (**figure 13**).

Les fruits récoltés sont mis séparément dans des boîtes en plastiques contenant 2 cm de sable, qui sont recouvertes par une mousseline à mailles fines, pour empêcher l'attaque par la drosophile et permettre l'entrée et la sortie de l'air.

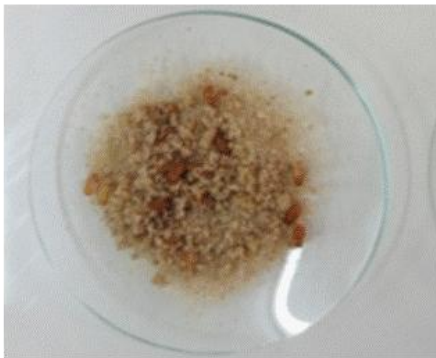
Par la suite, les pupes sont récupérées par tamisage du sable tous les jours. Ensuite, elles sont déposées dans des verres de montre remplis de sable, avant d'être transférées dans une cage d'émergence cylindrique et rectangulaire, cette dernière est équipée de deux pondoirs et d'un entonnoir en plastique perforé, recouvert de tissu humide, facilitant ainsi la collecte des œufs.



Fruits attaqués dans des boîtes contenant du sable



Tamissage du sable + récupération des pupes



Pupes dans des boîtes de Pétri contenant du sable



Cage d'émergence

**Figure 13** : Les différentes étapes d'élevage de la cératite  
(Photographie originale)

- On rajoute des boîtes contenant du coton imbibé de solution sucrée à la cage d'émergence pour fournir les nutriments essentielles au développement de la cératite.
- Après 13 jours, les adultes émergent et s'accouplent une fois leur maturité sexuelle atteinte.
- Pour la récupération des larves, nous avons sélectionné les fruits les plus infestés, riches en larves. Nous les avons prélevés manuellement et conservés dans des boîtes de Pétri.

### **II.5. Echantillonnage de la plante *Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez***

Les feuilles fraîches de *Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez* ont été échantillonnées au niveau d'un Oued situé dans l'Adrar AHNET situé dans l'Ouest Massif du Parc National de l'Ahaggar (Wilaya de Tamanrasset), ce durant le mois de la période de pleine floraison (avril

2023). Ces feuilles ont été, par la suite, conservées dans des sacs en papiers et transférées au niveau du Laboratoire de Protection des Cultures.

### **II.6. Screening phytochimique d' *H. muticus* L. subsp *falezlez***

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 de *H. muticus*, 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 4:** Les différentes étapes du screening phytochimique utilisées pour *H. muticus* L. subsp *falezlez* selon le protocole mentionné par El-Haoud et *al.* (2018)

<b>Les métabolites recherchés</b>	<b>Mode opératoire</b>
<b>Alcaloïdes</b>	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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 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
<b>Polyphénols</b>	On mélange une quantité égale de chlorure ferrique (FeCl <sub>3</sub> ) à 1% et de ferricyanure de potassium (K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> ) 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
<b>Tanins</b>	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 <sub>3</sub> 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 bleue-verte indique la présence des tanins galliques

<b>Flavonoïdes</b>	: 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
<b>Saponines</b>	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 : $I = 1000 / N$
<b>Terpénoïdes</b>	Pour 2 ml de chaque extrait, nous avons rajouté 2 ml de chloroforme (CHCl <sub>3</sub> ) et bien agité. Puis, on ajoute 2 ml d'acide sulfurique concentré (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ). Une coloration marronne de l'interface indique la présence de terpénoïdes
<b>Stéroïdes</b>	Pour 2 ml de chaque extrait, on ajoute 2 ml de CHCl <sub>3</sub> et quelques gouttes d'anhydride acétique (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> ). 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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ). 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

<b>Sucres réducteurs</b>	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.6. Préparation de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*

Les feuilles de ladite plante ont été nettoyées, séchées, puis broyées à l'aide d'un broyeur électrique. Après obtention de la poudre, les étapes pour la préparation de l'extrait aqueux (**figure 14**) consistent à :

1. Mélanger 50g de la poudre d'*H. muticus* avec 500ml d'eau ultra pure et porter le mélange à ébullition.
2. Après refroidissement du mélange, mettre sous agitation magnétique à température ambiante pendant 2 heures, la solution préparée.
3. Ensuite le mélange est filtré à l'aide de passoire à mailles très fine, puis centrifugé à 4000 tours/mn pendant 20 mn.
4. La solution obtenue est ensuite conservée dans des flacons recouverts d'aluminium, à l'abri de la lumière, dans un réfrigérateur (4°C).



**Figure 14 :** Technique de préparation de l'extrait aqueux d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez*  
(Photographie originale)

## II.7. Protocole de traitement de la cératite

### II.7.1. Traitement des adultes :

Pour cette expérimentation (**figure 15**), nous avons choisi d'adopter un traitement par ingestion. Les individus sont donc soumis à un jeûne de 24 heures avant le traitement afin de vider leur tube digestif et de les priver de nourriture.

Les adultes de *C. capitata* sont placés dans des piluliers transparents hermétiquement fermés, percés de petits trous de chaque côté pour assurer une aération adéquate pour les mouches.

Pour chaque pilulier, un coton imprégné de solution sucrée est fixé sur la face inférieure du bouchon. Ensuite, différentes doses de l'extrait aqueux d'*Hyoscyamus muticus* (**10 µl, 30 µl, 50 µl**) sont introduites dans le coton à l'aide d'une micropipette.

Pour les témoins, seule la solution sucrée est introduite dans le coton.

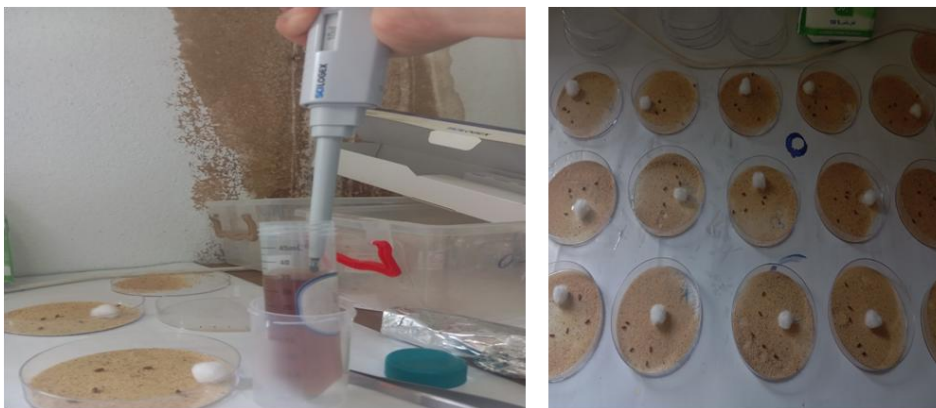


**Figure 15** : Traitement des adultes de *C. capitata* par *H. muticus* L. subps *falezlez*  
(Photographies originales)

### II.7.2. Traitement des pupes :

Pour cette expérimentation (**figure 16**), nous avons choisi d'adopter un traitement par inhalation, pour cela on a suivi ces étapes :

1. Mettre une quantité de sable dans 15 boîtes pétries (trois doses avec trois répétitions pour chacune).
2. Déposer 05 pupes de *C. capitata* et un bout de coton dans chaque boîte.
3. Introduire les différentes doses de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subps *falezlez* (**10  $\mu$ l, 30  $\mu$ l, 50  $\mu$ l**) dans le coton à l'aide d'une micropipette.



**Figure 16** : Traitement des pupes par *H. muticus* L. subps *falezlez*  
(Photographies originales)

## II.8. Exploitation des résultats

### II.8.1. Calcul des taux de mortalité

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 :

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

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.8.2. Réalisation du frottis hémolympatique de *C. capitata*

Durant cette expérimentation, nous avons réalisé des frottis hémolympatique des individus témoins et traités (**figure 17**). Pour cela 3µl l'hémolymphe a été prélevé entre la patte postérieure et le thorax à l'aide d'une micropipette ou d'une seringue. D'après Guzo et Stoltz (1987) cités par Habes et Soltani (1992), ce frottis se réalise selon la méthode suivante :

- ✓ Prélever 3 à 5µl d'hémolymphe avec 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 libre ;
- ✓ 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 distillée et laisser pendant 1 minute
- ✓ Enlever l'excès du colorant avec de l'eau du robinet par rinçage ;
- ✓ Ajouter 40 gouttes de Giemsa et recouvrir la lame et laisser pendant 10 minutes, puis rincer la lame à l'eau courante ;
- ✓ Après séchage de la lame, 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.
- ✓ Réaliser un balayage des lames sous microscope optique, afin d'observer et déterminer les différentes catégories hémolympatiques.

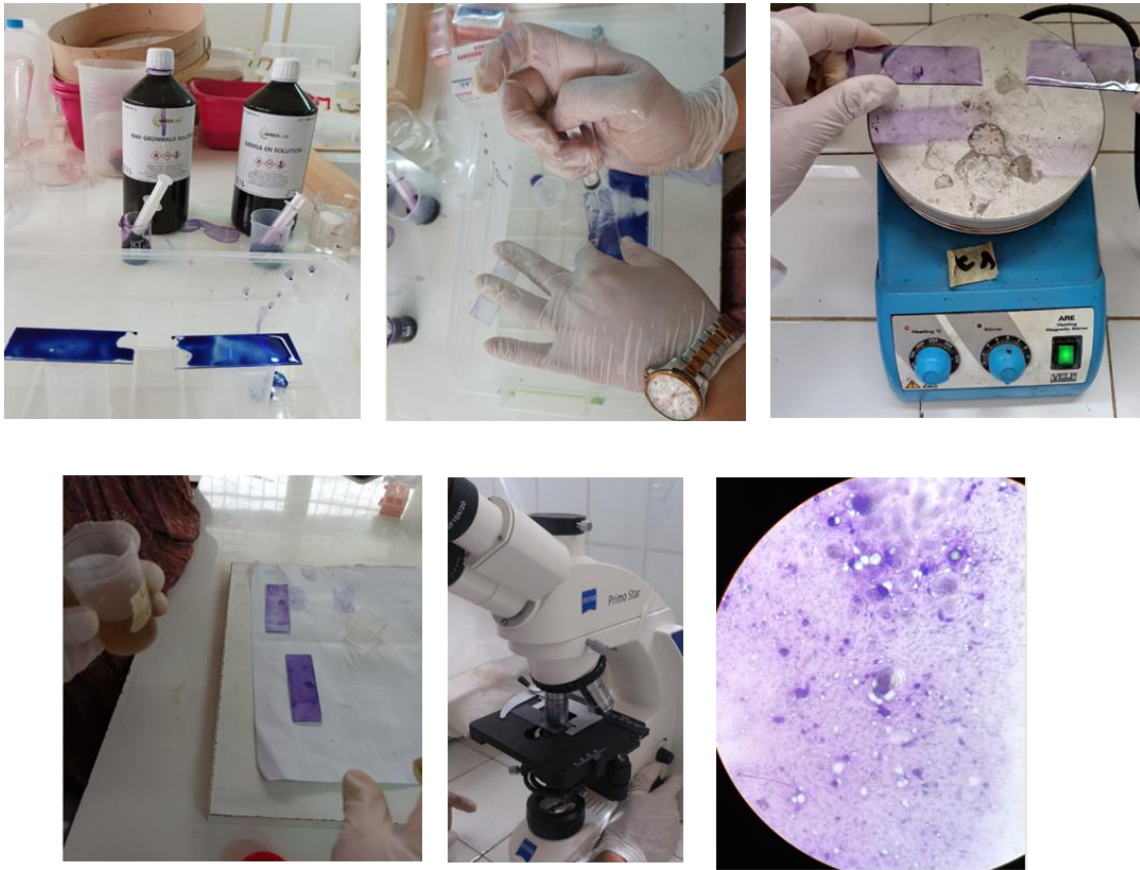


Figure 17 : Réalisation du frottis hémolymphtique de *C capitata*

La détermination des différentes catégories hémocytes a été réalisée par comparaison avec les travaux de références de Wigglesworth (1972), Arnold (1974) et Raccaud-Schoeller (1980), mais aussi, les récents travaux de recherche réalisés par Kadota et *al.* (2003), De Negeiro et *al.*, (2009), Klowden (2013) et Rosales (2017).

### II.8.3. Détermination de la dose létale (DL50)

La dose létale 50 (DL<sub>50</sub>) est calculée à partir de la transformation en Probits des pourcentages de mortalités. Nous obtiendrons, par la suite, des droites de régression des valeurs (probits) en fonction des logarithmes des doses utilisées lors du traitement. Ces équations sont de type :

$$(Y = a X + b).$$

Soit : Y: Probit des mortalités ; X: Logarithme de la dose et a: La pente

Ensuite, nous calculons les DL<sub>50</sub> en remplaçant Y par les probits concernés.

#### **II.8.4. Analyse statistique des résultats**

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

## Chapitre III: Résultats obtenus

Les résultats obtenus et illustrés dans ce chapitre portent sur une expérimentation conduite au laboratoire de Protection des Cultures de l'I.N.R.A.A. et relative à des l'étude de l'effet de l'extrait aqueux de la plante *Hyoscyamus muticus* L. subps *falezlez* sur les adultes et les pupes de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata*, espèce considérée comme le ravageur le plus redoutable de l'arboriculture fruitière dans le bassin méditerranéen, notamment el Algérie.

L'objectif de cette étude est, pour rappel, une contribution à la recherche de nouvelles alternatives prometteuses et respectueuses de l'environnement dans la lutte contre ce diptère.

### III.1. Screening phytochimique d'*Hyoscyamus muticus* L. subps *falezlez*

Le screening phytochimique réalisé sur les feuilles, de ladite plante a permis de détecter la présence de certaines substances chimiques du métabolisme secondaire suite à l'utilisation de réactifs spécifiques de révélation basés sur des réactions de précipitation et de coloration. L'ensemble des résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau ci-après (**Tableau 5**). Les résultats ont mis en évidence la présence de composés chimiques connus dans la littérature pour leurs activités biologiques intéressantes.

Ainsi, les tests phytochimiques de la plante *Hyoscyamus muticus* L. subsp. *falezlez* ont révélé l'abondance considérable des polyphénols, des flavonoïdes et des térapénoïdes. Les tanins condensés, les saponines et les sucres réducteurs sont également présent avec une absence totale des stéroïdes.

**Tableau 5.** Résultat du screening phytochimique des feuilles d'*Hyoscyamus muticus* L. subps *falezlez*

Métabolites secondaires	Présence (+) / Absence (-)
<b>Polyphénols</b>	+++
<b>Flavonoïdes</b>	+++
<b>Tannins condensés</b>	+
<b>Stéroïdes</b>	-
<b>Térapénoïdes</b>	++
<b>Saponines</b>	+
<b>Sucres réducteurs</b>	+

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

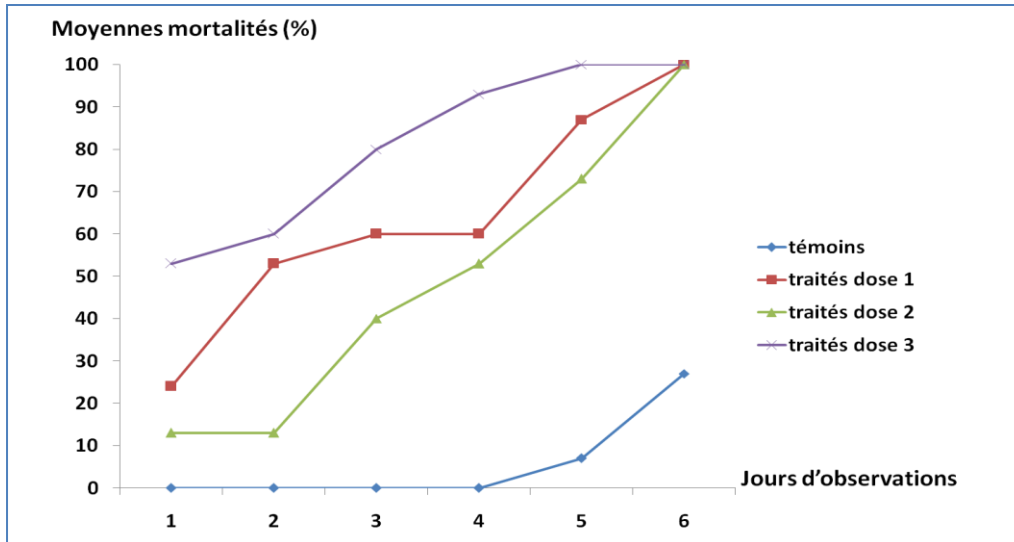
### III.2. Effet de l'extrait aqueux d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez* sur la mortalité des adultes et des pupes de *Ceratitis capitata*

Le traitement à base de l'extrait aqueux de *H. muticus* L. subsp *falezlez* vis-à-vis des adultes et des pupes de *C. capitata* ont été conduits au laboratoire à une température de  $27\pm 3^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative de  $70\pm 15\%$  et une photopériode de 12h (lumière) /12h (obscurité). Le mode de traitement utilisé est par ingestion. Les moyennes des mortalités journalières ainsi que les mortalités corrigées sont consignées dans le **tableau 6** et illustrées dans la **figure 18**.

**Tableau 6** : Pourcentages moyens des mortalités journalières des adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*

Jours	Témoins	Traités					
		Dose 1		Dose 2		Dose 3	
		Moyennes Mortalités (%)	M.C. (%)	Moyennes Mortalités (%)	M.C. (%)	Moyennes Mortalités (%)	M.C. (%)
1	0	24	24	13	13	53	53
2	0	53	53	13	13	60	60
3	0	60	60	40	40	80	80
4	0	60	60	53	53	93	93
5	7	87	86,02	73	70,96	100	100
6	27	100	100	100	100	100	100

M.C. : mortalités corrigées



**Figure 18 :** Pourcentage de mortalités moyennes des adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*

Les résultats obtenus montrent qu'avec l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* nous avons enregistré un début de mortalité des mouches de *C. capitata* à partir du premier jour d'observation, pour les trois doses utilisées (D1=10µl, D2=30µl et D3=50µl). Alors que pour le lot témoin, la mortalité n'a été observée qu'à partir du 5<sup>ème</sup> jour.

En terme d'efficacité du produit utilisé, il semble que la Dose 3 agit de manière plus virulente que les doses D1 et D2. En effet, un pourcentage de 50% de mortalité a été enregistré le 1<sup>er</sup> jour de traitement pour la dose D3, alors que pour les doses D1 et D2 les 50% de mortalité ont été obtenus, respectivement, à partir du 2<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jour d'observation.

Quant à la mortalité totale, elle a été notée à partir du 5<sup>ème</sup> jour d'exposition des adultes traités par la dose D3 et du 6<sup>ème</sup> jour pour les doses 1 et 2.

### III.3. Analyse statistique

Les résultats de l'analyse de la variance (**tableau 7**), montrent une différence très hautement significative pour le facteur doses, temps, ainsi que leur interaction avec un niveau de probabilité (P=0,000).

**Tableau 7.** Analyse de la variance des mortalités des adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux (par ingestion) d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*

	SCE	DDL	CM	F. obs.	P
<b>VAR1 (temps)</b>	341358,2	26	15423,2	621,54	0,000
<b>VAR2 (doses)</b>	210361,4	4	24653,5	721,66	0,000
<b>VAR1*VAR2</b>	59641,1	138	622,2	18,45	0,000
<b>VAR résiduelle</b>	5268,1	174	28,2	-	0,000

Le test LSD ou de comparaison planifiée fait ressortir deux groupes homogènes, soient le groupe A relatif aux doses D1 et D3 et le groupe B relatif à la dose D2.

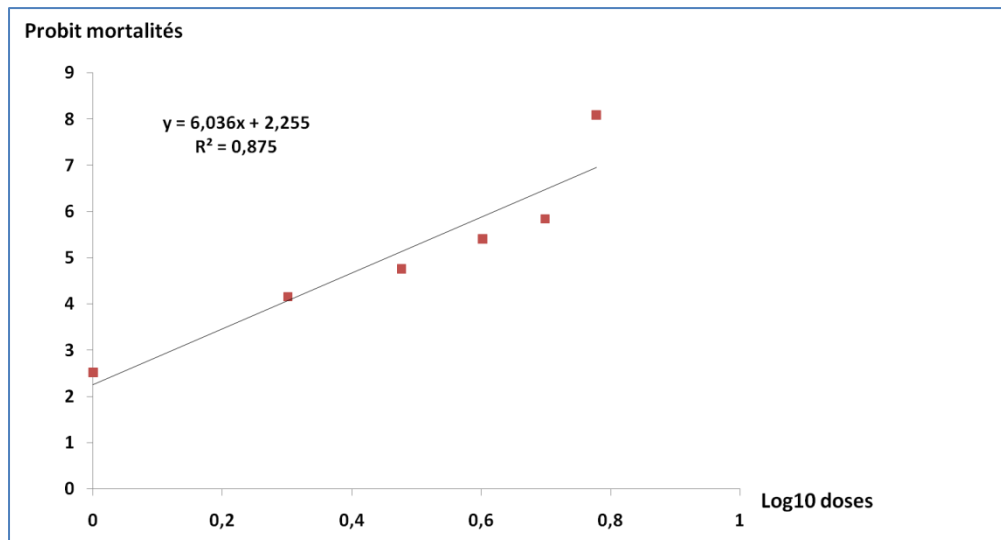
#### III.4. Détermination de la DL50

Pour rappel, la dose létale 50% (DL50) est calculée à partir de la transformation en Probits des pourcentages de mortalités corrigées et en logarithme décimal des valeurs relatives aux doses.

Ainsi la droite de régression obtenue (**figure 19**) relative aux résultats obtenus a fait ressortir l'équation suivante :  $y = 6,036x + 2,255$  et un coefficient de détermination  $R^2 = 0,875$ , ce qui révèle une liaison positive très forte entre les probits des mortalités et le logarithme décimal des concentrations utilisées.

Ainsi, pour une mortalité de 50%,  $Y$  est égale à 5 (probit), il en ressort un  $x = 0,454$ .

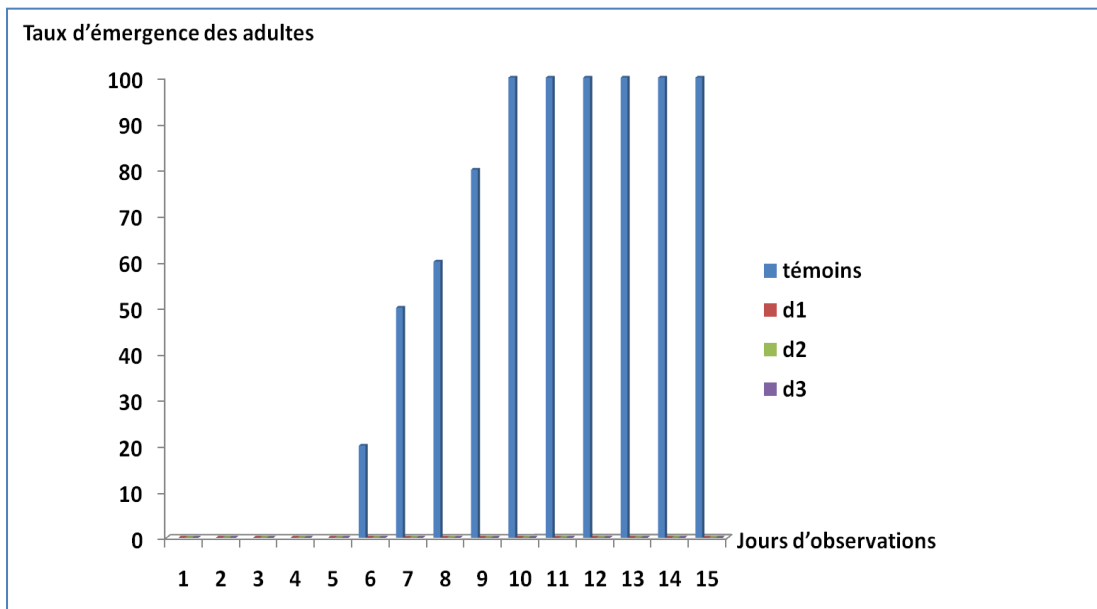
En utilisant, de ce fait, l'exponentielle 10 de  $x$ , nous obtenons une **DL50 = 2.83  $\approx$  3  $\mu$ l** de la solution mère de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* provoque la mort de 50% des adultes de la cératite.



**Figure 19 :** Efficacité de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* contre les adultes de *C. capitata*

### III.5. Effet d'*H. muticus* L. subps *falezlez* vis-à-vis des pupes de *C. capitata*

Le traitement par pulvérisation des pupes de la cératite par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subps *falezlez* à différentes doses (D1=10µl, D2=30µl et D3=50µl) a été suivi pendant 15 jours, soit la durée maximale d'émergence des adultes selon la bibliographie du cycle biologique de *C. capitata*. En effet, lors du traitement nous avons observé que les pupes témoins ont toutes émergé 10 jours après pulvérisation des pupes et du sable avec de l'eau distillée. Contrairement aux pupes pulvérisées avec l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subps *falezlez* qui n'ont effectué aucune émergence **figure 20**.

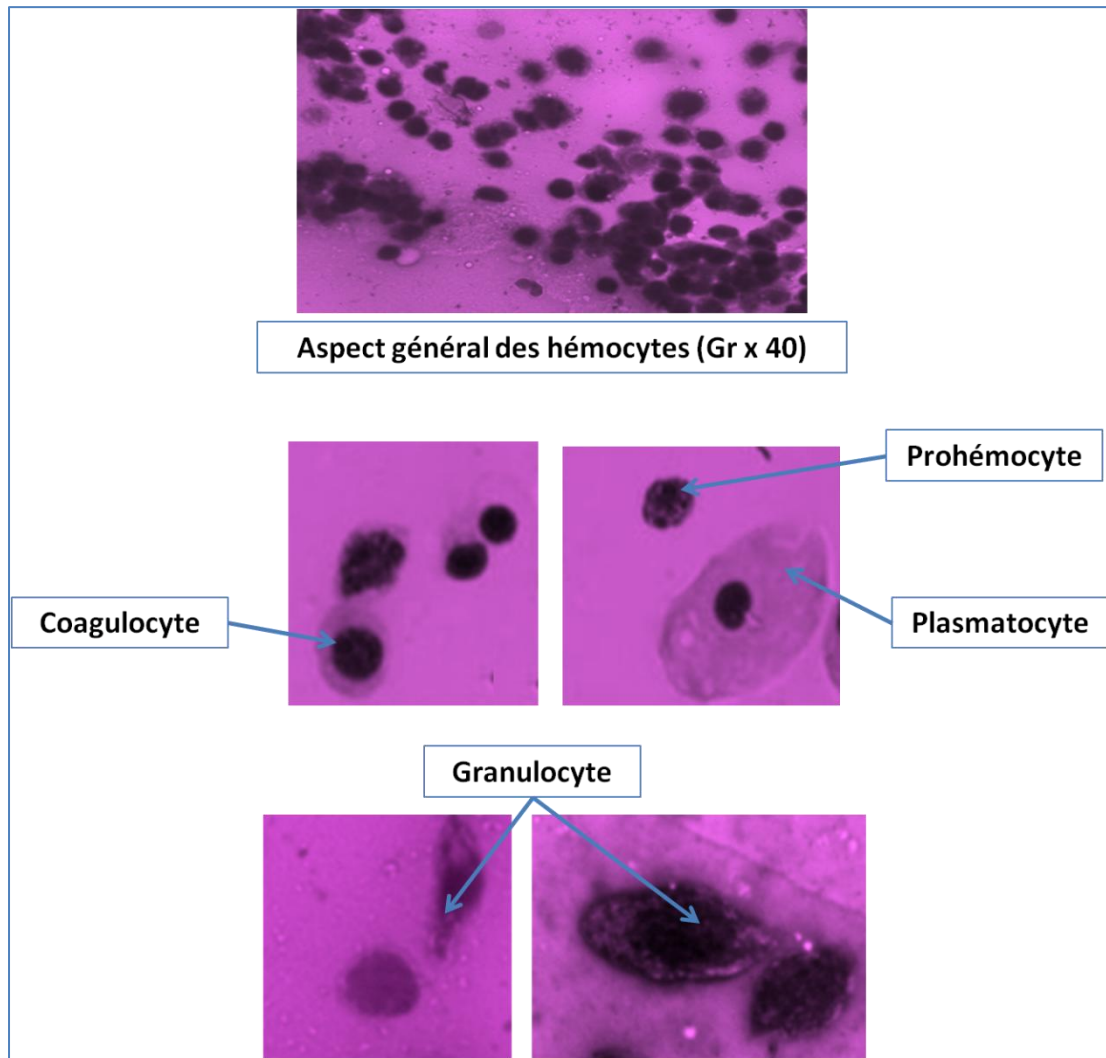


**Figure 20 :** Taux d'émergence des adultes de *C. capitata* issus des pupes témoins et traitées par *H. muticus* L. subps *falezlez*

### III.6. Effet de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subps *falezlez* sur l'hémolymphe des adultes de *C. capitata*

#### III.6.1. Etude qualitative

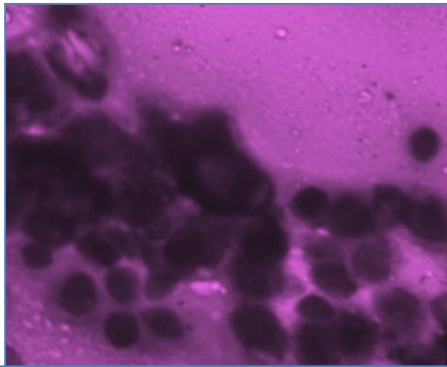
Après la réalisation d'un frottis hémolympatique des adultes témoins de *C. capitata* et en comparaison avec les travaux d'autres auteurs, nous avons distingué quatre catégories d'hémocytes (**figure 21**), à savoir, les prohémoscytes, les plasmatocytes, les coagulocytes et les granulocytes.



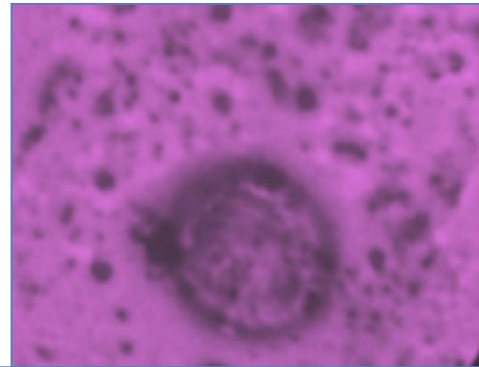
**Figure 21** : Observation microscopique des différentes hémocytes identifiées dans l'hémolymphe des témoins de *C. capitata* (**Photographie originale, Gr. x 40 et Gr. x 100**)

Toutefois, l'observation microscopique réalisée sur le frottis hémolympatique des individus adultes de *C. capitata* traités par *H. muticus* L. subsp. *falezlez* (extrait aqueux), révèle d'importantes altérations structurales (**figure 22**) au niveau des hémocytes totalement absentes chez les individus témoins. Les cellules attaquées par les toxines de ladite plante présentent :

- a) Un aspect rétracté dense et diffus, voir des cellules regroupées et formant des amas
- b) Des cellules complètement vidées de leurs contenus cytoplasmiques
- c) Ces cellules émettant des extensions filamenteuses où la membrane cytoplasmique émet des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes
- d) Apparition de nodules d'encapsulation et de granules de sécrétion libérés par les granulocytes

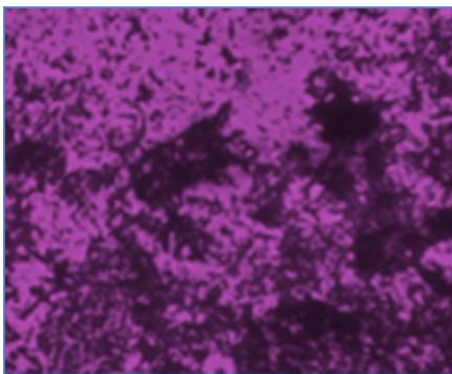


(a) Amas de cellules hémocytaires

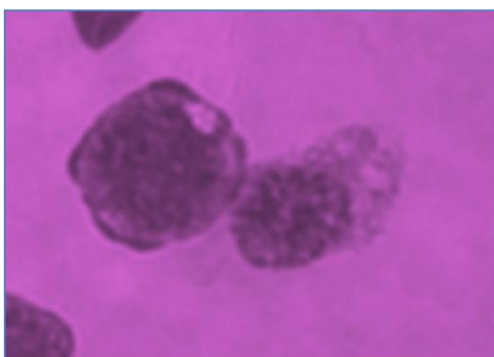
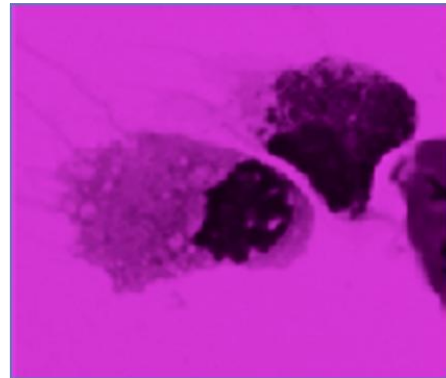


(b) Hémocyte vidée de son contenu cytoplasmique

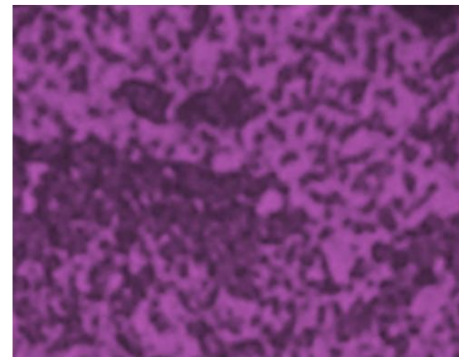
e) Des cellules complètement désagrégées, voir des débris de cellules hémocytaires



(c) Emission de pseudopodes et d'extensions filamenteuses



(d) Libération de granules de sécrétion



(e) Débris d'hémocytes

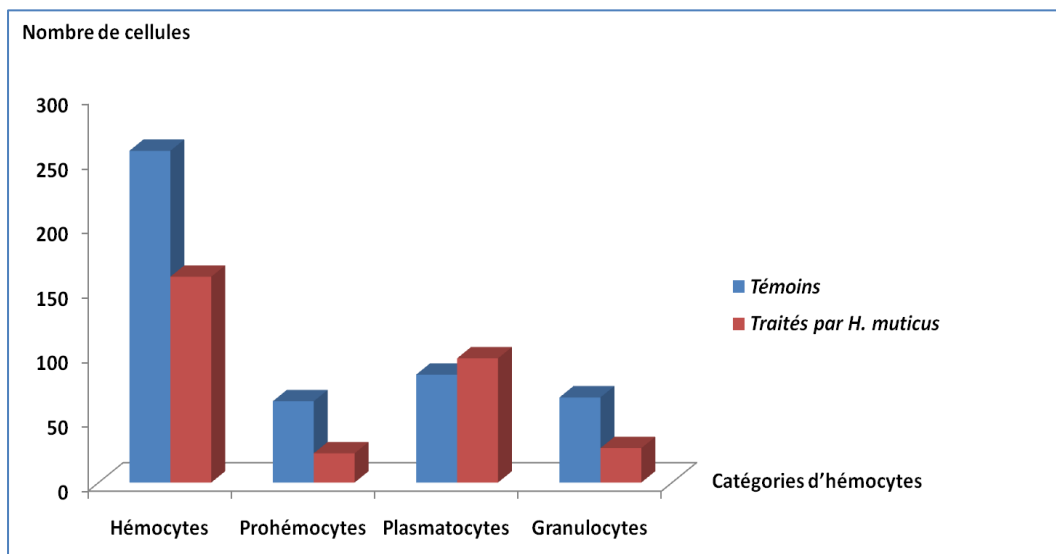
**Figure 22:** Observation microscopique des différentes hémocytes des adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp. *falezlez* (Photographies originales, Gr. x 100)

III.6.2. Etude quantitative

Afin d'étudier l'effet de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* sur l'aspect quantitatif de l'hémolymphe de *C. capitata*, 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 23**. Ces derniers montrent que le traitement à base d'*H. muticus* a provoqué une baisse considérable du nombre de prohémyocytes et des granulocytes, alors que les plasmatoctes 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 *H. muticus* L. subsp *falezlez*

		R1	R2	R3	Moyennes
<b>Hémocytes</b>	<b>Témoins</b>	<b>263</b>	<b>297</b>	<b>212</b>	<b>257,333</b>
	Traités	186	170	123	159,666
<b>Prohémyocytes</b>	<b>Témoins</b>	<b>68</b>	<b>56</b>	<b>65</b>	<b>63</b>
	Traités	30	21	17	22,666
<b>Plasmatoctes</b>	<b>Témoins</b>	<b>93</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	<b>83,666</b>
	Traités	116	89	84	96,333
<b>granulocytes</b>	<b>Témoins</b>	<b>67</b>	<b>71</b>	<b>60</b>	<b>66</b>
	Traités	23	46	11	26,666



**Figure 23** : Nombre moyen des hémocytes et leurs différentes catégories dans l'hémolymphe des adultes de *C. capitata* témoins et traités par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*

La figure ci-dessus illustre l'effet significatif du traitement à base de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* contre les mouches de *C. capitata*, soit une baisse considérable allant de 63 à 22,66 prohéocytes et de 66 à 26,66 pour les granulocytes, alors que les plasmatoctes ont légèrement augmenté de nombre allant de 8366 à 96,33.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification représenté par le facteur traitement, fait ressortir un effet hautement significatif ( $p < 0,000$ ) du traitement réalisé (tableau 9).

**Tableau 9 :** Analyse de la variance de l'hémogramme des adultes de *C. capitata* traités par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*

	SCE	DDL	CM	F. obs.	p
VAR2 (traités)	128212,6	8	19654,6	652,33	0,000
VAR résiduelle	5236,3	168	32,4	-	0,000

## Chapitre IV: Discussions des résultats obtenus

### IV. 1. Screening phytochimique de *Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez*

Le but d'une étude phytochimique d'une plante permet de détecter, la présence des substances appartenant à des classes de composés potentiellement physiologiquement actifs : les métabolites secondaires (Dohou et *al.* 2003).

En effet, les plantes possèdent des métabolites dits « secondaires » par opposition aux métabolites primaires que sont les protéines, les glucides et les lipides. Ces composés diffèrent en fonction des espèces et, bien que leurs rôles soient encore mal connus, il est cependant clair qu'ils interviennent dans les relations qu'entretient la plante avec les organismes vivants qui l'entourent. Ils 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 (Krief, 2003).

La présence de ces métabolites secondaires dans les feuilles d'*H. muticus* pourrait, donc, expliquer ultérieurement les activités insecticides de la plante.

Durant notre expérimentation, nous avons, suite au criblage phytochimique des feuilles d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez*, obtenu des données qui révèlent une abondance considérable des polyphénols, des flavonoïdes et des terpénoïdes dans ladite plante. Les tanins condensés, les saponines et les sucres réducteurs sont également présents avec une absence totale des stéroïdes.

Nos résultats corroborent avec l'analyse phytochimique effectuée sur les feuilles d'*H. muticus* par Benhouda et Yahia (2014), Mahmood et *al.* (2001) et Ayari-Guentri et *al.* (2021) Ces derniers, notent la présence d'alcaloïdes tropaniques, de stéroïdes, et une grande quantité de composés phénolique tels que les flavonoïdes, tanins condensés et saponines dans les feuilles d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*.

Selon Goullé et *al.* (2004), *H. muticus* L. subsp *falezlez* contient de 0,2 à 0,5 % d'alcaloïdes, majoritairement sous forme d'**hyoscyamine** mais également sous forme d'atropine et de scopolamine. Selon Küpeli Akkol et *al.* (2020), toutes les parties d'*H. muticus* contiennent de l'hyoscyamine et de la scopolamine

D'autres travaux de recherche ont montré que les flavonoïdes exercent des activités antioxydantes, anti-inflammatoires et hépato-protectrices (Tapas et *al.*, 2008), aussi ils ont un rôle comme analgésique en ciblant les prostaglandines (Ferdous et *al.*, 2008).

Ayari-Guentri et al. (2017) démontrent que les parties aériennes de *H. muticus* L. subsp. *falezlez* sont riches en monoterpènes oxygénés dont le bornéol est le principal constituant. En outre, nous avons identifié les acides féruliques, caféique, trans-cinnamique et la quercétine, quatre composés phénoliques connus pour leurs propriétés antioxydantes.

#### **IV.2. Activité toxique de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* vis-à-vis des adultes et des pupes de *C. capitata***

Durant notre expérience, soit le traitement des adultes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*, nous avons remarqué que les individus traités présentent des tremblement et des mouvements d'excitation et volent moins. Ceci pourrait être expliqué par l'action neurotoxique exercée par les alcaloïdes contenus dans la plante. Car, selon Anton et Lobstein (2005), les alcaloïdes agissent sur le système nerveux central et sur le système nerveux Autonome.

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

Rappelons que le traitement à base de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* nous a permis d'enregistrer un début de mortalité des mouches de *C. capitata* à partir du premier jour d'observation, pour les trois dose utilisées (10µl, 30µl et 50µl), alors que pour le lot témoin, la mortalité n'a été observée qu'à partir du 5<sup>ème</sup> jour. Aussi, nous avons remarqué que la Dose 3 a agit de manière plus virulente que les doses D1 et D2, 50% de mortalité a été enregistré le 1<sup>er</sup> jour de traitement pour la dose D3, alors que pour les doses D1 et D2 les 50% de mortalité ont été obtenus, respectivement, à partir du 2<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jour d'observation.

Quant au traitement par pulvérisation des pupes de la cératite, toujours, par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* à différentes doses (D1=10µl, D2=30µl et D3=50µl nous avons observé que les pupes témoins ont toutes émergé 10 jours après pulvérisation des pupes et du sable avec de l'eau distillée. Contrairement aux pupes pulvérisées avec l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* qui n'ont effectué aucune émergence.

L'effet des flavonoïdes et des composés saponiques contenus dans les feuilles d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* semble être toxique pour les adultes et les pupes de *C. capitata*. En effet, en plus de la mortalité enregistrée des adultes de la cératite, à partir du premier jour suivant le traitement, il semblerait que le développement des pupes et l'émergence des adultes ont été inhibés par l'action des saponines. Cette dernière, 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*.

En outre, des recherches ont montré la présence d'un potentiel anti-appétant de l'extrait méthanolique d'*H. muticus* sur les larves de quatrième stade de *Spodoptera littoralis* (Elsharkawy *et al.*, 2018).

D'autre part, l'effet toxique et acaricide d'*H. muticus* contre *Tetranychus urticae* a été démontré par Dawidar *et al.* en 2009.

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 de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* sur l'hémolymphe des adultes de *C. capitata***

#### **IV.3.1. Etude qualitative**

L'hémolymphe contient des cellules circulantes appelées hémocytes, qui contribuent aux fonctions immunitaires des insectes (Kanost, 2009 ; Kanost et *al.*, 1990). Le nombre d'hémocytes 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).

Lors de notre expérimentation, nous avons étudié l'action cytotoxique relative au traitement des adultes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*.

En premier lieu, 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 prohéocytes, les plasmatocytes, les granulocytes, les coagulocytes et les adipocytes).

De son côté, Klowden (2013) a identifié sept catégories d'hémocytes chez les insectes, à savoir les prohéocytes, les plasmatocytes, 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, Prohémocytes, Oenocytoïdes, Plasmatocytes et Podocytes.

Notons aussi que les prohémocytes que nous avons identifiées sont comparables à celles décrites par les travaux de Brehelin et Zachary (1983) et 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).

En second lieu, 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). 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).

Dans notre cas, l'examen microscopique de l'hémolymphe des adultes de *C. capitata*, traités par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* 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 ; des cellules émettant des extensions filamenteuses où la membrane cytoplasmique émet des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes et enfin apparition de nodules et de granules de sécrétions libérés par les granulocytes.

La destruction des cellules hémocytaires de *C. capitata* semble être due à l'action des saponines d'*H. muticus*. 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.

Contrairement aux monocytes humains, les hémocytes des insectes sont capables d'effectuer la nodulation et l'encapsulation de corps étrangers, selon Negri *et al.* (2013).

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.3.1. Etude quantitative**

Quantitativement, nous avons remarqué que le taux d'hémocytes chez les adultes traités par l'extrait aqueux de *H. muticus* a été réduit par rapport à celui des témoins.

Les résultats obtenus révèlent l'effet significatif du traitement à base de l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp. *falezlez* contre les mouches de *C. capitata*, soit une baisse considérable allant de 63 à 22,66 prohéocytes et de 66 à 26,66 pour les granulocytes, alors que les plasmatoctes ont légèrement augmenté de nombre allant de 83,66 à 96,33.

Cette diminution remarquable peut s'expliquer par leur intervention dans le processus de défense immunitaire mais l'action hémolytique des métabolites secondaires d'*H. muticus* 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* traités 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 plasmatoctes 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 plasmatoctes, dont le nombre augmente pour déclencher une réponse immunitaire immédiate.

La même chute numérique a été soulignée par Kaidi et *al.* (2017) qui a enregistré une baisse du taux des hémocytes des imagos de *Schistocerca gregaria* et de *Locusta migratoria* traités par l'extrait acétonique de *Calotropis procera*, mais 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*.

## Conclusion Générale

En Algérie, la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae), a été tout le temps associée à l'arboriculture fruitière dans les régions côtières à climat doux. Avec le changement climatique, notamment la saison automnale qui est devenue sensiblement aussi chaude et sèche que la saison estivale, cette mouche a pu gagner de l'espace. L'importance de ce diptère en tant que ravageur, est liée à plusieurs facteurs, elle s'attaque aux cultures à haute valeur ajoutée et aux fruits sur le point de mûrir. Il s'agit d'une espèce très polyphage qui évolue sur différentes espèces fruitières à maturité successive dans le temps, tels que les agrumes, les abricots, les pêches et les figes.

La Cératite n'a cessé de susciter l'intérêt de la recherche dans notre pays. Les dégâts qu'elle engendre sur les fruits d'une façon générale et sur les oranges d'une façon particulière sont très importants. De plus, la dépréciation de la valeur marchande des fruits piqués, même intacts, et leur refus à l'exportation touche une proportion importante de notre production.

L'utilisation des insecticides de synthèse de plus en plus réglementé pour la protection de l'environnement, alourdi le bilan environnemental et est à l'origine de nombreux cas de résistances chez les insectes, notamment chez la cératite. Le recours à des molécules naturelles (d'intérêt écologique et économique) ou propriétés insecticides ou insectifuges se révèle être une démarche alternative à l'emploi des insecticides de synthèse.

C'est dans ce contexte que se trace l'objectif principal de cette présente étude et qui vise l'évaluation de l'effet de l'extrait aqueux des feuilles d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez* contre deux stades biologiques de *C. capitata*. Un traitement qui nous a permis d'établir la DL<sub>50</sub> et de voir l'action cytotoxique de cette plante sur l'hémolymphe de ce ravageur.

En premier lieu, nous avons jugé utile d'établir un screening phytochimique de la plante étudiée. Ce criblage révèle une abondance considérable des feuilles d'*H. muticus* L. Subsp *falezlez* en polyphénols (alcaloïdes), en flavonoïdes et en composés terpéniques. Les tanins condensés, les saponines et les sucres réducteurs sont également présents avec une absence totale des stéroïdes.

En second lieu, le traitement par ingestion des adultes de *C. capitata* par l'extrait aqueux d'*H. muticus*, avec trois doses (10ul, 30ul, 50ul), a fait ressortir une avec une **DL50 = 2.83 ≈ 3 µl** mortalité de 50% enregistrée le premier jour de traitement pour la dose 3, alors que pour les dose 1 et 2 elle a été notée, respectivement, à partir du 2<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jour

d'observation. Quant au traitement par pulvérisation des pupes de la cératite, toujours, par l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez*, à différentes doses citées auparavant, nous avons observé que les pupes témoins ont toutes émergé 10 jours après pulvérisation des pupes et du sable avec de l'eau distillée. Contrairement aux pupes pulvérisées avec l'extrait aqueux d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* qui n'ont effectué aucune émergence. Comme nous avons remarqué que les individus traités présentaient des tremblements et des mouvements d'excitation et volaient moins que d'habitude. Ceci pourrait être expliqué par l'action neurotoxique exercée par les alcaloïdes contenus dans la plante qui ont agit sur le système nerveux central et sur le système nerveux Autonome, en ralentissant la fermeture des canaux Na<sup>+</sup> dépendant (comme le pyrèthre) et perturbe la dépolarisation membranaire. Une activité qui provoque une paralysie avant la mort selon la bibliographie. Concernant les saponines contenues dans la plante utilisée, il semblerait qu'ils aient inhibé le développement des pupes et l'émergence des adultes. L'action toxique d'*H. muticus* contre *C. capitata* pourrait, également, être due aux propriétés répulsives et insecticides des composés terpénoïdes de ladite plante.

En troisième lieu, l'étude de l'activité cytotoxique de la jusquiame sur l'hémolymphe de la cératite a été confirmée par d'importantes altérations structurale, 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 ; des cellules émettant des extensions filamenteuses où la membrane cytoplasmique émet des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes et enfin apparition de nodules et de granules de sécrétions libérés par les granulocytes. Nous avons, également, remarqué que le taux d'hémocytes chez les adultes traités par l'extrait aqueux de *H. muticus* a été réduit par rapport à celui des témoins avec une baisse considérable allant de 63 à 22,66 prohéocytes et de 66 à 26,66 pour les granulocytes, alors que les plasmatocytes ont légèrement augmenté de nombre allant de 83,66 à 96,33. Cette diminution remarquable peut s'expliquer par leur intervention dans le processus de défense immunitaire mais l'action hémolytique des métabolites secondaires d'*H. muticus* 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.

Nous pouvons, ainsi conclure que les résultats obtenus lors de notre expérimentation sont aux propriétés phytochimiques de la plante utilisée. Il serait, de ce fait, nécessaire d'accentuer les recherches sur les différentes molécules constituant notre extrait pour approfondir la compréhension sur la fraction qui pourrait être à l'origine de la toxicité relevée vis-à-vis de *C. capitata* et sur biosynthèse des métabolites secondaires intervenant dans la défense de l'espèce contre ses ennemis.

En perspectives, nous jugeons utile de proposer ce qui suit :

- ✓ L'optimisation des méthodes d'extraction et d'identification pour mieux cibler les molécules bioactives dans divers plantes toxiques contre la cératite.
- ✓ La recherche d'une méthode expérimentale idéale pour l'étude des interactions antagonistes- ravageurs, ce qui augmente la chance d'acquérir une bonne formulation bio pesticide.
- ✓ L'étude et la détermination des 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'efficience des moyens de lutte biologique.

## Références bibliographiques

1. **Abbott W.S., 1925** - A method of computing the effectiveness of an insecticide. J.
2. **Ali Ahmed- Sadoudi D., 2007** - *Bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits Ceratitiscapitata Wiedemann, 1824 (Diptera: Trypetidae) dans quelques vergers de la Kabylie*. Thèse de Doctorat. Uni. Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou. 197p.
3. **Aouati A., 2016**. Etude de la toxicité d'Amroun M., Bensidhoum M., Delattre P., Gaubert p., 2013. Feeding habits of the common genet (*Genetta genetta*) in the area of Djurdjura, north of Algeria. *Mammalia*, Volume 78, 35-43.
4. **Arnold J.W., 1974** – **The haemocytes of insects**. *Physiology insect. Academic Press, New York*, (5) : 210-214.
5. **Ayari-Guentri, S., Djemouai, N., Gaceb-Terrak, R., & Rahmania, F. (2017)**. Chemical composition and antioxidant activity of *Hyoscyamus muticus* L. subsp. *falezlez* (Coss.) Maire from Algeria. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(5), 1370-1379.
6. **Ayari-Guentri, S., Djemouai, N., Gaceb-Terrak, R., & Rahmania, F. (2021)**. Etude morphologique et cyto-histo-anatomique d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp. *falezlez*, plante médicinale de la région d'Adrar. *International Journal of Natural Resources and Environment*, 3(1), 23-39.
7. **Bachi K., 2018** - Bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitiscapitata* Wied. 1824 (Diptera; Tephritidae) sur quelques variétés fruitières en Kabylie. Essai de lutte biologique au laboratoire (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
8. **Balachowsky A., Mesnil, L., 1935**. Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Leurs mœurs, leurs distributions. *Insectes nuisibles aux arbres fruitiers, à la vigne, aux céréales et aux graminées de prairies*. Ed. Busson, Paris : 242-253.
9. **Balachowsky A., (1950)**: Sur l'origine de la mouche des fruits (*Ceratitiscapitata* Wied.). *C. R. Seance Acad. Agrie. Fr.*, 36: 359-362.
10. **Baruffi L., G. Damiani, C.R. Guglielmino, C. Bandi, AR Malacrida, G. Gasperi, 1995** - Polymorphism within and between populations of *Ceratitis capitata* :

- comparison between RAPD and multilocus enzyme electrophoresis data. *Heredity*. 74: 425-437.
11. **Bess H.A., Van Den Bosch R. et Haramoto F.H., 1961** – Fruit fly parasites and their activities in Hawaii. *Proc.436 Hawaii Entomol. Soc.*, 17: 367-378
  12. **Bodenheimer F.S.,1951** – Citrus entomology In *The Middle East With Special References to Egypt, Iran, Irak, Palestin, Syria, Turkey*. Ed.Springer Dordrecht, XII, 663p.
  13. **Bourebaba, L., Bedjou, F., Röcken, M., & Marycz, K. (2019)**. Nortropane alkaloids aspharmacological chaperones in the rescue of equine adipose-derived mesenchymal stromal stem cells affected by metabolic syndrome through mitochondrial potentiation, endoplasmic reticulum stress mitigation and insulin resistance alleviation. *Stem Cell Research & Therapy*, 10, 178.
  14. **Buyckx, E.J., 1994**. Unfecundated dates, host of the Mediterranean Fruit Fly (Diptera:Tephritidae) in the oases of Tozeur. *Proceeding of IOBC/WPRS Int. Open Meet. Working group “Fruit flies of economic importance”*, Lisbon, Portugal. 14-16 Oct. 1993. *IOBC/WPRS Bull.* 17 (6), 25-37.
  15. **CAREY J.R., 1984**: Host specify demographic studies of the Mediterranean fruit fly *Ceratitiscapitata* WIED. *Ecol. Entomol.* Vol.9 : 161-270.
  16. **Causse R., 1974** - Etude d'un rythme circadien du comportement de prenymphechez *Ceratitiscapitata*Wiedemann (DiptereTrypetidae). *Ann. Zool. Ecol.Entomol.*, 68 :237 /243
  17. **Cheikh M., Howell J.F., Harris E.J., Ben Salah H., et Soria F., 1975** - Suppression of the Mediterranean fruit fly in Tunisia with released sterile insects. *J.Econ . Entomol.*, 68 : 237-243.
  18. **Chouibani M., Ouizbouben A., et Kaach H., 2003** - Protection intégrée desagrumes. Ed. Ouvrage réalisé par la Direction de la Protection des Végétaux, desContrôles Technique et de la Répression des Faudes en coopération avec la GTZ (Projet Contrôle Phytosanitaire).13p.
  19. **Christenson, L.D., RH Foote, 1960** - Biology of fruit flies. *Annu. Rev. Entomol.* 5: 171-192.
  20. **Constantino C., 1950** - contributo alla conoscenzadellamoscodella. *Ceratitiscapitata*(Diptera, Trypetidae). *Arch. Zool. Exp. Gén.*, T.118, Fac sc.3, pp: 316-334

21. **Cosson, M. E. (1864).** Description des plantes nouvelles découvertes par M. Henri Duveyrier dans le Sahara. Bulletin de la Société Botanique de France, 11(5), 164-169.
22. **De Meyer M., 2000** - Systematic revision of the subgenus *Ceratitis* MacLeay (Diptera: Tephritidae). Zoological Journal of the Linnean Society, 128: 439-567.
23. **De Natale, A., & Pollio, A. (2012).** A forgotten collection: the Libyan ethnobotanical exhibits (1912-14) by A. Trotter at the Museum O. Comes at the University Federico II in Naples, Italy. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 8(1), 1-19.
24. **De Negreiro M.C.C., Carvalho R.B.R. De Andrade F.G., Levy S.M., Moscardi F. & Rebels A.M.F., 2009-** Caracterizacao citologica dos hemocitos de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Noctuidae) em larvas resistentes ao virus AgMNPV. Theringia, Ser. Zool, Porto Alegre, 99 (1): 66-70.
25. **Debouzie D., 1977** - Etude de la compétition larvaire chez *Ceratitiscapitata* (diptère, trypetidae). Arch. Zool. Exp Gen. T. 118, Fac 3: 316-334.
26. **Delanoue P., & Soria F., 1954** - Contribution à l'étude biologique de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitiscapitata* Wied. Fruit et primeurs n°159, pp : 353
27. **Delassus M., Bricchet J., Balachowsky A., Lepigne L., 1931** - Les ennemis des cultures fruitières en Algérie et les moyens pratiques de la combattre. Ed. Recher. Agro. Algérie: 53-62.
28. **Delassus M., Bricchet J., Balachowsky A., Lepigne L., 1931** - Les ennemis des cultures fruitières en Algérie et les moyens pratiques de la combattre. Ed. Recher. Agro. Algérie: 53-62.
29. **Delrio G., 1985** - Biotechnical methods for olive pest control. Integrated pest control in olive groves. Rotterdam: Balkema, 394-410.
30. **Duyck, P. F. (2005).** Compétition interspécifique et capacités invasives. Le cas des Tephritidae de l'île de La Réunion (Doctoral dissertation, Université de la Réunion), 157p  
Econ. Entomol. 18 : 265-267.
31. **Elaini R., 2003** - Contribution au développement des techniques de lutte contre la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitiscapitata* Wiedemann (Diptera, Tephritidae) en verger d'agrumes et en post-recolte. These. Ing. en Agronomie, I.A.V. HASSAN II. pp: 4 - 17.

32. **Fellah, H., 1996** - Contribution à l'étude de la bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitia capitata* Weidemann (Diptera : Tephritidae) sur fruits d'été. Mémoire de fin du cycle de spécialisation de L'INAT.
33. **Filippi J. B., 2003** - Une architecture logicielle pour la multi-modélisation et la simulation à événements discrets de systèmes naturels complexes (Doctoral dissertation). Uni. Corse PASQUALE PAOLI. 162 p.
34. **Fletcher B.S., 1989** - Temperature-development relationship of immature stages and adults of Tephritid fruit flies (world crop pest : fruit flies their biology, natural enemies and control). Ed. Elsevier Science Pub., Amsterdam, Vol. 3: 237-289.
35. **Fletcher B.S., 1987** - The biology of Dacine fruit flies. Annual Review of Entomology, 32: 115-144.
36. **Guzo, D., & Stoltz, D. B. (1987)**. Observations on cellular immunity and parasitism in the tussock moth. *Journal of Insect Physiology*, 33(1), 19-31.
37. **Habes D. et Soltani N., 1992** - Perturbation de la structure de l'intestin et de l'hémogramme par le Thuricide HP chez *Thaumetopoa pityocampa* Schiff. Mém. Soc. Belge Ent., 721-7.
38. **Hasnaoui A., 1974** - Méthode d'éclosion en milieu liquide et ses conséquences sur l'amélioration de l'élevage massif de *Ceratitia capitata* Weid (Diptera : Trypetidae). Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation de l'INAT : 38 p
39. **Hendel F., 1927** - Trypetidae. *Die Fliegen der palaarktischen Region*, 5, 1-221.
40. **Jeffrey N. L., 2004** - Stibick. Natural enemies of true fruit flies (Tephritidae). United States Department of Agriculture, 1-61
41. **Kadota K., Walter S., Clavria G., Igarashi L., Taylor D. & Fujisaki K., 2003** - Morphological and Populational Characteristics of Hemocytes of *Ornithodoros moubata* Nymphs During the Ecdysial Phase. *Journ. Medic. Entomo*, 40(6): 770-776.
42. **Klowden M.J., 2013** - *Physiological Systems in insects*. Ed Academic Print of Elsevier. USA, 696 p.
43. **Lachiheb A., 2008** - Optimization de la dose d'irradiation dans le cadre d'un projet de lutte contre *Ceratitia capitata*. Mémoire d'ing. Ecol sup. d'Agri. DeMorgane, Tunisie. 122p
44. **Lazar P., 1986** - Les essais biologiques, Revue de statistique appliquée, 16(3) : 5-35.
45. **Liquido N.J., Shinodo L... & Cunningham R.T., 1991**. Host plants of the Mediterranean fruit fly (Diptera : Tephritidae). An Annotated World Review, Misc. Publication 77, Ent. Soc. America.

46. **Maiza, K., Brac de la Perrière, R.A. and Hammiche, V. (1993).** Récents apports à l'ethnopharmacologie du Sahara algérien: Actes du 2ème Colloque Européen d'Ethnopharmacologie et 11ème Conférence Internationale d'Ethnomédecine. Heidelberg. 169-171p
47. **Mekhalfi, I., &Mohammedi, D. (2019).** Toxicovigilance de *Hyoscyamusmuticus*spp. *Falezlez* (Coss) Maire chez les ruminants dans la région de Béchar (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure Vétérinaire)
48. **MEYER J.Y., 2002** - La lutte biologique contre les espèces introduites envahissantes : Solution miracle ou méthodes risquées. Fiche tech. Maroc. 16p.
49. **Nunez B. L., 1987** - La moskadelmediterreo. *Informa (Enera. Febrero-Maio)*,
50. **Nunez B. L., 1987** - La moskadelmediterreo. *Informa (Enera. Febrero-Maio)*, CA, 9-17.
51. **OUKIL S., 1995** : effet des insecticides et des radiations ionisantes en relation avec la variabilité de *Ceratitiscapitata* (Diptera : trypetidae). Thèse 3ème cycle. Univ. Aix-Marseille III. Fac. Sci. Tech. St-Jerome. 138p
52. **Quezel, P., et santa, S. (1963)** . Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (éd. 2ème édition). Paris: centre national de la recherche scientifique.
53. **Raccaud-Scholler J., 1980** – *Les insectes: physiologie et développement*. Ed. Masson, Paris, 296 p.
54. **Ronald F.L., et Jayma L., 1992** - Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitiscapitata* (Wiedemann). Department of Entomology. Honolulu, Hawaii. 5p
55. **Rosales C., 2017** – Cellular and Molecular Mechanisms of Insect Immunity. *Insect Phys Ecol.*, 8: 180-2012.
56. **Rousse P., Harris E.J. & Quilici S., 2005** – *Fopius arisanus*, an egg-pupal parasitoid of Tephritidae. *Overview. Biocontrol News and Information – researchgate.net*.
57. **Sacantanis K., 1951** - Influence de l'humidité sur l'incubation des oeufs de la Mouche des fruits, *Ceratitiscapitata* WIED. *CR IX e Congr. Int. Ent. Amsterdam, 1*, 460-464.
58. **Sahki, A., & Sahki, R. (2004).** Le Hoggar-Promenade botanique. Lyon/Chamonix : Ed. Esope
59. **Seguy E., 1934** - Notes Scientifiques : Contribution à la connaissance des Insectes Diptères du Maroc. La Terre et la vie.
60. **Settaoui S., S Taibi A., Hammadi F., Doumandji S., 2017** - Infestation Des Agrumes Par La Mouche Méditerranéenne Des Fruits *Ceratitiscapitata* (Wiedemann, 1824)

- (Diptera, Trypetidae) A Tlemcen-Algerie. *Algerian Journal of Arid Environment "Ajae"*, 7(1).
61. **Shoukry A., & Hafez M., 1979** - Studies on the biology of the Mediterranean fruit fly *Ceratitiscapitata*. *Entomologia Experimentalis et applicata*, 26(1), 33-39.
62. **Silvestri, F., 1914** - Report on an expedition to Africa in search of the natural enemies of fruit flies (Trupaneidae) with descriptions, observations and biological notes. Territory of Hawaii, Board of Agriculture and Forestry, Division of Entomology Bulletin. 3: 1-146.
63. **Slansky F., Scriber J.M., 1985** – *Food Consumption and Utilization (Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology)*. Ed. Kerkut and Gilbert, Vol.3, p87-163.
64. **Soria F., 1962** - Plantes hôtes secondaires de *Ceratitiscapitata* wied en Tunisie Ann. De l'INRAT, vol 35 : 51-72.
65. **Statsoft, 2010** – Statistica version &J, Ed Statsoft, Inc., U.S.A., CD-ROM.
66. **T.R. 2001** - Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (Diptera:Tephritidae) *Entomology section Circulars*, 4: 230, 273.
67. **Thomas M.C., Heppner J.B., Aspérule R.E., Weems H.V., Steck G.J. &**
68. **Thomas M.C., Heppner J.B., Woodruff R.E., Weems H.V., Steck G.J. Fasulo**
69. **Vayssières J.F., Goergen G., Lokossou O., Dossa P. et Akponon C., 2005** - A new Bactrocera species in Benin among mango fruit fly (Diptera: Tephritidae) species. *Fruits*, 60,371-377.
70. **Weems H., 1981** - Mediterranean fruit *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera:Trypetidae). *Pep. Agric.Cumer, Dir. Plant. Industry. Entomol. Circ. Florida*, 230:12p.
71. **White I. M., & Elson-Harris M. M., 1992** – Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. Ed. CAB International, United Kingdom, 601p.
72. **White I. M., & Elson-Harris M., 1994** - Fruit Flies of Economic Significance: Their Identification and Bionomics. CAB International. Oxon, UK. 601 p.
73. **Wigglesworth B., 1972** – *The principles of insects physiology*. Ed. Chapman and Hall, London, New York, p 827.
74. **Zucoloto F. S., Maria P. S. & Bravo I., 2005** - Influence of protein on feeding behaviour of *Ceratitis capitata*: Comparaison between immature males and females. *Neotropical Entomology*, 34 (4): 539-545.

75. **Zucoloto F. S., Maria P. S. & Bravo I., 2005** - Influence of protein on feeding behaviour of *Ceratitis capitata*: Comparaison between immature males and females. *Neotropical Entomology*, 34 (4): 539-545.

**Titre :** Evaluation de l'activité toxique de l'extrait aqueux d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez* contre *Ceratitis capitata* (Weideman, 1824) (Tephritidae, Diptera)

**Résumé :** L'extrait aqueux d'*Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez*, utilisé en trois doses (10, 30 et 50 µl) a été testé pour son effet insecticide sur les adultes et les pupes de *Ceratitis capitata* Wiedeman (1824) (la mouche méditerranéenne des fruits), redoutable ravageur des arbres fruitiers dans la région méditerranéenne. Les paramètres étudiés sont la mortalité des pupes et des adultes ainsi que l'hémolymphe des adultes. Les résultats obtenus font ressortir l'action neurotoxique des alcaloïdes contenus dans ladite plante ayant agi sur le système nerveux central et sur le système nerveux Autonome des mouches traitées qui ont présenté des mouvements d'excitation accompagnés de tremblement quelques minutes après le traitement. La DL50 calculée d'après les droites de régression est de l'ordre de..... Concernant les pupes de *C. capitata* pulvérisées par l'extrait aqueux d'*H. muticus*, il n'y a eu aucune émergence vers l'état adulte. L'effet des flavonoïdes et des composés saponiques contenus dans les feuilles d'*H. muticus* L. subsp *falezlez* semble être toxique pour les adultes et les pupes de *C. capitata*. 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 ; des cellules émettant des extensions filamenteuses où la membrane cytoplasmique émet des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes et enfin 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'*H. muticus*. A noter, également, que ces altérations structurales sont accompagnées par une chute considérable du nombre des prohémoscytes, des coagulocytes et des granulocytes, tandis que les plasmatocytes ont légèrement augmenté.

**Mots clés :** *Ceratitis capitata*, *Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez*, mortalité, altérations structurales des hémocytes.

**Title :** Evaluation of the toxic activity of aqueous extract of *Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez* against *Ceratitis capitata* (Weideman, 1824) (Tephritidae, Diptera)

**Summary :** The aqueous extract of *Hyoscyamus muticus* L. subsp *falezlez*, used in three doses (10, 30 and 50 µl) was tested for its insecticidal effect on adults and pupae of *Ceratitis capitata* Wiedeman (1824) (the Mediterranean fruit fly), a dangerous pest of fruit trees in the Mediterranean region. The parameters studied were pupal and adult mortality and adult haemolymph of the adults. The results obtained show the neurotoxic action of the alkaloids contained in the plant used, which acted on the central and autonomous nervous system of the treated flies, which showed excited movements accompanied by trembling a few minutes after treatment. The LD50 calculated from the regression lines is of the order of ..... Concerning *C. capitata* pupae sprayed with the aqueous extract of *H. muticus*, there was no emergence into the adult state. The effect of flavonoids and saponic

compounds contained in the leaves of *H. muticus* L. subsp. *falezlez* appears to be toxic to adults and pupae of *C. capitata*. In addition, microscopic examination of the haemolymph of adult *C. capitata* adults treated with the aqueous extract in question revealed significant structural alterations in the haemolymph, which were totally absent in the control individuals and which are reflected by a dense and diffuse retracted appearance of the haemocytes; cells completely emptied of their cytoplasmic contents; cells emitting filamentous extensions where the cytoplasmic membrane emits invaginations of endocytosis called pseudopods and finally the appearance of nodules and granules of secretions released by the granulocytes. The destruction of haemocytic cells appears to be due to the action of *H. muticus* saponins. It should also be noted that these structural alterations are accompanied by a considerable drop in the number of prohaemocytes, coagulocytes and granulocytes, while plasmatocytes have increased slightly.

**Key words :** *Ceratitis capitata*, *Hyoscyamus muticus* L. subsp. *falezlez*, mortality, structural alterations in the haemolymph

**العنوان:** تقييم النشاط السام للمستخلص المائي لنبات *Hyoscyamus muticus* L. subsp. *falezlez* ضد *Ceratitis capitata* (Weideman, 1824) (Tephritidae, Diptera)

**ملخص:** تم اختبار المستخلص المائي لنبات *Hyoscyamus muticus* L. subsp. *falezlez*، المستخدم في ثلاث جرعات (10 و30 و50 ميكرو لتر) لمعرفة تأثيره للمبيد للحشرات على البالغين والعداري من *Ceratitis capitata* (Wiedeman (1824) (ذبابة فاكهة البحر الأبيض المتوسط)، أفة هائلة تصيب أشجار الفاكهة في منطقة البحر الأبيض المتوسط. المعلمات التي تمت دراستها هي معدل وفيات الشرايق والبالغين وكذلك الدملمف للبالغين. تسلط النتائج التي تم الحصول عليها الضوء على التأثير السمي العصبي للقلويات الموجودة في النبات المذكور حيث عملت على الجهاز العصبي المركزي وعلى الجهاز العصبي اللاإرادي للذباب المعالج الذي أظهر حركات إثارة مصحوبة برعشة بعد دقائق قليلة من العلاج. إن الجرعة المميتة 50 المحسوبة من خطوط الانحدار هي في حدود..... بالنسبة لشرايق *C. capitata* التي تم رشها بالمستخلص المائي لـ *H. Muticus*، لم يكن هناك صعود إلى حالة البلوغ. تأثير مركبات الفلافونويد والمركبات السابونية الموجودة في أوراق نبات *H. muticus* يبدو أن *muticus* L. subsp. *falezlez* سامة للبالغين والشرايق من *C. capitata*. بالإضافة إلى ذلك، كشف الفحص المجهرى للدملمف البالغ لدى *C. capitata*، المعالج بالمستخلص المائي المعني، عن تغيرات هيكلية كبيرة على مستوى الدملمف، غائبة تمامًا في أفراد المجموعة الضابطة والتي تنعكس في تراجع كثيف ومنتشر. ظهور الكريات الدموية. إفراغ الخلايا تمامًا من محتوياتها السيتوبلازمية؛ تبعث الخلايا امتدادات خيطية حيث يصدر الغشاء السيتوبلازمي غزوات من الالتقام تسمى الأرجل الكاذبة وأحيانًا ظهور العقيدات وحببيات الإفرازات التي تفرزها الخلايا المحببة. يبدو أن تدمير خلايا الدم البيضاء يرجع إلى عمل السابونين من *H. muticus*. لاحظ أيضًا أن

هذه التغيرات الهيكلية يصاحبها انخفاض كبير في عدد الخلايا الأولية والخلايا المخثرة والخلايا المحببة، بينما تزيد الخلايا البلازمية قليلاً.

**الكلمات المفتاحية:** التهاب سيراتي كابيتاتا، *Hyoscyamus muticus L. subps falezlez*، الوفيات، التغيرات الهيكلية للخلايا الدموية.