

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

Université Aboubakr Belkaid Tlemcen
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers Département d'Ecologie et Environnement

« Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels »



MÉMOIRE

Présenté par

AMGHAR Manel Kawther

En Vue De L'Obtention Du

Diplôme Du Master en Ecologie Animale

Thème

Etude de l'effet de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* dans la lutte contre *Dactylopius opuntiae* le principal ravageur d'*Opuntia ficus indica* L.

Soutenue : 02 /07/2024 devant le jury composé de :

Présidente: TABTI Leila

MCA Université De Tlemcen

Examinatrice : BOUAYAD Alam Samira

MAB Université De Tlemcen

Encadrante: Mme. TABTI Nassima

MCA Université De Tlemcen

Co-encadrante: Mme. DANOUN Meriem

MAB Université De Tlemcen

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné la force, la santé et la patience et la capacité d'accomplir ce modeste travail, El Hamdoulillah.

*Mes vifs remerciements et ma reconnaissance vont à Madame **Tabti Nassima** MCA au niveau de la faculté SNV/STU Université Aboubakr Belkaid Tlemcen ,pour avoir accepté de m'encadrer dans cette étude. Je la remercie pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail.*

*En second lieu, je tiens à exprimer mes remerciements à **Monsieur Morsli Mehdi**, doctorant en écologie animale à l'UABT, pour m'avoir aidé à chaque étape, notamment dans les travaux de laboratoire. Sa contribution experte et son dévouement ont été inestimables.*

*Je remercie pleinement **Madame Danoun Mrriem**, MAB à la Faculté SNV/STU de l'Université Aboubakr Belkaid de Tlemcen, pour ses précieux conseils sur mon style d'écriture, qui ont considérablement facilité la réalisation de mon travail.*

*Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers **Madame Gaouar Nassira**, qui dirige l'équipe n°03 du laboratoire LECGEN, pour son soutien précieux. Merci pour votre appui.*

*Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à **Madame Tabti Leila**, MCA au Département d'écologie et environnement de la Faculté SNV/STU de l'Université de Tlemcen, pour m'avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury en apportant ses immenses connaissances scientifiques et sa riche expérience académique.*

Veillez agréer, Chère Madame, nos sentiments d'estime et de haute considération.

*Je souhaite exprimer ma sincère gratitude à **Madame Bouayad Samira** MAB de l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner et de juger mon travail.*

Soyez assurée de l'expression de notre profond respect.

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements au **Profeseur Ghanem**, Chef du laboratoire LASNABIO, pour son aide précieuse dans la réalisation d'une partie de mon travail de laboratoire. Votre contribution a été inestimable. Merci pour votre soutien.*

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce mémoire

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui
n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout
pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entravé le
déroulement de mes études.*

A mon frère, et à toute ma famille.

*A mes meilleurs amis **Ayad zaddam sarah** , **Anane sara***

Et tout qui m'aide et compulse ce mémoire.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
1. OPUNTIAE FICUS INDICA L. (PLANTE HÔTE)	3
1.1. DÉFINITION	3
1.2. ORIGINES ET HISTORIQUE D'OPUNTIA	3
1.3. RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE	4
1.4. SYSTÉMATIQUE	5
1.5. MORPHOLOGIE D'OPUNTIA	6
1.6. EXIGENCES PÉDOLOGIQUES	9
1.7. EXIGENCES CLIMATIQUES	10
1.8. L'INTÉRÊT SCIENTIFIQUE D'OPUNTIA	11
1.9. LES MALADIES D'OPUNTIA	12
1.9.1. Maladies fongiques	13
1.9.2. Maladies Bactériennes	14
1.9.3. Désordres Abiotiques	15
1.10. LES INSECTES RAVAGEURS D'OPUNTIA	15
2. DACTYLOPUS OPUNTIAE (RAVAGEUR) ET EUCALYPTUS GLOBULUS (MOYEN DE LUTTE) . 18	
2.1. DACTYLOPUS OPUNTIAE	18
2.1.1. Généralités et origine	18
2.1.2. Systématique	18
2.1.3. Cycle de vie et description	19
2.1.4. Répartition géographique	20
2.1.5. Utilités de Dactylopus Opuntiae	21
2.1.6. Dégâts en Algérie	22
2.1.6. Moyen de lutte	23
2.2. THYMUS CILIATUS	24
2.2.1. Généralité :	24
2.2.2. Systématique	25
2.2.3. Description	25
2.2.4. Effet et utilités de l'huile essentiel de Thymus ciliatus	26
2.2.5. Effet De L'hydrolat De Thymus Ciliatus	28
2.2.6. Effet de la poudre de Thymus Ciliatus	29
CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES	
1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	30
1.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION DE HENNAYA	30
2.1. HYDROLOGIE	30
2.1.1. Géométrie de l'aquifère	30
2.1.2. Hydrodynamique	31
1.3. PÉDOLOGIE	31
1.3.1. Sols à sesquioxides de fer et de manganèse	31
1.3.2. Sols calcimagnésiques	32
1.3.3. Sols isohumiques	33
1.4. GÉOLOGIE	33
2. ÉTUDE BIOCLIMATIQUE	33
2.1. TEMPÉRATURE	34
2.2. PRÉCIPITATIONS	34

2.3. DAIGRAMME OMBROTHERMIQUE DE BAGNOULS ET GAUSSEN	35
2.4. QUOTIENT PLUVIOTHERMIQUE D'EMBERGER.....	35
3. ETUDE ENTOMOLOGIQUE	37
3.1. ECHANTILLONS DES CLADODES D' <i>OPUNTIA FICUS INDICA</i>	37
4. ETUDE PHYTOLOGIQUE	37
4.1. MATERIEL VEGETAL	37
4.2.1. <i>Procédé d'extraction de l'huile essentiel</i>	38
4.2.2. <i>Méthodes</i>	38
4.2.3. <i>Conservation des huiles essentielles</i>	38
4.2.4. <i>Conservation d'hydrolat</i>	39
4.2.5. <i>Détermination du rendement en huiles essentielles</i>	40
4.2.6. <i>Méthode d'obtention de la poudre</i>	41
5. METHODE DE LUTTE BIOLOGIQUE PAR HUILE ESSENTIEL, HYDROLAT ET Poudre VEGETALE DE <i>THYMUS CILIATUS</i>	41
5.1. MATIERES VEGETALES.....	41
5.2. PRODUIT CHIMIQUE	41
5.3. MATERIEL UTILISE.....	42
6. METHODE DE LUTTE	43
6.1. HUILE ESSENTIELLE	43
6.2. HYDROLAT.....	43
6.3. Poudre.....	44
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....
1. ETUDE PHYTOCHIMIQUE	45
1.1 CARACTERISTIQUES DE L'HUILE ESSENTIELLE	45
1.2. RENDEMENT DE L'HUILE ESSENTIELLE	45
2. ACTIVITE INSECTICIDE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE <i>THYMUS CULIATUS</i> SUR <i>DACTYLOPUS OPUNTIAE</i>	46
2.1. CALCUL DES TAUX DE MORTALITE ET LES MOYENS DE MORTALITE DE <i>DACTYLOPUS OPUNTIAE</i>	46
2.1.1. <i>par contact</i>	46
2.1.2 PAR INHALATION.....	48
2.2. ESTIMATION DE DOSE LETALE.....	51
2.3. DISCUSSION.....	53
3. ACTIVITE INSECTICIDE D'HYDROLAT DE <i>THYMUS CILIATUS</i> SUR <i>DACTYLOPUS</i> <i>OPUNTIAE</i>	53
4. ACTIVITE INSECTICIDE DE LA Poudre VEGETALE DE <i>THYMUS CILIATUS</i> SUR <i>DACTYLOPUS OPUNTIAE</i>	54
5. DISCUSSION	56
CONCLUSION	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	59

Liste Des Tableaux

Tableau1 :	Composition minérale d' <i>Opuntia ficus indica</i> (L.) échantillons de fruits (mg/100g, matière sèche).....	8
Tableau2 :	Composition approximative d' <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) échantillons fruits avec épines.	8
Tableau3 :	Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Thymus ciliatus</i>	27
Tableau4 :	Les données climatique de la région de ZENATA durant la période de 2013 a 2023.....	33
Tableau5 :	Quotient pluviothermique d'Emberger.....	36
Tableau6 :	Paramètres géographique de site de l'espèces récoltée.....	37
Tableau7 :	Caractéristiques De L'huile Essentielle de <i>Thymus ciliatus</i>	45
Tableau8 :	Rendement en huile essentielle de la plante sèche.....	45
Tableau9 :	Rendement en huile essentielle de la plante fraîche.....	46
Tableau10 :	Activité insecticide de l'huile essentielle de <i>Thymus ciliatus</i> par contact.	47
Tableau11 :	La moyenes de mortalité par l'huile essentielle de <i>Thymus ciliatus</i> par contact.....	47
Tableau12 :	Activité insecticide de l'huile essentielle de <i>Thymus ciliatus</i> par inhalation.....	49
Tableau13 :	La moyemes de mortalité par l'huile essentielle de <i>Thymus ciliatus</i> par inhalation.....	50
Tableau14 :	Valeurs estimées des concentrations létales pour <i>Dactylopus opuntiae</i> de <i>Thymus ciliatus</i>	52
Tableau15 :	Activité insecticide d'Hydrolat de <i>Thymus ciliatus</i>	53
Tableau16 :	La moyenes de mortalité par d'Hydrolat de <i>Thymus ciliatus</i>	54
Tableau17 :	Activité insecticide de la poudre de <i>Thymus ciliatus</i>	55
Tableau18 :	La moyenes de mortalité par la poudre de <i>Thymus ciliatus</i>	55

Liste des figure

Figure 1 :	Carte de la diversité des cactus dans quatre centres d'Amérique centrale, modifié a partir de	4
Figure 2 :	Distribution géographique du figuier de Barbarie	5
Figure3 :	Illustration botanique comprenant <i>Opuntia ficus indica</i>	8
Figure4 :	Variétés de fruits du figuier de Barbarie <i>Opuntia ficus indica</i> avec différentes couleurs	9
Figure5 :	Schéma présentatif des activités biologiques et pharmacologiques des cladodes d'OFI	12
Figure6 :	Chancre gommeux (Ile de Linosa, Italie)	13
Figure7 :	Pourriture sèche dorés (Italie)	14
Figure8 :	Pourriture des fruits Alternaria (Italie)	14
Figure9 :	Points Alternaria (Tunisie)	14
Figure10 :	Pourriture molle noire (Italie)	14
Figure11 :	Blessure du froid (Italie)	15
Figure12 :	Dégâts d'insectes sur des plants de cactus	15
Figure13 :	<i>Dactylopus opuntiae</i> , Cochinilla silvestre mexicana (suàrez et oromi, 2018).....	16
Figure14 :	Stades de vie de Moneilema : a) adulte, b) œuf, c) larve et d) pupa (Inglese, 2018).....	17
Figure15 :	Charançons, insectes ravageurs du cactus et leurs stades de vie	17
Figure16 :	Dispersion de <i>Dactylopus opuntiae</i> à Tlalnepantla, Morelos.	20
Figure17 :	Répartition de <i>Dactylopus Opuntiae</i> . Source CABI (2021).....	21
Figure18 :	Molécule d'acide carminique (Pottier, 2017).....	21
Figure19 :	Extraction de l'acide carminique réalisée au laboratoire de la FSDM.....	22
Figure20 :	Localisation de différentes localités explorées (El Bouhissi <i>et al.</i> , 2021).....	22
Figure21 :	Degré d'infestation de <i>Dactylopus opuntiae</i> sur le figuier de barbarie dans la région de Tlemcen, Algérie.....	23
Figure22 :	Morphologie d'une touffe de <i>Thymus ciliatus</i>	26
Figure23 :	<i>Thymus ciliatus</i> ssp eu-ciliatus; de la région lalla setti (Tlemcen)	26
Figure24 :	Situation géographique de hennaya	30

Figure25 :	Climagramme de la variation des températures moyenne, minimales et maximales de la Région de ZENATA durant la période de 2013 à 2023...	34
Figure26 :	Diagramme de la variation de précipitation moyenne de région de ZENATA durant allant 2013 à 2023.....	34
Figure27 :	Diagramme ombrothermique de bagnoules et goussen de région de ZENATA durant la période de 2013 à 2023.....	35
Figure28 :	Climagramme de la region de zenata (2013-2023).....	36
Figure29 :	L'extraction de l'huile essentielle de <i>thymus cilaitus</i> par appariel Clevenger	38
Figure30 :	Conservation des huiles essentielles de <i>Thymus ciliatus</i>	39
Figure31 :	Conservation d'hydrolat de <i>Thymus ciliatus</i>	40
Figure32 :	La poudre de <i>Thymus ciliatus</i>	41
Figure33 :	Matériel.....	42
Figure34 :	Traitment par l'huile essentielle par la méthode de contact et la méthode d'inhalation	43
Figure35 :	Traitment par l'hydrolat	44
Figure36 :	Traitment par la poudre	44
Figure37 :	Diagramme de l'activité insecticide de l'huile essentielle de thymus ciliatus par contact après 24h.....	48
Figure38 :	Diagramme de l'activité insecticide de l'huile essentielle de thymus ciliatus par inhalation après 24h.....	50
Figure39 :	Comparaison de l'effet insecticide de l'huile essentielle de <i>thymus ciliatus</i> dans la lutte contre <i>Dactylopus opuntiaepar</i> contact et par inhalation après 24h.....	51
Figure40 :	Courbes des points des Log des doses (Logiciel SPSS).....	52
Figure41 :	Diagramme de l'activité insecticide d'Hydrolat de thymus ciliatus après 120h.....	54
Figure42 :	Diagramme de l'activité insecticide de la poudre de thymus ciliatus après 96h.....	56

Liste des abréviations

RMAPM :	Rapport Du Ministère De l'Agriculture Et De La Pêche Maritime
(CO₂) :	Dioxyde de Carbone
(DCO) :	Demande Chimique en Oxygène
(CP/MAS) :	Cross Polarization/Magic Angle Spinning
(RMN) :	Résonance Magnétique Nucléaire
(PH) :	Potentiel Hydrogène
(UV-Vis) :	Ultraviolet- Visible
(CABI) :	Centre For Agriculture And Biosciences International
(FSDM) :	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz
(RI) :	Indices de Rétention
(DL₅₀):	Dose Létale Médiane
(μl):	Microlitre
(FAO):	Food and agriculture organization of the United States
(ANRN)	Assises nationales des risques naturels

Introduction

La cochenille *Dactylopus opuntiae*(Cockerell, 1896) est un insecte nuisible qui cause de graves dommages aux plantes d'*Opuntia*, en particulier au figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*) (De Lotto, 1974). Depuis sa découverte au Maroc en 2016, elle s'est propagée en Algérie, notamment dans la région de Tlemcen, entraînant la détérioration des fruits et la mort complète des plantes infestées (El Bouhissi *et al.*, 2022).

Face à cette menace, il est crucial de trouver des solutions efficaces et respectueuses de l'environnement. L'utilisation de produits chimiques pose des risques pour la santé humaine et l'environnement, d'où la nécessité de solutions biologiques. L'huile essentielle de *Thymus ciliatus* est explorée comme une alternative potentielle. Des recherches antérieures ont montré que les huiles essentielles de diverses espèces de thym possèdent des propriétés antibactériennes et antifongiques, suggérant leur efficacité contre les ravageurs (Pellecuer *et al.*, 1980 ; Benjilali *et al.*, 1987a ; 1987b ; Agnihotri *et al.*, 1996).

Cette étude vise à évaluer l'efficacité de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* contre la cochenille *Dactylopus opuntiae*. Elle examine l'impact de cette huile sur la mortalité de la cochenille et son comportement, ainsi que sur la santé des plantes d'*Opuntia ficus indica* et leur environnement. Des méthodes rigoureuses sont employées, incluant l'application de différentes concentrations d'huile essentielle sur des plantes infestées et la comparaison avec des plantes non traitées.

L'objectif de l'étude est de démontrer que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* peut offrir une solution fiable pour la gestion intégrée des ravageurs, en constituant une alternative durable et respectueuse de l'environnement aux pesticides chimiques. Cette approche pourrait ainsi contribuer à des pratiques agricoles plus durables et à une meilleure protection des cultures de figuiers de Barbarie contre la cochenille *Dactylopus opuntiae*.

Notre travail est structuré de manière classique, il s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre présente une revue bibliographique sur le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*), le parasite étudié (*Dactylopus opuntiae*) et les effets et utilités de l'huile essentiel de *Thymus ciliatus* contre cet insect ravageur.

Le second chapitre « Matériel et Méthodes » présente les régions d'étude (Hennaya Wilaya de Tlemcen) et les méthodes utilisées dans le laboratoire pour faire les tests biologiques ; par contact direct, par inhalation, l'hydrolat et la technique de l'utilisation de la poudre.

Le troisième chapitre rassemble les résultats soutenus par des analyses statistiques et leur discussion par rapport aux études précédemment menées.

Enfin, Le manuscrit est achevé par une conclusion générale met l'accent sur les perspectives et les travaux qui restent à mener en se référant à de nouvelles voies d'approche qui pourraient peut-être élucider certains problèmes causés par ce ravageur, et une liste des références Bibliographiques.

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

1. *Opuntiae ficus indica* L. (plante hôte)

1.1. Définition

Le figuier de barbarie est originaire des régions arides et semi-arides (Sáenz *et al.*, 2013). *Opuntia ficus indica* est un cactus originaire du Mexique, Et essentiellement cultivé pour la production de ses fruits. Les jeunes pousses sont également utilisées dans l'alimentation humaine (nopolitos) au Mexique et dans le sud des Etats-Unis. En Afrique du Nord, l' *Opuntia ficus indica* est cultivé d'une part pour prévenir l'érosion du sol dans les zones arides, et d'autre part en tant que substitut de fourrage pour l'alimentation animale pendant les périodes de sécheresse. (Malainine *et al.*, 2001). Les technologies agroalimentaires et cosmétiques sont les premiers bénéficiaires de cette plante, avec des capacités de production en fruit de 200 quintaux par hectare, et de 200 tonnes de raquettes par hectare. (Madani *et al.*, 2016). Il est nécessaire de diffuser les connaissances sur les utilisations actuelles et potentielles de la poire de cactus, en soulignant leur fonction de barrière biologique pour réduire l'impact de la désertification et leurs réponses adaptatives à l'augmentation globale attendue du CO2 par le biais de programmes de développement intégré, de vulgarisation et d'assistance technique en tant qu'outil d'adaptation essentiel pour lutter contre la désertification. (Inglese, 2010).

1.2. Origines et historique d'*opuntia*

Les analyses biogéographiques des cactus sont entravées par le peu de fossiles disponibles. La plupart des chercheurs s'accordent à dire que les Cactaceae sont originaires d'Amérique du Sud (Gibson et Nobel, 1986) et se sont ensuite dispersées en Amérique centrale, en Amérique du Nord et dans les îles de l'hémisphère occidental (Gibson et Nobel, 1986 ; Mauseth, 1990 ; Anderson, 1996 ; Stone-Palmquist & Mauseth, 2002). Barthlott *et al.*, (2015) ont décrit sept centres de diversité pour les Cactaceae (Figure 1), les différents membres des Cactaceae ayant été répartis par les activités anthropogéniques dans la plupart des régions tempérées du monde (Benson, 1982). C'est en Amérique du Nord que l'on trouve le plus grand nombre d'espèces de cactus (Hernandez et Barcenas, 1995), la plupart se trouvant dans le désert de Chihuahuan au Mexique, qui est considéré comme le plus grand centre de diversité pour les Cactaceae. L'ouest des États-Unis compte également de nombreuses espèces de cactus, la plus grande concentration de taxons se trouvant en Californie, en Arizona, au Nouveau-Mexique et au Texas exactement à Trans-Pesco (Benson, 1982). La répartition géographique des cactus est généralement limitée par les basses températures, bien que certaines espèces soient suffisamment robustes pour occuper des latitudes septentrionales soumises à des températures froides, y compris le nord des États-Unis et du Canada. L'aire de

répartition la plus extrême des cactus se trouve dans le district de la rivière de la Paix, en Alberta, au Canada. Les cactus colonnaires, aux grandes fleurs blanches, sont signalés en Argentine, en Bolivie, au Chili, en Équateur et au Pérou (Yetman, 2007). Le Brésil est considéré comme la patrie de plusieurs espèces de cactus dans les catégories *Pilosocereus*, *Cereus*, et *Facheiroa* (Yetman, 2007). Le cactus Nopal est utilisé dans les domaines de la santé, de la nutrition et de la cosmétique, sous forme de thé, de confiture, de jus et d'huile extraits des graines de figues de Barbarie. Il est utilisé comme remède à base de plantes pour divers problèmes de santé dans différents pays. Par exemple, dans la pharmacopée de la médecine traditionnelle subsaharienne, les fleurs et les fruits de cactus sont utilisés comme agents anti-ulcéreux ou antidiarrhéiques ; les fleurs sont également administrées comme médicament oral contre les hémorroïdes et la sève de cladode comme traitement de la coqueluche. D'autre part, les populations indigènes consomment des quantités substantielles de fruits frais ou secs. Chez ces populations, les cladodes, les fruits et les fleurs de cactus sont mis en valeur pour leur teneur intéressante en antioxydants, en pectine, en polysaccharides et en fibres. (El-Mostafa, 2014). Les opuntias sont connus bien avant l'arrivée des espagnols en Amérique. Ils ont été utilisés au début comme plantes ornementales en Espagne et leur consommation date de milliers d'années avant Jésus-Christ (Casas et Barbera, 2002).

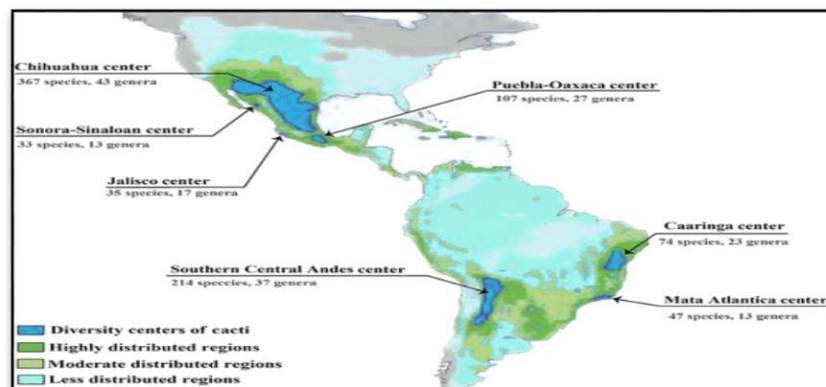


Figure 1: Carte de la diversité des cactus dans quatre centres d'Amérique centrale, modifié à partir de (Barthlott *et al.*, 2015)

1.3. Répartition géographique

La figure 2 montre que la propagation de la figue de barbarie au Mexique est normale (verte), tandis que la plante est exotique (lignes croisées) dans les zones suivantes : Brésil, Chili, États-Unis, Inde, Italie, Espagne, Érythée, Portugal, Algérie, Tunisie, Libye, Maroc, Sud Afrique, Éthiopie, Soudan, Tanzanie, Kenya et Ouganda.

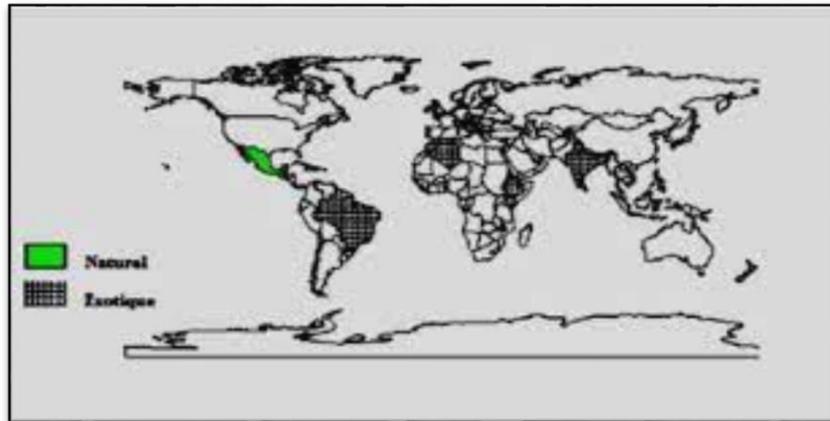


Figure 2 : Distribution géographique du figuier de Barbarie (Neffar, 2012)

1.4. Systématique

La famille des angiospermes cactaceae, membre des Caryophyllales, est un groupe vaste et diversifié de plantes succulentes à tige comprenant 1 438 à 1 870 espèces réparties dans environ 130 genres, principalement répartis du nord du Canada à la Patagonie. (Khan *et al.*, 2024)

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Embranchement : Phanérogames

Sous embranchement : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Caryophyllidae

Ordre : Opuntiales

Famille : Cactaceae

Sous-famille : Opuntioideae

Tribu : Opuntieae

Genre : *Opuntia*

Sous-genre : *Platyopuntia*

Espèce : *Opuntia ficus indica* (L.) (Mill, 1768)

Selon la systématique actuelle encore en cours de révision, les cactus sont maintenant classés dans la nouvelle famille des Opuntiaceae Desv. (synon. Cactaceae Juss.) formée de 160 genres environ et ayant pour genre type *Opuntia* (Novoa *et al.*, 2015) ; Arba, 2017). et composée de 1 500 à 2 000 espèces originaires d'Amérique centrale, du nord et du sud, dont un grand nombre du Mexique (Anon, 2006; Hunt *et al.*, 2006; Grin, 2007). Le nom commun cactus est utilisé pour désigner toutes les espèces de la nouvelle famille des Opuntiaceae et le nom de figuier de Barbarie est donné à de nombreuses espèces du genre *Opuntia* produisant des fruits comestibles (USDA, 2014). Les premiers botanistes européens ont nommé ce cactus à fruits comestibles *Ficus indica* à cause de leur ressemblance avec la figue indienne ou figue de Barbarie (Anderson, 2001). Linné l'a publié sous le nom de *Cactus ficus indica* et par la suite Miller a combiné les noms mentionnés ci-dessus pour donner à cette espèce le nom d'*Opuntia ficus indica* (Griffith, 2004). Donc, les figuiers de Barbarie sont actuellement classés comme appartenant à l'ordre des Caryophyllales; au sous ordre des Portulacinales; à la famille des Opuntiacées; et au genre *Opuntia* (Grin, 2007).

1.5. Morphologie d'*Opuntia*

L'étude morphologique du péricarpe des graines d'*Opuntia ficus indica* a montré que les cellules étaient principalement constituées de cellules fusiformes contiennent des fibres de sclérenchyme. La composition chimique du péricarpe révèle une quantité importante de polysaccharides, dont de la cellulose (35%) et xylane (27 %). La structure du xylane et de la cellulose, à la fois sous forme isolée et en tant que composant du péricarpe des graines d'*Opuntia ficus indica*, a été étudiée par Spectroscopie rayons X et RMN CP/MAS 13C. La structure supramoléculaire du xylane est très sensible au milieu environnant, notamment à la présence d'eau et de fibres de cellulose. Les fibres de cellulose présentent des diagrammes radiologiques typiques des parois secondaires de cellulose, mais ils étaient sensibles au NaOH puisqu'ils commençaient à être convertis en cellulose. II à une concentration en NaOH aussi faible comme 8%. Dans le péricarpe des graines, les fibres de cellulose interagissent avec les polymères de xylane, les faisant adopter une conformation différente de celle observée. pour le xylane sous forme sèche ou hydratée, ce qui suggère que les xylanes étaient probablement présents sous forme de composites avec des fibres de cellulose. (Habibi *et al.*, 2008)

Les figues de Barbarie produisent des fruits de cactus également appelés figues de cactus ou *Opuntia ficus indica*. Les fruits sont violets, charnus et de forme ovale, mesurant entre 1 et 3 cm de longueur. L'espèce *Opuntia* est une xérophyte comptant environ 200 à 300 espèces (Moffhammer *et al.*, 2006). Ceci est adapté aux zones arides, caractérisées par la sécheresse

climatiques, des précipitations irrégulières et des sols pauvres soumis à l'érosion (FAO, 2001). La plante a un système racinaire peu profond, ce qui lui permet d'accumuler des éléments. La plante *Opuntia* fournit de l'eau, des vitamines, des glucides et du calcium nécessaires à l'alimentation animale (Rodriguez-García *et al.*, 2007). Cette plante survit à la sécheresse grâce à ses feuilles succulentes. Il est intéressant comme aliment en raison de son efficacité à convertir la matière sèche et fournit ainsi de l'énergie digestible. Les coussinets succulents des espèces d'*Opuntia* servent de source d'eau pour le bétail dans les régions sèches du monde entier et constituent une importante source de fourrage (Gabremariam *et al.*, 2006). Les populations clonales en cours de développement dans les pays producteurs, se distinguant principalement sur la base de certaines caractéristiques morphologiques des fruits et des cladodes. Ainsi, en Italie et en Espagne, trois variétés principales ont été produites ; la couleur du fruit déterminant la dénomination. Dans les variétés d'Afrique du Sud, on trouve des cladodes de différentes formes tandis qu'au Chili, la variété la plus courante a des fruits verts même à maturité. D'autres caractéristiques (vigueur végétative, teneur en sucre et en protéines, fibres de cladode, entre autres) déterminent la manière dont la variété peut être utilisée (Chessa et Nieddu, 1997). Les pigments bêtaïnes contenus dans ces figues de Barbarie ont montré des effets bénéfiques sur les voies de régulation redox impliquées dans la croissance cellulaire et l'inflammation (Wolfram *et al.*, 2003 ; Tesoriere *et al.*, 2004 ; Tesoriere *et al.*, 2005a ; Siriwardhana *et al.*, 2006). Les bêtaïnes sont des pigments hydrosolubles. Deux dérivés de la bêtaïne sont présents dans les figues de Barbarie : la bêtacyanine, qui donne la couleur rouge-violet, et la bêtaxanthine, qui donne une couleur jaune-orange. Ces pigments présentent d'importantes activités antioxydantes sans effets toxiques chez l'homme (Castellar *et al.*, 2003 ; El-Samahy *et al.*, 2006 ; Livrea et Tesoriere 2009). Un fruit multi-ingrédients tel que *O. ficus-indica* (L.) offre des réponses prometteuses pour les nutraceutiques et les aliments fonctionnels sur mesure en intégrant des ingrédients essentiels tels que : les taurines, les acides aminés, les glucides facilement absorbables, les minéraux, la vitamine C et les fibres solubles. (Stintzing *et al.*, 2000 ; Stintzing *et al.*, 2001). Les graines viables sont morphologiquement grandes et leur présence restreint considérablement la qualité commerciale et limite l'acceptabilité des fruits sur de nombreux marchés en raison de leur tégument dur. Les trois principaux cultivars d'*Opuntia* caractérisant la zone de culture sicilienne sont des populations de clones de même origine génétique connues sous les noms de 'Gialla' (jaune), 'Rossa' (rouge) et 'Bianca' (blanc) (Barbera *et al.*, 1992 ; Mondragon -Jacobó et Bordelon, 1996). Leurs fruits présentent des couleurs variées en raison de la combinaison de deux pigments présents en concentrations différentes dans la pulpe et la peau du fruit (Butera *et al.*, 2002). Le cultivar jaune ou « Gialla » est le plus

abondant ; il représente 80 et 90% de Vergers siciliens (Butera *et al.*, 2002). Vraisemblablement, c'est le plus productif, capable d'être manipulé et apprécié par les consommateurs (Barbera *et al.*, 1992).

Tableau 1 : Composition minérale d'*Opuntia ficus indica* (L.) échantillons de fruits (mg/100g, matière sèche).

Minérale	Composition
Mg	63.4
Na	18.7
K	108.8
Ca	316.5
Mn	37.8
Fe	25.9
Zn	12.6
Cu	0.01
P	0.05
Pb	0
Cd	0

Tableau 2 : Composition approximative d'*Opuntia ficus-indica* (L.) échantillons fruits avec épines.

Échantillon	Composition
Teneur en humidité (%)	87.07 ± 0.86
Cendre (%)	4.03 ± 0.52
Vitamine C (mg/100 g)	5.17 ± 0.06
Protéine (%)	1.03 ± 0.006
Gras éprouvé (%)	0.40 ± 0
Fibre brute (%)	1.37 ± 0.06
Pouvoir calorifique (Kcal/g)	3.77 ± 0.06
Sucres (NR) (%)	59.40 ± 0.10
Carbohydrates (%)	92.57 ± 0.99

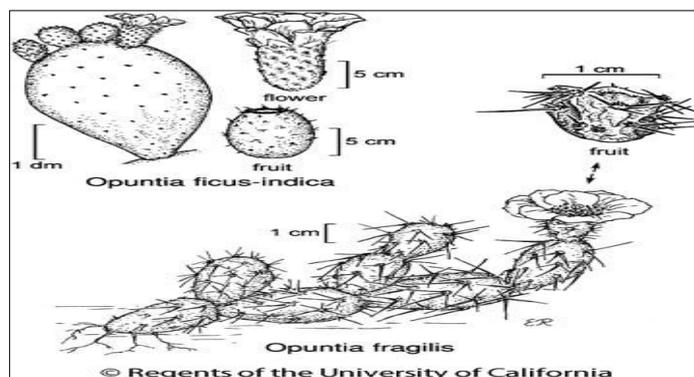


Figure 3 : Illustration botanique comprenant *Opuntia ficus indica* (Marc *et al.*, 2019)

Habitude : arborescente. Tige : 4-5 m ; branches généralement ascendantes ; segments de 25 à 43 cm, généralement elliptiques-obovales, gris-vert, glabres. Épines : généralement 0(6) par aréole, si présentes, les plus longues + 1 à 3 cm, plates, blanc-bronze ou brun-gris. Fleur : périanthe interne jaune ou orange ; filaments verts pâles à roses pâles ; ovaire tuberculé, style blanc (rose pâle), stigmate vert. Fruit : 6 à 9 cm, juteux, jaune-orange ou violet ; aréoles 43-71. Graine : 4,5 à 5 mm. Chromosomes : 2n=88.

Écologie : habitats côtiers secs ; Altitude : 6-450 m. Distribution en dehors de la Californie : cultivé dans les régions chaudes du monde entier ; aire de répartition native inconnue. Période de floraison : mai à juin. **Marc et al.**, ont remarqué en 2019 que les hybrides avec *Opuntia phaeacantha* sont rares.



Figure 4: Variétés de fruits du figuier de Barbarie *Opuntia ficus indica* avec différentes couleurs au Maroc: (a et b) variété 'Moussa' (écorce vert jaunâtre et pulpe jaune orangé); (c et d) variété 'El Akria' (écorce vert rougeâtre et pulpe rouge pourpre); (e et f) variété 'El Bayda' (écorce verdâtre et pulpe vert blanchâtre) (**Arba, 2017**)

1.6. Exigences pédologique

Le figuier de barbarie s'adapte bien aux sols pauvres, mais se développe mieux sur les sols sableux profonds ou légèrement acides, et les sols qui se drainent facilement. La plante est sensible aux sols asphyxiants, l'humidité prolongée est donc nuisible et peut conduire à la mort de la plante. Si le climat est très sec, les sols argileux sont tolérés.

Dans les zones humides, un pH proche de la neutralité est préférable, tandis que dans les régions sèches des pH plus acides peuvent être tolérés. Cependant une forte acidité peut inhiber la plante. *Opuntia ficus indica* pousse en plein de soleil et ne nécessite aucun abri contre le vent. Le pH peut, donc, être un facteur limitant mais, cette espèce est rencontrée même sur des sols calcaires (**Habibi, 2004**).

Le cactus n'a aucune exigence vis-à-vis de la nature chimique du sol, il peut supporter les sols gypseux et légèrement salins à condition qu'ils soient bien drainés (**Loudyi, 1995**).

• **Sol** : L'espèce présente une large faculté d'adaptation avec une préférence pour les sols très perméables, sableux ou caillouteux et à faible taux d'argiles (< 20%). Il redoute des sols lourds et mal drainés. Il supporte aussi bien les sols acides que les sols très calcaires, voire salins (moins de 70 mol de NaCl / cm³)

- **Drainage** : il constitue aussi l'une des plus importantes exigences écologiques. En effet, le figuier de Barbarie est très sensible au manque d'oxygène au niveau des racines ; à cet effet, il est recommandé d'éviter les sols argileux qui peuvent être saturés temporairement et mal drainés. Les facteurs biotiques jouent aussi un rôle important dans la culture et la production du cactus. De nombreux parasites et maladies peuvent toucher le figuier de Barbarie (**Walali Loudyi, 1995**)

1.7. Exigences Climatiques

Les caractéristiques écologiques du figuier de Barbarie, dépendent principalement des facteurs climatiques qui contrôlent sa croissance et sa distribution; notamment les précipitations, l'humidité atmosphérique, la température de l'hiver, la nature des sols et le drainage (**RMAPM, 2010**).

- **Température** : Le figuier de Barbarie est résistant au froid et peut supporter des gelées de l'ordre de -5 °C. Ses besoins en chaleur sont importants et durant la phase de croissance du fruit ils se situent entre 15 et 25 °C. Il est résistant à la sécheresse et les températures moyennes annuelles de 15 à 18 °C qui lui conviennent parfaitement. Il peut supporter les fortes chaleurs qui dépassent 50 °C. En outre, le niveau le plus bas de température où le développement est possible est l'isotherme de 1,5 à 2 °C de la moyenne journalière du mois le plus froid (généralement janvier) qui correspond à la moyenne mensuelle de 7 à 9 °C, mais avec un maximum journalier supérieur ou égal à 12 °C.

- **Précipitations** : Les exigences en précipitations sont variables en fonction de la nature des sols. En effet, pour des sols sableux et profond, le minimum de précipitation requis tourne autour de 300 à 400 mm/an, alors que sur des sols vaseux et limoneux, la moyenne des précipitations minimales requise est de 200 mm/an; mais le cactus peut être cultivé tant que l'eau additionnelle de l'érosion permet au sol d'emmagasiner 300 à 400 mm.

- **Humidité** : L'humidité atmosphérique, en cas de grand déficit de saturation de l'atmosphère (humidité relative basse) affecte, également les espèces d'*Opuntia*. Les observations empiriques ont démontré que le figuier de Barbarie est éliminé des régions où la moyenne relative de l'humidité est au-dessous de 40% pour plus de trente jours consécutifs. Le cactus peut croître dans des régions arides et semi-arides de l'Afrique du Nord et du Proche Orient où les moyennes annuelles de l'humidité relative et la moyenne du déficit de saturation sont respectivement toujours au-dessus de 60% et sous 12%.

1.8. L'intérêt scientifique d'*Opuntia***• L'intérêt Economique**

Composée principalement de triglycérides d'acides gras polyinsaturés (De Wit *et al.*, 2016), l'huile de graines d'*Opuntia ficus indica* est une bonne source d'huile comestible pour la consommation humaine (Sawaya *et al.*, 1982). L'huile a en outre une teneur très élevée en vitamine E (> 600 mg/kg) et en biophénols (Finti *et al.*, 2013), souvent sous forme de glycosides, ce qui confère à ce bioproduit précieux des propriétés antioxydantes. La présence de β -sitostérol induit à son tour une activité anti-inflammatoire remarquable (Park *et al.*, 2001). Appliquée sur la peau du visage, du cou et du contour des yeux, l'huile *Opuntia ficus indica* agit comme un excellent hydratant anti-âge et nourrit les cellules de la peau (Guillaume *et al.*, 2015), tandis qu'appliquée en petite quantité sur des cheveux appauvris, elle favorise la régénération de la kératine. La valeur nutritive des graines et de l'huile d'*Opuntia ficus indica* obtenues en Turquie a été récemment confirmée, les graines étant une source importante des fibres naturelles et d'huile, avec sa teneur élevée (61 %) en acide linoléique, recommandée pour une utilisation comme agent nutraceutique (Ozcan *et al.*, 2011).

Ciriminna *et al.*, en 2017 ont remarqué que l'huile serait bientôt utilisée non seulement dans les produits cosmétiques mais aussi dans les compléments alimentaires et les produits nutraceutiques, dans un cas typique d'innovation guidée par le passé, qui a été un moteur constant de la chimie. La Sicile, avec une production d'environ 87 000 tonnes sur 8 300 hectares (Istat, 2017), abrite la majeure partie de la culture d'*Opuntia* en Italie. Plusieurs entreprises utilisent les fruits pour produire des confitures et des jus, après avoir retiré les graines qui sont habituellement éliminées comme aliments pour animaux (Yaniv *et al.*, 1982).

• L'intérêt Ecologique

Opuntia ficus indica, autrefois abondant et peu coûteux, a été testé en tant que flocculant écologique pour le traitement des eaux usées textiles. Ses performances ont été évaluées pour la décoloration, l'élimination de la DCO et la réduction de la turbidité. Le produit naturel a été caractérisé par spectroscopie UV-Vis et infrarouge. L'étude de l'effet de certains paramètres expérimentaux sur les performances de coagulation-floculation, avec du mucilage de cactus associé au sulfate d'aluminium comme coagulant, a montré que les conditions optimales étaient un pH de 7,25, une dose de flocculants d'environ 40 mg/L, une vitesse de mélange de floculation de 30 tr/min et un temps de mélange de floculation de 11 minutes. Ces conditions ont permis une décoloration de 99,84 %, une élimination de la DCO de 88,76 % et une réduction de la

turbidité de 91,66 %. La comparaison des performances de floculation entre les floculants commerciaux et l'agent bio-floculant a révélé que ce dernier est le plus efficace pour dépolluer (Bouatay et Mhenni, 2014).

• **L'intérêt Médical**

D'après les recherches scientifiques, l'*Opuntia ficus indica* a été utilisée en médecine traditionnelle pour le traitement de plusieurs maladies (Shetty et al., 2012) et cela grâce à ses cladodes riches en composés bio-fonctionnels et aux propriétés nutritionnelles et curatives souhaitables (Mena et al., 2018) IN (Reggane, 2021).. En plus des métabolites primaires classiques qui assurent la survie de la plante (glucides, protides et lipides, protéines, vitamines), *Opuntia ficus indica* accumule aussi des métabolites secondaires ayant des activités biologiques telles que les vitamines, les composés phénoliques, les flavonoïdes et les caroténoïdes (Núñez-Gastelum et al., 2018). Ces métabolites bioactifs dotés de propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, sont nécessaires à la défense contre les agressions extérieures et le stress oxydatif qui résulte de la surproduction de radicaux libres (RL) (Zrira et al., 2016).

La **figure 5** montre les activités biologiques d' *Opuntia ficus indica* et plus particulièrement les activités antimicrobiennes.

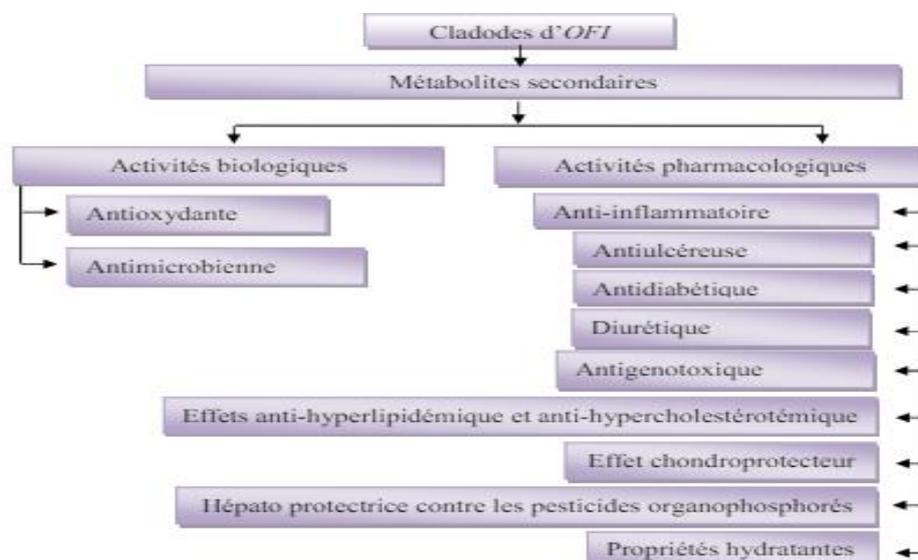


Figure 5 : Schéma présentatif des activités biologiques et pharmacologiques des cladodes d' *Opuntia ficus indica* (Reggane, 2021).

1.9. Les maladies d'opuntia

Comme les autres cultures, le figuier de Barbarie *Opuntia ficus indica* (L.) souffre de plusieurs maladies biotiques et abiotiques; leur impact dépend de l'utilisation de la culture. Il est certain que la plupart des maladies infectieuses sont causées par des champignons, alors

qu'un très petit nombre de bactéries, phytoplasmes et virus sont signalés comme pathogènes. A cause du climat sec des régions où le figuier de Barbarie est cultivé dans le monde, ces maladies deviennent problématiques seulement à certaines périodes quand les conditions sont favorables, une détection précoce, une identification précise et un suivi strict des maladies dans les champs et sur le matériel de multiplication sont essentiels pour éviter leur diffusion.

1.9.1. Maladies fongiques

- **Pourriture des cladodes et des fruits**

Distribution géographique : Afrique du Sud, Brésil, Egypte, Etats-Unis d'Amérique, Italie, Mexique.

Symptômes et signes : Des zones noires arrondies (15-50 mm de diamètre) apparaissent sur les cladodes laissant la couler comme un exsudat de gomme noire depuis les marges de la lésion. Les pycnides sont souvent facilement visibles sur la surface de la zone infectée. Probablement, la même maladie a été signalée en tant que chancres gommeux sur des cladodes (**Figure 6**) à Linosa (Italie) et l'agent responsable est associé à *Botryosphaeria ribis* (syn. *Dothiorella ribis*) (**Somma et al., 1973**).

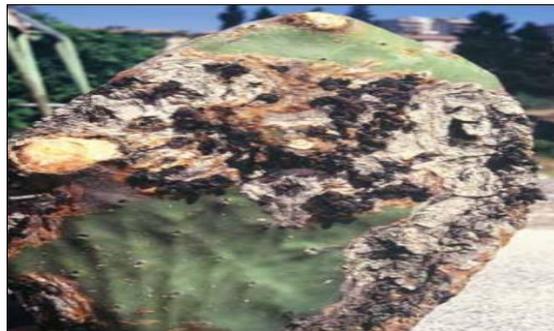


Figure 6 : Chancre gommeux (Ile de Linosa, Italie) (**Inglese, 2018**)

- **Pourriture sèche à alternaria (Alternariose)**

Distribution géographique : Argentine, Italie, Brésil, Egypte, Mexique, Afrique du Sud.

Symptômes et signes : Les premiers symptômes sont des points chlorotiques circulaires autour des épines ou des blessures sur les cladodes ou les fruits, qui, plus tard, deviennent sombres et nécrotiques (**Figure 7**). Les sites de pénétration du champignon sont généralement les épines, mais aussi les blessures sur la cuticule causées par la grêle. En Afrique du Sud, différentes espèces d'*Alternaria* ont été isolées de cladodes avec des symptômes de pourriture sèche (**Swart et Kriel, 2002; Swart et Swart, 2002; Ammar et al., 2004; Souza et al., 2010**).

En Italie, *Alternaria alternata* produit des points dorés (**Figure 9**) sombres au centre et jaune doré sur les bords (**Granata et Sidoti, 1997**). La même maladie est connue, au Mexique, sous le nom de mancha de oro ou secamiento de la penca (**Gutiérrez, 1992**). *A. alternata* cause aussi le pourrissement post-récolte du fruit. Le symptôme est une pourriture sèche de la peau de couleur noire (**Figure 8**). Généralement, les lésions, avec une marge irrégulière, sont localisées dans la partie centrale du fruit et la peau pourrie peut être enlevée (**Faedda et al., 2015**).



Figure 7 : Pourriture sèche dorés (Italie) (**Inglese, 2018**)



Figure 8 : Pourriture des fruits causée par *Alternaria* (Italie) (**Inglese, 2018**)



Figure 9 : Points d'*Alternaria* (Tunisie) (**Inglese, 2018**)

1.9.2. Maladies Bactériennes

- **Pourriture bactérienne molle noire**

Distribution géographique : Argentine, Italie.

Symptômes : Au printemps, les cladodes montrent des taches aqueuses qui deviennent brunes et coalescentes (**Figure 10**). Les tissus externes sèchent et souvent se craquèlent ; les tissus internes deviennent bruns à presque noirs. Ces symptômes peuvent aussi être observés sur les fruits (**Varvaro et al., 1993; Saad et al., 1998**)



Figure 10 : Pourriture molle noire (Italie) (**Inglese, 2018**)

1.9.3. Désordres Abiotiques

- **Les blessures dûes au froid**

Les dommages dus aux températures inférieures à -5°C, La sensibilité au froid varie en fonction de l'âge et du stade physiologique de la plante et aussi du cultivar. Les fruits en maturation sont les plus sensibles aux blessures du froid, qui forment des taches nécrotiques à la surface de l'écorce (**Figure 11**).



Figure 11 : Blessure du froid (Italie) (**Inglese, 2018**).

1.10. Les insectes ravageurs d' *opuntia*

La famille des Cactaceae est un groupe de plantes très distinctes avec des caractéristiques particulières de croissance et de comportement, et elle a naturellement développé son propre complexe d'insectes. En effet, plus de 160 espèces d'insectes sont nuisibles pour les cactus (**Dodd, 1940 ; Mann, 1969 ; Zimmerman et Granata, 2002**).

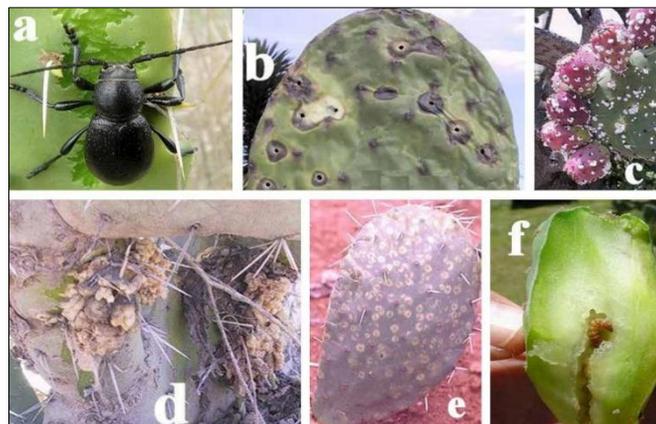


Figure 12 :Dégâts d'insectes sur des plants de cactus : a) *Moneilema* adulte sur un cladode tendre, b) symptômes de criblure, c) infestation de cochenilles sauvages sur les fruits, d) exsudats de gomme dure sur la tige principale du cactus à cause de larves de *Metamasius*, e) dégâts de punaise grise, et f) Larves de *Metapleura* à l'intérieur d'un fruit de cactus (**Inglese, 2018**)

- **Cochenille cotonneuse (*Dactylopus opuntiae*, Homoptère : Dactylopiidae)**

Actuellement, la cochenille cotonneuse (*Dactylopus opuntiae*) peut être considérée comme l'insecte ravageur le plus important dans les vergers de cactus dans le monde.

Au Brésil, elle a infesté 100 000 ha de cactus cultivés pour la production de fourrage, réduisant la productivité de 80% (Lobos *et al.*, 2013). Les cochenilles vivent à la surface du cactus, habituellement en agrégats ou en colonies composées d'individus à différents stades de développement, installées à la base des épines. Tous les dégâts d'alimentation sont causés par les femelles et les nymphes car elles aspirent la sève des cladodes et des fruits. Quelques semaines après leur installation sur une plante, des zones jaunes apparaissent sur le cladode qui finalement tombe. Bien que de nouveaux cladodes puissent pousser, ils vont aussi tomber si les cochenilles restent sur la plante. En fonction de la sévérité de l'infestation, le tronc peut aussi mourir (Inglese, 2018).



Figure 13 : *Dactylopus opuntiae*, Cochinilla silvestre mexicana (Suárez et Oromi, 2018)

- **Scarabées longicornes (Cerambycides)**

Ce groupe est représenté par le genre *Moneilema* (*M. variolis* est une des espèces les plus communes dans les vergers de cactus). Ils peuvent infliger des dégâts importants et deux ou trois larves seulement à la base d'un cactus pleinement développé peuvent mener à l'effondrement de la plante. Ils se nourrissent aussi à la base des jeunes plantes et présentent le même risque de dommages que le charançon *Metamasius*. Les larves infestent la tige principale et les plus vieilles jonctions du figuier de Barbarie, creusant des galeries remplies d'un copieux exsudat qui noircit vite. Les insectes saprophytes sont attirés par ces zones d'alimentation et contribuent à leur expansion. Les larves bougent considérablement dans les cactus, généralement vers le bas, finissant dans la tige basale des vergers récemment plantés. Par contre, les adultes se nourrissent superficiellement en rongant les bords des raquettes nouvellement formées et occasionnellement les fruits (Figures 12a et 14a).

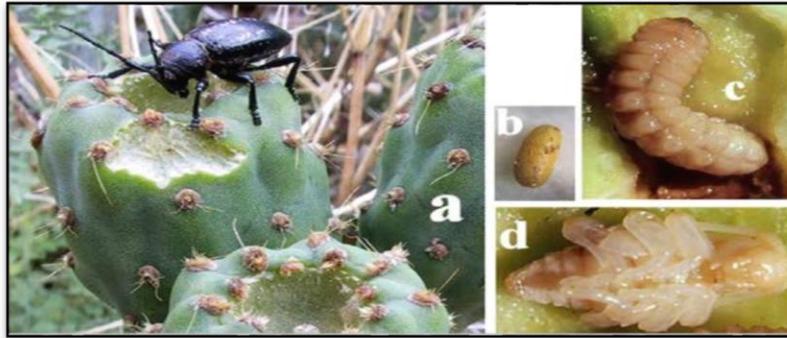


Figure 14: Stades de vie de Moneilema : a) adulte, b) œuf, c) larve et d) pupe (Inglese, 2018)

- **Charançons du cactus (Curculionidae)**

Le charançon du cactus (*Metamasius spinolae*), le charançon cribleur (*Gerstaeckeria spp.*) et le charançon de l'aréole (*Cylindrocopturus biradiatus*) sont trois des plus importants insectes ravageurs Curculionidés pour les cactus. Ce sont les larves qui causent la plupart des dommages puisqu'elles se nourrissent des tissus internes et créent des conditions favorables à la pourriture, spécialement dans le cas de *Metamasius* et, dans une moindre mesure, *Gerstaeckeria*. Les larves de *Metamasius* sont très mobiles, allant des tiges vers les parties plus basses des branches principales, de manière à obtenir un meilleur approvisionnement en nourriture. Les adultes préfèrent se nourrir sur les jeunes cladodes; *Gerstaeckeria* et *Cylindrocopturus* les utilisent aussi pour l'oviposition et le développement des larves, alors que *Metamasius* préfère les tiges et les cladodes les plus anciens pour ces activités.

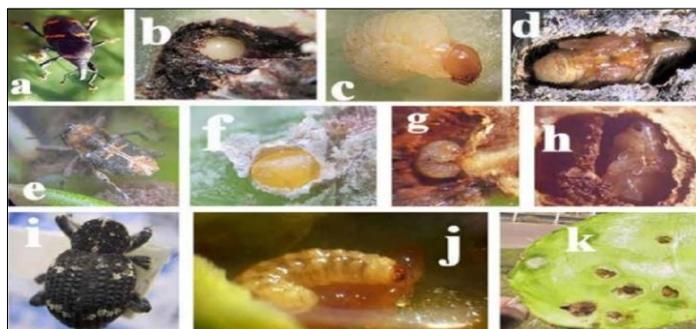


Figure 15 : Charançons, insectes ravageurs du cactus et leurs stades de vie : a) *Metamasius spinolae* adulte, b) œuf, c) larve et d) pupa ; e) *Cylindrocopturus biradiatus* adulte, f) œuf, g) larve et h) pupa ; i) *Gerstaeckeria spp.* adulte, j) larve, k) dégâts de la larve à l'intérieur du cladode (Inglese, 2018)

2. *Dactylopus opuntiae*(ravageur) et *Eucalyptus Globulus* (moyen de lutte)**2.1. *Dactylopus opuntiae*****2.1.1. Généralités et origine**

Les cochenilles carmin sont un groupe d'insectes américain appartenant à la famille monogène des Dactylopiidae (Hemiptera) qui présentent de l'acide carminique dans leur corps (**Lambdin et al., 2002**). Ces acides agissent comme un moyen de dissuasion alimentaire envers leurs ennemis naturels (**Eisner et al., 1980**).

A partir des années 50, la demande mondiale de colorants naturels a considérablement augmenté. La teinture de *Dactylopus* est utilisée depuis des siècles dans les textiles, la médecine traditionnelle et les peintures murales et plus récemment dans les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et les aliments (**MacGregor, 1976**). Le genre *Dactylopus* (Hemiptera : Dactylopiidae) comprend neuf espèces : *Dactylopus ceylonicus*, *D. coccus*, *D. confusus*, *D. opuntiae*, *D. tomentosus*, *D. austrinus*, *D. confertus*, *D. salmianus* et *D. zimmermanni* (**De Lotto 1974 ; Pérez-Guerra et Kosztarab 1992 ; Claps et de Haro 2001**). Le genre *Dactylopus* comprend un groupe homologue d'insectes hémiptères phytophages de 1 à 6 mm de longueur, les mâles adultes étant plus petits que les femelles adultes. Ces insectes sont caractérisés par leur sécrétion de couverture cireuse de type coton blanc et leurs corps colorés, et sont communément appelés « cochenilles » (**De Lotto 1974 ; Piña, 1977 ; Claps et de Haro, 2001**). Les insectes se nourrissent exclusivement de cactus, principalement du genre *Opuntia* (**Mann, 1969 ; De Lotto, 1974 ; MacGregor et Sampedro, 1984 ; Pérez-Guerra et Kosztarab, 1992 ; Portillo et Viguera-Guzmán, 2003 ; Chávez-Moreno et al., 2009**).

2.1.2. Systématique

La famille des Dactylopiidae comprend uniquement le genre *Dactylopus* (**Williams et Ben-Dov, 2015**). C'est un insecte sessile qui vit et se nourrit des raquettes du cactus. Elle est classée selon la taxonomie suivante :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous- Embranchement: Pancrustacea

Infra- Embranchement: Altocrustacea

Super-Classe : Hexapoda

Classe : Insecta

Ordre : Hemiptera

Sous-Ordre : Sternorrhyncha

Super-Famille : Coccoidea

Famille : Dactylopiidae

Genre : *Dactylopius*

Espèce : *Dactylopius opuntiae* (Cockerell, 1896).

2.1.3. Cycle de vie et description

Le cycle biologique complet des femelles était de 77 jours et celui des mâles de 43 jours. Chaque femelle pondre une moyenne de 131 oeufs (**Vishali et al., 2015**).

La biologie des espèces du genre *Dactylopius* ainsi que leur cycle de vie (qui peut varier en fonction de la température ambiante) et leurs caractéristiques morphologiques générales sont très similaires (**Mathenge et al., 2009**). La description suivante du cycle biologique de *D. opuntiae* a été obtenue de **Morales en 1994**, qui distingue les étapes suivantes au cours de son cycle : nymphe mobile I, nymphe fixe I, nymphe II, cocon, mâle adulte et femelle adulte.

Parfois, les œufs sont difficiles à observer car ils éclosent à l'intérieur du corps de la femelle, mais le schéma normal est qu'ils forment une agglomération d'œufs, en quelques heures ils éclosent et les nymphes sont observées.

Dans le cas de *D. opuntiae*, les femelles adultes restent en état de pré-oviposition pendant 19 à 25 jours. Par la suite, elles commencent à sécréter une goutte de liquide visqueux de couleur ambrée à l'ouverture du système reproducteur. Cette goutte fonce. lorsque la femelle adulte entre dans la période de ponte, qui dure environ 13 à 31 jours. Lorsque les nymphes émergent, elles cherchent l'endroit approprié dans le cladode pour insérer leur stylet avec lequel elles se nourrissent et les insectes restent fixes tout au long du cycle. Le stade nymphe I dure de 17 à 23 jours ; A ce stade, les femelles ne sont pas différenciées des mâles. Par la suite, les nymphes commencent à se couvrir de cire cotonneuse blanche et augmentent légèrement en taille. Le stade nymphique II dure de 12 à 16 jours ; À partir de ce moment, les nymphes femelles continueront de croître en taille et se couvriront de cire cotonneuse jusqu'à atteindre le stade

adulte. Les mâles s'enveloppent de cire et forment un cocon, cette étape dure 11 à 15 jours, et plus tard émergent les mâles adultes, qui ont des ailes, manquent de pièces buccales et mesurent environ un tiers de la taille de la femelle, à l'état adulte, ils ne vivent que 3 à 5 jours (**Morales, 1994**).

À mesure que la température diminue, le cycle devient plus long, tandis que lorsque la température augmente, le cycle devient plus court (**Antonio, 2014**)

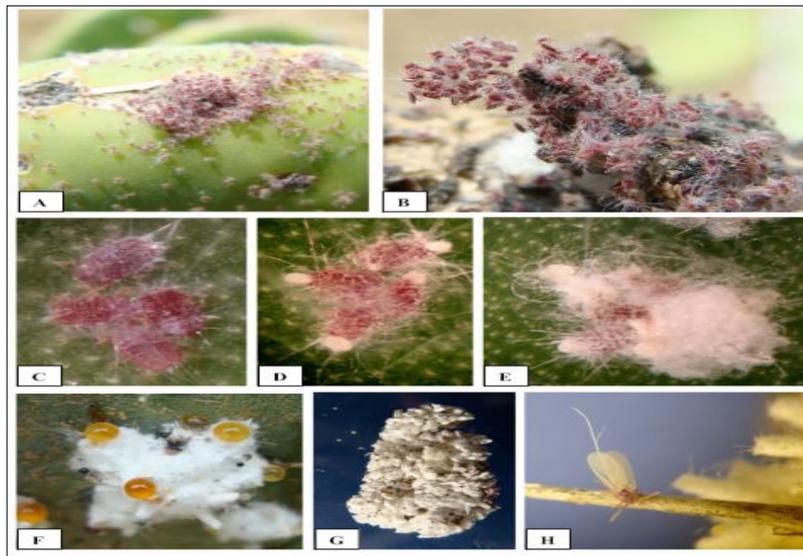


Figure 16 : Dispersion de *Dactylopus opuntiae* à Tlalnepantla, Morelos. A) Concentration de nymphes I dans la partie apicale du cladode. B) Moment de dispersion des nymphes. C - H) Stades de *D. opuntiae* en conditions de laboratoire, suivi pendant un mois et demi. C) nymphes 1 de *D. opuntiae* D) nymphes de stade intermédiaire de développement de la cire I et II. E) Nymphes II, développement de cire. F) Femelles matures G) colonie de cochenilles avec des cocons de mâles au-dessus des femelles. H) Mâle de *D. opuntiae* (**Vanegas Rico, 2009**)

2.1.4. Répartition géographique

Dactylopus opuntiae a été décrite pour la première fois sous le nom de *Coccus cacti opuntiae* par le même auteur (Lamarck) qui a collecté les « grains sauvages » de cactus au Mexique en 1896. Il a ensuite été considéré comme synonyme de *D. tomentosus*, pour finalement classer l'espèce sous le nom de *D. opuntiae* en 1929 (**De Lotto, 1974**). Dans son aire de répartition géographique d'origine, la zone d'Amérique centrale, il était et est toujours un ravageur des cultures de figues de Barbarie où il s'est propagé à d'autres zones de production dudit cactus, très probablement par le biais de matériel végétal infesté (**CABI, 2021**). Son extension couvre des pays tels que : le Brésil, la France, l'Inde, la Palestine, la Jamaïque, le

Liban, le Maroc, le Pakistan, la Palestine et l'Espagne entre autres (**Figure 17**) (**Mazzeo et al., 2019**).



Figure 17 : Répartition de *Dactylopus Opuntiae*. Source CABI (2021) IN (**Perestelo Paz, 2022**)

2.1.5. Utilités de *Dactylopus Opuntiae*

Le mot cochenille vient du grec kokkos (kokkos : petite baie) et a été attribué, pour la première fois, le rouge carmin a été fabriqué à partir d'une cochenille au Mexique. Le Mexique était a une colonie espagnole. Ceci facilita l'introduction de *D. cacti* en Europe. Son commerce fut très prospère, mais avec l'arrivée de l'application des couleurs d'aniline à la teinture, la consommation de carmin naturel connut une importante diminution. Aujourd'hui, il est encore utilisé comme colorant alimentaire (charcuterie, céréales pour les enfants), colorant histologique, colorant cosmétique (rouge à lèvres), dans les colorations de dentifrices ou comme composant de certaines couleurs utilisées par les peintres. Son prix reste élevé : en 1990 la poudre de « Carmin biologique » valait 1 000 F le kilogramme. Cependant, il ne faut pas confondre le colorant « rouge cochenille » (E 124) purement chimique qui est en fait un azoïque rouge très réglementé rentrant dans la coloration des aliments notamment des glaces et des boissons non alcoolisées et « le rouge de cochenille » (E 120) qui est en fait l'acide carminique naturel obtenu à partir de l'insecte (**Kreiter et al., 1998**).

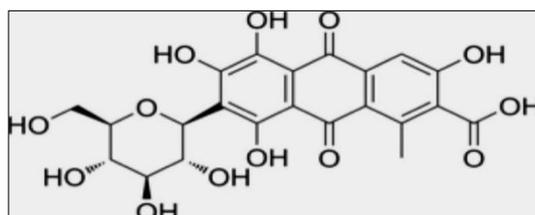


Figure 18 : Molécule d'acide carminique (**Pottier, 2017**)



Figure 19 : Extraction de l'acide carminique réalisée au laboratoire de la FSDM

2.1.6. Dégâts en Algérie

En 2016, le ravageur *Dactylopus opuntiae* été repéré en Afrique du Nord, au Maroc, avant de migrer vers l'ouest de l'Algérie, notamment à Tlemcen et dans plusieurs localités de la région de Msirda. Sa propagation rapide a entraîné d'importants dommages sur le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*) (El Bouhissi *et al.*, 2021).

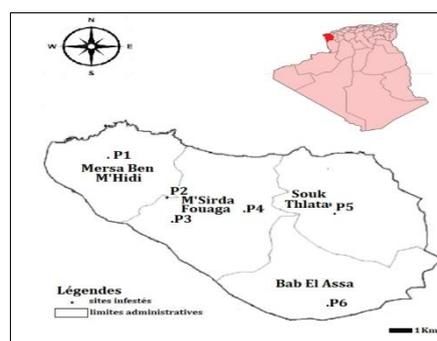


Figure 20: La localisation d'infestation d'*Opuntia ficus indica* par le *Dactylopus opuntiae* dans la région de Tlemcen (El Bouhissi *et al.*, 2021)

Le niveau d'infestation a été étudié dans six régions comme illustré dans la **figure 20**. La région 3 (Jamaa El West) présente le taux d'infestation le plus élevé, atteignant 90%, suivie de la région 4 (Arbouz) avec un taux estimé à 75%. La région 1 (Chaib Rasso) affiche un taux estimé à 60%. La zone 2 (El Annabra) présente un taux d'infection moyen estimé à 40%, tandis que la zone 5 (Souk Thlata) montre un taux estimé à 35%. Enfin, la zone 6 (Ank Jmal) présente une faible infestation, avec un taux estimé à 8%. Le niveau d'infestation des plants de figue de Barbarie par le *Dactylopus opuntiae* dans ces différentes zones citées est plus élevé dans les régions situées à proximité de la frontière algéro-marocaine (El Bouhissi *et al.*, 2021).

Cependant, cet insecte a subi une extension extraordinaire qui a provoqué des pertes économiques sur les plantations d'*Opuntia spp* (Vanegas-Rico *et al.*, 2010 ; Cha vez-Moreno *et al.*, 2011).



Figure 21 : Degré d'infestation de *Dactylopus opuntia* sur le figuier de barbarie dans la région de Tlemcen, Algérie. (a) infestation sur les fruits ; (b) mort de la plante (El Bouhissi *et al.*, 2021)

2.1.6. Moyen de lutte

- **Contrôle chimique**

Bien que les produits chimiques pour lutter contre les ravageurs du nopal ne soient pas officiellement autorisés au Mexique (Cofepris, 2013), dans la pratique, divers insecticides sont utilisés. Notamment, pour combattre la cochenille du nopal, on recommande l'utilisation de produits à large spectre tels que le malathion, le parathion-méthyle, le chlorpyrifos, le trichlorfon, le carbaryl et la cyperméthrine, entre autres (Badii et Flores, 2001; Monroy, 2010).

- **Contrôle culturel**

Il est conseillé, dans le cadre d'un contrôle culturel, de procéder à une sélection minutieuse des raquettes afin d'éviter de planter des plantes infestées par des insectes (Delgadillo *et al.*, 2008). Il est important d'éliminer les mauvaises herbes qui concurrencent la culture pour l'espace, l'eau, la lumière et les nutriments. Des tailles sanitaires doivent être effectuées dans le but d'éliminer les raquettes endommagées par les ravageurs et les maladies. Il est également nécessaire d'éliminer les raquettes entrecroisées qui servent de refuge aux ravageurs, ainsi que de retirer les raquettes taillées du jardin, de les broyer et/ou de les enterrer pour éviter qu'elles ne deviennent des réservoirs de ravageurs et de maladies (Sagarpa, 2006).

- **Contrôle mécanique**

En ce qui concerne le contrôle mécanique, il doit être effectué dès le début de l'attaque des ravageurs ; par exemple, il est suggéré de retirer les femelles ou les colonies cotonneuses en les

balayant avec un balai ou une brosse à poils fermes. De même, elles peuvent être enlevées avec une brosse à poils doux, un chiffon humide ou un tampon de coton imprégné d'alcool ou d'huile végétale, bien qu'il soit également possible d'utiliser de l'eau sous pression pour éliminer les colonies de cochenilles (Sanidad Vegetal, 2004a ; Inegi, 2013). IN (Cobix Herrera, 2023).

- **Contrôle biologique**

Venegas en 2008 indique que les prédateurs les plus abondants dans les cultures de nopal dans l'État de Tlaxcala sont *Leucopis bellula* (Diptera: Chamaemyiidae) et *Symphorobius barberi* (Neuroptera: Hemerobiidae). Plus récemment, Venegas *et al.*, en 2010 ont rajouté comme espèces : *Symphorobius angustus* (Hemerobiidae), *Hyperaspis trifurcata* et *Chilocorus cacti* (Coccinellidae), *Laetilia coccidivora* (Pyralidae) et *Salpingogaster cochenillivorus* (Syrphidae). En outre, le champignon *Bauveria bassiana* a également été testé avec succès et est considéré comme une méthode de contrôle biologique (Sanidad Vegetal, 2004b).

2.2. *Thymus Ciliatus*

2.2.1. Généralité :

Le genre *Thymus*, de la famille des Lamiacées, est largement répandu, comprenant huit sections et environ 220 espèces. Dans la médecine traditionnelle d'Afrique du Nord, les plantes du genre *Thymus* sont utilisées comme remèdes pour diverses affections telles que la bronchite, les infections pulmonaires, la grippe, la toux et certains troubles gastro-intestinaux.

En Algérie, il existe 12 espèces de *Thymus*, dont 9 sont endémiques (Ghorab *et al.*, 2013).

Le terme "Thym" en français est apparu pour la première fois au XII^e siècle, sous la forme "tym" selon certaines sources. Il dérive du latin "thymus", lui-même issu du grec "thumos", dont le sens est un peu obscur et peut faire référence à une "grosseur" ou une "loupe", en faisant allusion à la glande *thymus*. Certains pensent également que le mot pourrait provenir du grec "thymos" ou "thyein", signifiant "fumée", en raison du fait que le thym était autrefois brûlé comme encens et réputé pour repousser les êtres venimeux. Enfin, d'autres théorisent que le mot dérive du grec "thumus", signifiant "courage", car la plante était considérée autrefois comme un tonique stimulant (Kholkhal, 2014).

Le thym, emblématique de la flore méditerranéenne, possède des feuilles riches en huiles essentielles aux vertus utilisées en phytothérapie et en médecine (Mebarki, 2010).

Thymus ciliatus ssp. Coloratus, plante aromatique, spontanée et répandue en régions méditerranéennes et dans le nord de l'Algérie est très utilisée par les populations locales pour ses vertus médicinales (Kholkhal *et al.*, 2013).

2.2.2. Systématique

Selon **Quezel et Santa (1963)**, la classification qu'occupe *Thymus ciliatus ssp. eu-ciliatus* dans la systématique est la suivante :

Règne : Plantae

Embranchement : Phanérogames

Sous Embranchement : Angiospermes

Classe : Eudicots

Sous Classe : Astéridées

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiacées

Genre : *Thymus*

Espèce : *Thymus Ciliatus*

2.2.3. Description

Thymus ciliatus est un arbrisseau de petite taille, mais capable de former des touffes bien étalées sur le sol. Ses feuilles florales se distinguent des feuilles caulinaires, étant généralement fortement dilatées à leur base. Cette espèce se trouve dans les broussailles, les matorrals, sur des substrats calcaires et siliceux, ainsi que sur des sols rocailleux et bien drainés. Bien qu'essentiellement xérophile, elle n'est pas très exigeante en termes de climat. *T. ciliatus* peuple donc divers étages méditerranéens et montagnards méditerranéens, ainsi que l'oroméditerranéen (**Benabid, 2000**).

Le Thym, également connu sous le nom de Zaater, est fréquemment trouvé dans la région de Tlemcen, en Algérie, où il prospère dans les sols calcaires et argileux. Il est typiquement associé aux matorrals et se rencontre couramment dans les montagnes algériennes. Selon **Alcaraz (1991)**, le Thym est souvent associé au chêne vert (*Quercus ilex*). En phytothérapie, le Thym est largement utilisé pour ses propriétés médicinales. Son arôme agréable le rend également populaire dans la cuisine. De plus, il est exploité dans l'industrie de la parfumerie et pharmaceutique pour extraire le thymol.

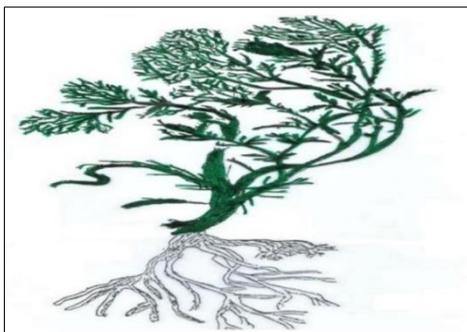


Figure 22 : Morphologie d'une touffe de *Thymus ciliatus* (Damerdji et Kassemi, 2014)



Figure 23 : *Thymus ciliatus ssp eu-ciliatus*; de la région lalla setti (Tlemcen) (Original, 2024)

2.2.4. Effet et utilités de l'huile essentiel de *Thymus ciliatus*

Les huiles essentielles de thym sont largement utilisées comme agents antiseptiques dans plusieurs domaines pharmaceutiques et comme aromatisants pour de nombreux types de produits alimentaires (Papageorgio, 1980).

Les huiles essentielles de *T. ciliatus* sont distinguées par la prédominance de thymol (44,2 %), de β -E-ocimène (25,8 %) et d' α -terpinène (12,3 %) en tant que principaux constituants chimiques. L'huile extraite de *T. ciliatus* a exhibé une activité antibactérienne et antifongique puissante contre toutes les bactéries et champignons examinés. Cette capacité biologique est principalement attribuée à l'abondance de thymol dans cette huile essentielle, reconnu pour son efficacité contre les agents microbiens (Amarti *et al.*, 2010).

L'huile essentielle de *T. ciliatus* présente un polymorphisme chimique très significatif, comme l'ont démontré Benjilali *et al.*, (1987a ; 1987b). Ils ont observé que le profil chimique de 14 échantillons de *T. ciliatus* provenant de différentes régions du Maroc varie considérablement. La concentration et la nature des principaux composés varient d'un échantillon à l'autre en fonction de l'origine des plantes. Par exemple, le thymol varie de 0,3 % à 29,3 %, le carvacrol de 0,4 % à 21,7 %, l'acétate d' α -terpényle de 0 % à 42,9 %, l'acétate de géranyle de 0 % à 21,7 %, le butyrate de géranyle de 0 % à 26,7 %, le camphre de 0,4 % à 28,4 % et le bornéol de 0,1

% à 31,6 %. Ce polymorphisme chimique est également observé chez *T. ciliatus* en Algérie. **Giordani et al. (2008)** ont montré que l'huile essentielle de cette espèce originaire de Djebel Ansel est principalement dominée par le thymol (60,52 %). En revanche, dans huit provenances de *T. ciliatus ssp. eu-ciliatus* de la région de Tlemcen, le carvacrol constitue le composant principal, avec des concentrations variant de 72,4 % à 80,3 % (**Bousmaha et al., 2007**).

Le tableau 3 présente la composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus*, avec les pourcentages de chaque composé ainsi que leurs indices de rétention (RI). Les indices de rétention sont déterminés sur une colonne spécifique (DB-5MS) utilisant une série homologue de n-alcanes comme référence. La mention "t" est utilisée pour indiquer les traces de composés, ce qui signifie qu'ils sont présents en quantités très faibles, généralement inférieures à 0,01 %, ou sont indétectables dans l'huile essentielle.

Tableau 3 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* (**Bousmaha et al., 2007**).

RI	Composé	Composition (%)
924	α -Thujene	0.4
932	α -Pinene	1.6
961	1-octen-3-ol	0.1
963	β -Pinene	T
975	β -myrcene	0.4
997	α -Phellandrene	T
1002	α -Terpinene	0.3
1006	p-Cymene	5.6
1015	1,8-Cineole	T
1035	γ -Terpinene	4.1
1074	Linalool	3.5
1178	Terpin-4-ol	T
1235	Thymol methyl ether	0.1
1275	Thymol	79.1
1286	Carvacrol	4.4
1416	β -Caryophyllene	T
1575	Spathulenol	T
1595	Caryophyllene oxide	T

Cette composition chimique est essentielle pour comprendre les propriétés et les applications de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus*, notamment en ce qui concerne ses arômes, ses effets

thérapeutiques et ses usages potentiels en aromathérapie, en pharmacologie et dans d'autres domaines connexes. En analysant cette composition, il est possible de mieux appréhender les caractéristiques spécifiques de cette huile essentielle et d'envisager ses diverses applications.

2.2.5. Effet De L'hydrolat De *Thymus Ciliatus*

Les hydrolats ont les mêmes propriétés pharmacologiques que les huiles essentielles mais plus atténuées à cause des concentrations plus faibles en composés terpéniques (**Kaloustia et al., 2008**).

Autrefois, les hydrolats étaient généralement considérés comme un déchet de l'hydrodistillation et par conséquent négligés par la communauté scientifique. Cependant, plusieurs études ont montré que certains hydrolats de plantes ont des propriétés thérapeutiques observables, souvent distinctes des huiles essentielles correspondantes (**Bravo et al., 1975**) ; (**Inouye et al., 2008**) (**Moukhles et al., 2018 ; 2020**), ce qui explique l'intérêt croissant récent pour l'utilisation de ces hydrolats à des fins thérapeutiques (**Catty, 2001**) ; (**L. Price et S. Price, 2004**). Plus récemment, certains travaux se sont concentrés sur cet intérêt accru pour les hydrolats. De plus, ces études montrent des résultats prometteurs quant au potentiel antibactérien, antioxydant et antifongique de ce type d'extrait (**Sağdıç et Ozcan, 2003**) ; (**Tabti et al., 2014**) ; (**Shen et al., 2017**) ; (**Moukhles et al., 2018**). Les plantes aromatiques et médicinales constituent un marché très prometteur, en raison de la valeur économique élevée des petites quantités d'huiles essentielles par rapport au volume de matière végétale. Les hydrolats occuperont également une place importante sur ce marché après avoir démontré une grande activité antibactérienne.

Dans le cas de l'huile essentielle de thym, bien que son activité antimicrobienne soit comparable voire supérieure à celle des parabènes, son coût élevé ne la rend pas viable comme ingrédient antimicrobien. Toutefois, l'hydrolat correspondant, utilisé dans les produits de FARMAVERDE CTA avec d'autres plantes, présente un coût nettement inférieur grâce à un rendement supérieur à celui de l'huile essentielle. Ainsi, pour appliquer ce critère de manière appropriée, nous considérerons le coût de la matière première végétale utilisée, le rendement en hydrolat, les concentrations utilisées, ainsi que le coût final de cet ingrédient dans le produit fini. Par la suite, d'autres éléments seront pris en compte en fonction des résultats obtenus (**Hay, 2015**).

2.2.6. Effet de la poudre de *Thymus Ciliatus*

La poudre de *Thymus ciliatus* peut agir de manière répulsive ou insecticide sur certains types d'insectes en raison de ses propriétés aromatiques et de ses composés bioactifs. Voici quelques effets potentiels :

- **Action répulsive :** Le thymol et le carvacrol, présents dans le thym, ont démontré des effets répulsifs sur les insectes tels que les moustiques, les mouches, les fourmis et les mites. Ces composés perturbent les récepteurs olfactifs des insectes, les dissuadant ainsi de s'approcher des zones traitées avec de la poudre de *Thymus ciliatus* (**Pavela, 2016**).
- **Activité insecticide :** Certains composés du thym, notamment le thymol, ont des effets insecticides directs, entraînant la mort des insectes ou les empêchant de se reproduire. Le thymol s'est révélé efficace contre les moustiques, les mouches domestiques et les cafards (**Tripathi et Dubey, 2004**).
- **Effet fongicide :** En plus de son action contre les insectes, la poudre de *Thymus ciliatus* possède des propriétés fongicides utiles pour contrôler les champignons nuisibles aux plantes ou aux matériaux de stockage. Cela contribue également à la prévention des infestations d'insectes, car certains insectes se nourrissent de champignons ou se développent dans des environnements fongiques (**Burt, 2004**).

Il est important de noter que l'efficacité de la poudre de *Thymus ciliatus* sur les insectes peut varier en fonction de facteurs tels que sa concentration, le type d'insecte ciblé et les conditions environnementales. Il est également essentiel de suivre les instructions d'utilisation et de prendre des précautions lors de l'utilisation de tout produit insecticide.

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique de la Région de Hennaya

La plaine d'Hennaya s'étend sur une superficie de 28 kilomètres carrés et se trouve au nord de la commune d'Hennaya, à environ 9,25 kilomètres au nord de la ville de Tlemcen, en Algérie. Ses limites sont définies par l'Oued Isser au nord, les terrains karstiques du Jurassique supérieur des Monts de Tlemcen au sud, l'oued Sikkak à l'est et l'oued Khalouf à l'ouest (**Hayane. 1983**). La région d'Hennaya, située à environ 270 mètres d'altitude, est caractérisée par un climat où les hivers sont pluvieux et les étés chauds et secs. Ce climat est classé comme semi-aride avec un hiver tempéré.



Figure 24 : Situation géographique de hennaya (Google maps, 2024)

2.1. Hydrologie

2.1.1. Géométrie de l'aquifère

La stratigraphie des puits dans la plaine révèle des caractéristiques géologiques intéressantes. Les grès du Tortonien sont présents dans les puits du Sud à une profondeur d'environ dix mètres, mais cette couche disparaît vers le Nord. En revanche, les marnes de l'Helvétien, absentes dans les puits du Sud, se trouvent plus au Nord, juste au-dessus des conglomérats. Cela suggère une profondeur croissante des marnes vers le centre de la plaine, tandis que sur les bordures Ouest et Est, le substratum remonte vers la surface. De plus, l'épaisseur des conglomérats diminue du Sud vers le Nord.

Les coupes géologiques transversales, établies à partir de logs de sondages, fournissent une représentation détaillée de la géométrie de la plaine. Ces données confirment les résultats obtenus précédemment par **Hayane (1983)** et mettent en évidence une variabilité verticale des formations de la plaine. Au Sud, l'aquifère est composé de grès et de lentilles de conglomérats surmontés par des dépôts d'argiles et d'argiles caillouteuses. En progressant vers le Nord, les

travertins se déposent sur les conglomérats, qui sont alors en contact avec les marnes helvétiques. Quant aux bordures Est et Ouest de la plaine, elles montrent une remontée du substratum vers la surface.

2.1.2. Hydrodynamique

Des campagnes piézométriques ont été réalisées dans la plaine à différents moments entre Décembre 2002 et Novembre 2003, permettant la création de cartes piézométriques pour les périodes de hautes, moyennes et basses eaux afin de comprendre les flux d'eau souterraine.

Pendant les moyennes eaux, les niveaux de la nappe demeurent relativement stables, devenant ainsi l'état de référence pour les modélisations futures. Les gradients hydrauliques varient de 0,025 dans le Sud à 0,09-0,06 au centre et au Nord de la nappe.

Les variations maximales du niveau de la nappe entre les périodes de basses et de hautes eaux vont de 0,05 à 1,52 m. Ces variations sont moindres (<0,6 m) au centre et au Nord de la nappe, mais plus prononcées (>1,5 m) au Sud-ouest, attribuées à la variation du gradient hydraulique, plus important au Sud qu'au Nord.

Les essais de pompage dans les conglomérats ont donné des coefficients de transmissivité entre $1,98 \times 10^{-4}$ et $3,39 \times 10^{-3}$, témoignant d'une bonne transmissivité, contrairement aux grès tortoniens dont la transmissivité est plus faible. Cependant, ces valeurs restent ponctuelles en raison des hétérogénéités verticales et horizontales, avec une distribution elliptique de la transmissivité et de la porosité dans le plan (**Plaine et al., 2005**)

1.3. Pédologie

des différentes classes de sols de la plaine de Hennaya selon la classification française (**C.P.C.S, 1967**) utilisée par l'**ANRH** :

1.3.1. Sols à sesquioxydes de fer et de manganèse

- Localisation : À l'ouest de la plaine.

Caractéristiques :

- Sols rouges formés sous un climat méditerranéen.
- Texture : Principalement limono-argileuse, argileuse et équilibrée.
- Matière organique : Entre 1,37% et 2,84% dans les horizons de surface, diminuant en profondeur.
- pH : Alcalin, entre 8,0 et 9,4.
- Présence de CaCO_3 : Entre 21,2% et 24,8%, avec une teneur en CaCO_3 actif entre 7% et 12% en moyenne.

1.3.2. Sols calcimagnésiques

- Types : Rendzines modales, sols bruns calcaires modaux, sols bruns calcaires sur encroûtement.

Caractéristiques :

- Texture : Limono-argileuse, argilo-limoneuse et argileuse.
- Matière organique : En moyenne de 2,2% dans l'horizon de surface, diminuant en profondeur.
- pH : Légèrement alcalin, autour de 8.
- Teneur en calcaire actif : Augmente avec la profondeur, variant entre 6% et 15%.
- Conductivité électrique (CE) : Faible, inférieure à 2,0 dS/m en moyenne.

Voici un résumé des caractéristiques des différents types de sols mentionnés :

- **Rendzines modales**

- Localisation : Au nord de la plaine, le long de la limite, autour du village agricole 'Taaounia', et au centre (sur une surface très réduite).

Caractéristiques :

- Sols peu profonds, avec une profondeur inférieure à 35 cm.
- Présence de croûte ou d'encroûtement calcaire en surface, avec quelques débris de croûte.
- Inaptitude à l'irrigation, mais peuvent être utilisés en culture sèche avec des cultures rustiques telles que la vigne, le figuier et les céréales, nécessitant parfois un épierage.

- **Sols bruns calcaires à encroûtement calcaire**

- Localisation : Au nord et au sud de la zone.

Caractéristiques :

- Identiques aux sols modaux, mais avec la présence de niveaux limitants de croûte ou d'encroûtement calcaire.

- Surface : 55,84 ha, soit 7,13% de la superficie totale.

- **Sols bruns calcaires modaux**

Caractéristiques :

- Les plus représentatifs de la région d'étude, formant de larges plages à l'est du périmètre.
- Plus profonds que les sols précédents.
- Surface : 193,69 ha, représentant 24,74% de la superficie totale.

1.3.3. Sols isohumiques

- Type : Sols marrons encroûtés.

Caractéristiques :

- Texture : Limono-argileuse et argileuse.
- Matière organique : En moyenne de 2,0% à 2,5% dans les horizons supérieurs, avec une forte teneur en profondeur.
- pH : Légèrement alcalin, entre 8,0 et 8,3.
- Teneur en calcaire actif : Entre 8% et 11%.
- Conductivité électrique : Faible, inférieure à 2,0 dS/m en moyenne.

1.4. Géologie

réservoir aquifère est formé d'une cuvette remplie de dépôts datant du Mio-plio-quaternaire, comprenant des matériaux tels que des grès tortoniens, des conglomérats, des travertins et des graviers argileux. Les marnes helvétiques constituent le substratum de cet aquifère (**Hayane, 1983**).

2. Etude bioclimatique

La synthèse climatique est une étape indispensable pour tout projet relatif à l'environnement. Elle résulte des différentes combinaisons de données climatiques qui sont multiples et ne datent pas d'aujourd'hui. De nombreux auteurs ont proposé des études synthétiques numériques et graphiques pour classer le climat et montrer son importance et son effet sur la répartition des espèces végétales. En ne prenant en considération que les paramètres essentiels (pluviosité et températures), nous pouvons caractériser le climat de la zone. Pour cela nous avons étudié les stations climatiques dans la région de Hanaya, avec l'analyse effectuée par **InfoClima**.

Pour compléter le tableau climatique, nous avons utilisé les données de la station météorologique la plus proche, située à Zenata. Les moyennes ont été calculées sur la base des observations effectuées de 2013 à 2023, ce qui les rend représentatives de la région.

Tableau 4 : Les données climatiques de la région de ZENATA durant la période de 2013 à 2023

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
PP	48.4	22.2	28.7	34.3	18.2	6.3	2.1	1.6	9.3	21.1	29	35.4	256.6
T	11.6	12.7	14.4	16.6	19.9	23.2	26.9	27.5	24.4	21.1	15.8	13.2	227.3
TM	17	18.4	20.5	22.8	26.7	29.9	33.9	34.4	30.8	27.9	21.8	18.7	302.8
Tm	5.9	6.9	8.3	10.4	13	16.4	19.9	20.6	18	14.2	9.8	7.5	150.9

2.1. Température

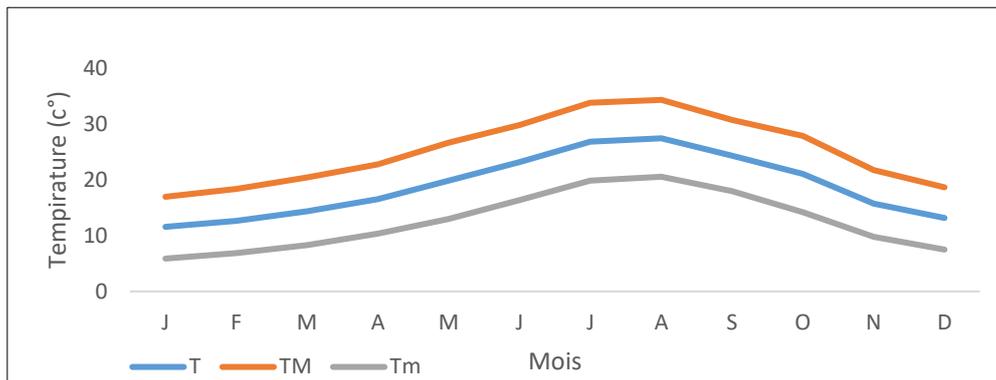


Figure 25 : Climagramme de la variation des températures moyenne, minimales et maximales de la région de ZENATA durant la période de 2013 à 2023

Les valeurs des températures enregistrées dans région de ZENATA durant la période allant de 2013 à 2023 montrent que les températures sont faible durant la saison d’hiver et avoisine les 11 °C pour la température moyenne, alors que la température minimale approche de 5 °C et 17 °C pour la température maximale, les valeurs sont enregistrées en été et approche de 27 °C pour la température moyenne, de 20 °C pour la température minimale et 34°C pour la température maximale.

2.2. Précipitations

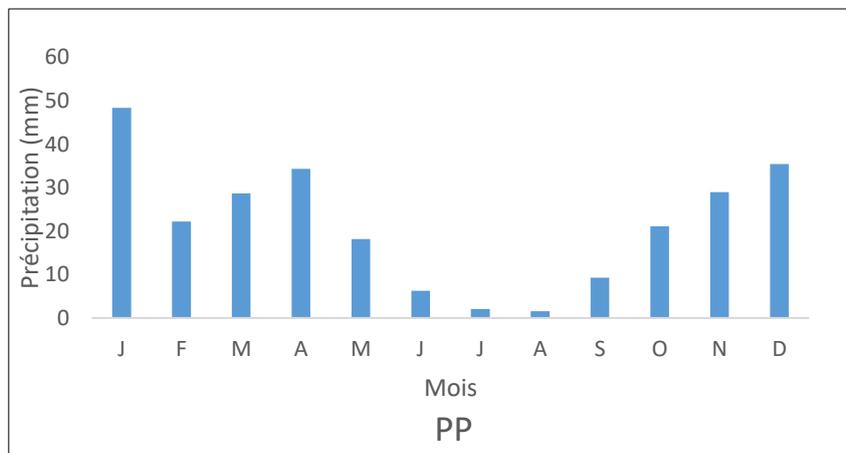


Figure 26 : Diagramme de la variation de précipitations moyenne de la région de ZENATA (2013 à 2023)

Les précipitations enregistrées dans la région de ZENATA durant la période allant de 2013 à 2023 montrent que les mois la plus humide sont Décembre, Janvier, Avril avec des valeurs qu’avoisine les 40 mm, les mois les plus secs sont de Juin jusqu’à Septembre avec un minimale de 1.6 mm en mois d’Août. Les mois Février, Mars, Octobre et Novembre restent intermédiaires avec des valeurs que se rapprochent de 25 mm.

2.3. Daigramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

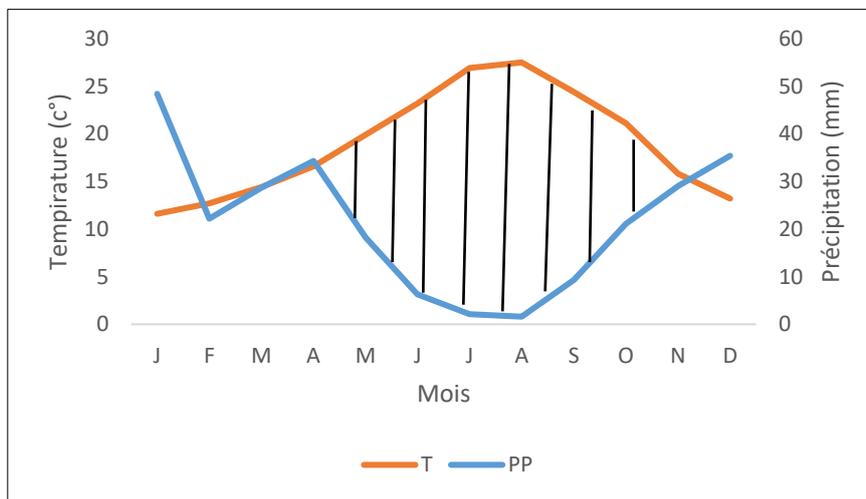
Bagnouls et Gaussen (1953) ont élaboré un classement climatique satisfaisant aux nécessités de l'écologie végétale, qui permet de dégager la durée de la période sèche. Pour cela, ils ont imaginé de confronter des courbes de pluies (courbes ombriques) et températures (courbes thermiques) ; il en résulte les diagrammes ombrothermiques. Pour ces auteurs un mois sec est celui dont le total moyen des précipitations est le double de la température moyenne exprimée en degré Celsius (°C). Avec :

$$P \leq 2T$$

P : précipitation moyenne du mois en (mm).

T : Température moyenne du même mois en (°C).

Selon **Ramade (2003)**, les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique.



Période sèche

Figure 27 : Diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen** de la région de ZENATA durant la période allant de 2013 à 2023

L'analyse de diagrammes permet de visualiser une période sèche débute à partir de la mi mois d' Avril et s'étend jusqu'à la fin du mois de novembre sur une durée de sept mois (presque huit mois), et une période pluvieuse pour le reste de l'année. Les précipitations atteignent leur maximum au mois de janvier. Toutefois, les mois de Juin, Juillet et Août demeurent les mois les plus secs.

2.4. Quotient pluviothermique d' Emberger

Dans les années 1930, **Emberger** a développé empiriquement un quotient bioclimatique (Q) qui résume les principaux facteurs climatiques déterminant les gammes géographiques de la végétation. En détail, la formule inclut des variables climatiques telles que les précipitations

annuelles (P), la température minimale du mois le plus froid (m) et la température maximale du mois le plus chaud (M), exprimant directement ou indirectement la sécheresse, la continentalité et l'évapotranspiration, La formule originale des années 1930 est présentée ci-dessous (Formule (1)), tandis que le même quotient, en utilisant des degrés Kelvin pour les températures au lieu de Celsius, a été introduit par **Daget** en 1977 et a conduit à la Formule (2), comme suit:

$$(1) Q = \frac{100 * P}{M2 - m2}$$

$$(2) Q_2 = \frac{2000 * p}{M2 - m2}$$

Tableau 5 : Quotient pluviothermique d'Emberger

Station	Période	P (mm)	TM (°K)	Tm (°K)	Q2
Zenata	2013-2023	256,6	307,55	279,05	30,69727

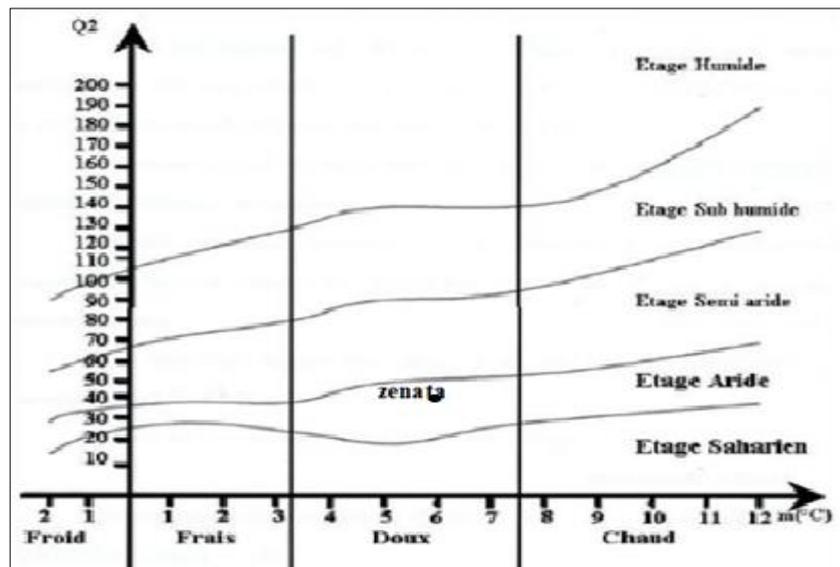


Figure 28 : Climagramme d'Emberger de la région de Zenata (2013-2023)

Le calcul du Q2 pour la station considérée durant la nouvelle période permet de l'installer sur le climagramme pluviothermique d'**EMBERGER** d'une part (tableau 5 et figure 28), et d'apprécier les modifications intervenues ces dernières années d'autre part.

Le climagramme d'**EMBERGER** montre un redressement d'un étage ces quatre dernières années, de semi-aride moyen à hiver tempéré vers l'aride inférieur à hiver doux.

On peut dire d'une façon générale que les modifications du climat influent sur la diversité floristique de la région d'étude.

3. Etude entomologique

L'étude entomologique de l'*Opuntia ficus indica* vise à analyser les interactions entre cette plante et les insectes, qu'ils soient ravageurs, pollinisateurs ou qu'ils jouent d'autres rôles. En collectant des spécimens à la station de Hennaya, nous avons pu examiner la diversité des insectes associés à cette espèce de cactus dans cette région spécifique. Cette recherche pourrait fournir des informations précieuses sur la manière dont l'*Opuntia ficus indica* interagit avec son environnement insectifère à Hennaya, ce qui pourrait avoir des implications importantes pour la gestion des cultures ou la conservation de la biodiversité dans cette région.

3.1. Echantillons des cladodes d'*Opuntia ficus indica*

- Déterminer le lieu à étudier (Hennaya).
- Déterminer l'heure du prélèvement des échantillons (4 avril 2024)
- Rechercher des échantillons infectés et non traités.
- Utilisez un outil pointu pour couper les cladodes.
- Les cladodes à récolter doivent être infectés par l'insecte *Dactylopus opuntia*.

4. Etude phytologique

4.1. Matériel végétal

La sélection de la plante (*Thymus ciliatus*) pour éliminer le *Dactylopus opuntia* s'est basée sur ses propriétés et ses composants insecticides.

Tableau 6 : Paramètres géographique de site de l'espèce récoltée.

Espèce	Site de collecte	Période de collecte	Partie étudiée
<i>Thymus ciliatus</i>	Parc national de lalla setti, Tlemcen 34°52'00.2 ''N 1°19'17.7''W	10/03/2024	Fieulles, Fleurs, tiges

4.2.1. Procédé d'extraction de l'huile essentielle

L'huile essentielle de *Thymus ciliatus* a été extraite par la méthode d'hydro-distillation à l'aide de l'appareil Clevenger.



Figure 29 :L'extraction de l'huile essentielle de *Thymus cilaitus* par appariel Clevenger (Original , 2024) .

4.2.2. Méthodes

Dans ce processus d'extraction par distillation de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* :

- Introduisez une quantité de plantes de *Thymus ciliatus* dans le ballon.
- Ajoutez entre 3 et 4 litres d'eau dans le ballon.
- Montez le dispositif de distillation Clevenger sur le ballon.
- Mettez en marche le chauffage du ballon et maintenez une température entre 40°C et 50°C jusqu'à ce que l'eau atteigne son point d'ébullition.
- Une fois que l'eau est en ébullition, laissez l'extraction de l'huile essentielle se poursuivre pendant une période de 4 à 5 heures.

4.2.3. Conservation des huiles essentielles

Une fois que l'huile essentielle est prête, vous pouvez la transférer dans des bouteilles en verre propres et sèches. Assurez-vous que les bouteilles sont bien scellées pour éviter toute contamination. Ensuite, recouvrez le goulot des bouteilles d'une feuille d'aluminium ou utilisez des bouchons bien ajustés pour préserver la fraîcheur de l'huile.

Après avoir fermé les bouteilles, laissez l'huile essentielle refroidir à température ambiante pendant un certain temps pour permettre à toute condensation de disparaître. Une fois refroidie, vous pouvez placer les bouteilles d'huile essentielle au réfrigérateur pour prolonger leur durée de conservation. Veillez à conserver les bouteilles dans un endroit sombre et frais, à l'abri de la

lumière et de la chaleur, pour préserver au mieux leur qualité. Veillez à bien étiqueter le flacon avec la date de fabrication pour suivre sa durée de conservation.



Figure 30 : Conservation des huiles essentielles de *Thymus ciliatus* (Original , 2024)

4.2.4. Conservation d'hydrolat

1. Extraction avec l'appareil Clevenger : L'hydrolat est extrait à l'aide d'un appareil de distillation connu sous le nom de Clevenger. Cet appareil permet de séparer l'huile essentielle de la plante de l'eau, produisant ainsi l'hydrolat.
2. Conservation dans un flacon coloré : Les flacons colorés sont utilisés pour protéger l'hydrolat de la lumière, car la lumière peut altérer ses propriétés chimiques et réduire sa durée de conservation.
3. Protection avec de l'aluminium : Envelopper le flacon dans de l'aluminium peut aider à renforcer la protection contre la lumière, en empêchant la lumière de pénétrer à travers le flacon.
4. Refroidissement : Après l'extraction, l'hydrolat est laissé refroidir un peu. Cela permet de stabiliser sa température avant de le placer au réfrigérateur.
5. Stockage au réfrigérateur : Le réfrigérateur est un endroit idéal pour conserver l'hydrolat, car il offre un environnement frais et sombre qui aide à préserver sa fraîcheur et ses propriétés. Veillez à bien étiqueter le flacon avec la date de fabrication pour suivre sa durée de conservation.

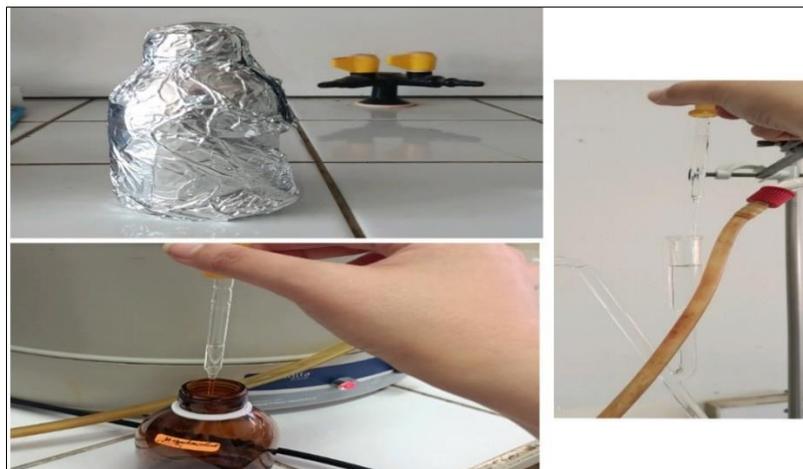


Figure 31: Conservation d'hydrolat de *Thymus ciliatus* (Original , 2024)

4.2.5. Détermination du rendement en huiles essentielles

Tout à fait, le rendement des huiles essentielles peut varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs, notamment :

1. Type de plante : Chaque plante possède une composition chimique unique qui influe sur son rendement en huile essentielle. Certaines plantes produisent naturellement plus d'huile essentielle que d'autres.
2. Moment de la récolte : Le moment de la récolte peut avoir un impact significatif sur le rendement en huile essentielle. Par exemple, certaines plantes produisent plus d'huile essentielle à un stade spécifique de leur cycle de croissance ou à un moment précis de la journée.
3. État de la plante : Le fait que la plante soit fraîche ou sèche au moment de la distillation peut également affecter le rendement en huile essentielle. Dans certains cas, les plantes fraîches peuvent produire une plus grande quantité d'huile essentielle, tandis que dans d'autres cas, les plantes sèches peuvent être plus riches en composés aromatiques.

D'autres facteurs, tels que les conditions météorologiques, le sol, l'altitude et les pratiques agricoles, peuvent également influencer le rendement en huile essentielle. Il est donc important de prendre en compte une combinaison de ces facteurs pour obtenir des rendements optimaux lors de la distillation des huiles essentielles.

$$\text{Rdt} = \frac{M}{M_0} \times 100$$

Rdt : Rendement en huiles essentielles en pourcentage.

M : Masse d'huile essentiel en (g) .

M₀ : Masse de matière végétale à traiter en (g) .

4.2.6. Méthode d'obtention de la poudre

pour obtenir la poudre de *Thymus ciliatus* , nous suivons les étapes suivantes :

1. Séchage : Disposez les feuilles, fleurs et tiges sur une surface plane et propre, dans un endroit sec et bien ventilé, à l'abri de la lumière directe du soleil. Laissez-les sécher pendant une à deux semaines, en vérifiant régulièrement qu'elles sont complètement sèches.
2. Broyage : Une fois les feuilles, fleurs et tiges bien sèches, utilisez un broyeur électronique (ou un moulin à café propre et réservé à cet usage) pour les réduire en poudre. Procédez par petites quantités pour obtenir une texture homogène.
3. Tamisage : Passez la poudre obtenue à travers un tamis fin pour éliminer les éventuels morceaux plus gros et obtenir une poudre fine et uniforme.
4. Stockage : Conservez la poudre de *Thymus ciliatus* dans un contenant hermétique, à l'abri de la lumière et de l'humidité, dans un endroit frais et sec. Étiquetez le contenant avec la date de fabrication et le nom du produit.



Figure 32 : La poudre de *Thymus ciliatus* (Original , 2024)

5. Méthode de lutte biologique par huile essentiel, hydrolat et poudre végétale de *Thymus ciliatus***5.1. Matières végétales**

- Huile essentielle
- Hydrolat
- Poudre

5.2. Produit chimique

- Dimethyl sulfoxyde (DMSO)

5.3. Matériel utilisé

- Tablier
- Gants
- Cutteur lame
- Ciseau
- Boite de pétri
- Tube en verre
- Eppendorf tube
- Becher
- Micropipette 10ul /100ul
- Mcropipette 0.5 /10ul
- Embout micropipette
- Loupe de bijoutier 10*17 mm
- Etiquettes, élastique ruban
- Pinces, cuillère, couteau,
- Broyeur électrique
- Balance électronique
- Feuille d'aluminium
- Papier absorbant
- Tissu filtrant



Figure 33 : Matériel utilisé (Original , 2024)

6. Méthode de lutte

6.1. Huile essentielle

Nous avons mené la lutte contre la cochenille en utilisant l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* de deux manières différentes : par contact et par inhalation. Dans chaque méthode, nous avons réalisé trois essais, chacun contenant huit doses d'huile essentielle de *Thymus ciliatus* (5 μ l, 7 μ l, 10 μ l, 13 μ l, 15 μ l, 20 μ l, 25 μ l, 30 μ l), diluées avec 50 % de DMSO.

Pour la méthode par contact, nous avons préparé des boîtes de Pétri et placé dix individus adultes de la cochenille dans chaque boîte. Ensuite, nous avons appliqué directement l'huile essentielle diluée sur chaque insecte.

Pour la méthode d'inhalation, nous avons également préparé des boîtes de Pétri, où nous avons placé dix individus adultes de la cochenille. Ensuite, nous avons placé un morceau de papier paille à côté des insectes et avons appliqué l'huile essentielle diluée sur ce papier. Ensuite, nous avons recouvert chaque boîte d'un tissu filtrant pour permettre aux insectes de respirer tout en étant exposés à l'huile, Nous avons surveillé ce processus pendant 48 heures.

Pour chaque méthode, nous avons également préparé trois boîtes de témoins où aucun traitement n'a été appliqué. Cela nous a permis de comparer l'efficacité de chaque méthode de lutte contre la cochenille.

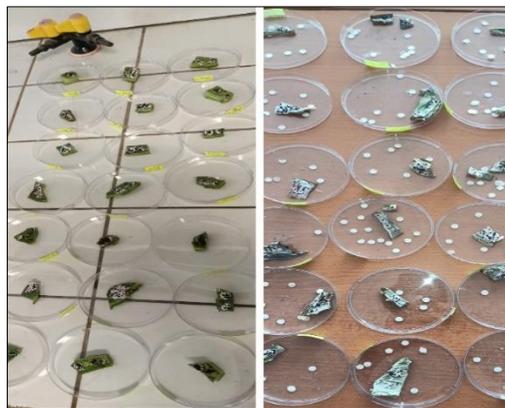


Figure 34 : Traitement par l'huile essentielle par la méthode de contact et la méthode d'inhalation (Original , 2024)

6.2. Hydrolat

Nous avons mené la lutte contre la cochenille en utilisant l'hydrolat de *Thymus ciliatus* par contact. Nous avons réalisé trois essais, chacun contenant cinq doses d'hydrolat de *Thymus ciliatus* (10 μ l, 20 μ l, 30 μ l, 40 μ l et 50 μ l).

Nous avons préparé des boîtes de Pétri et placé dix individus adultes de la cochenille dans chaque boîte. Ensuite, nous avons appliqué directement l'hydrolat sur chaque insecte. Nous avons surveillé ce processus pendant 120 heures.

Pour le test témoin nous avons mis dans les boîtes de Pétri dix individus adultes de la cochenille et on n'a appliqué aucun traitement, avec trois répétitions.



Figure 35 : Traitement par l'hydrolat (Original , 2024)

6.3. Poudre

La lutte contre la cochenille a été réalisée en utilisant de la poudre de *Thymus ciliatus*. Trois essais ont été effectués, chacun avec cinq quantités de poudre de *Thymus ciliatus* (2 g, 4 g, 6 g, 8 g et 10 g). Nous avons préparé des boîtes de Pétri et y avons placé dix individus adultes de la cochenille dans chaque boîte. Ensuite, les insectes ont été exposés à la poudre. Ce processus a été surveillé pendant 120 heures. Nous avons également préparé trois boîtes témoins pour comparer l'efficacité de cette méthode avec d'autre méthode de lutte contre la cochenille.



Figure 36: Traitement par la poudre (Original , 2024)

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

Nous avons concentré notre étude sur la lutte biologique contre le ravageur de l'*Opuntia ficus indica*, le *Dactylopus opuntiae*. Pour ce faire, nous avons évalué et comparé l'efficacité de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus*, de son hydrolat et de sa poudre végétale. Notre objectif principal était d'estimer leur efficacité dans la lutte contre ce ravageur en les comparant entre eux, à travers des tests en laboratoire et sur le terrain. Les résultats obtenus fournissent des informations précieuses sur l'utilisation potentielle de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus*, de son hydrolat et de sa poudre végétale comme moyens de lutte biologique contre le *Dactylopus opuntiae*. Ces conclusions enrichissent la compréhension des options de lutte disponibles pour les agriculteurs et les spécialistes en agriculture, ouvrant la voie à de nouvelles approches durables pour la gestion de ce ravageur dans les cultures d'*Opuntia ficus indica*.

1. Etude phytochimique

Dans cette partie de notre étude phytochimique, nous avons examiné l'huile essentielle de *Thymus ciliatus*, extraite des feuilles, tiges et fleurs de la plante. Renommée pour ses multiples propriétés bénéfiques, notamment ses effets antimicrobiens, antifongiques et insecticides, cette huile offre des perspectives intéressantes dans la gestion du *Dactylopus opuntiae*, ravageur de l'*Opuntia ficus indica*. Notre objectif était de trouver des moyens de repousser, de réduire et de contrôler son infestation, offrant ainsi une solution écologique pour la protection des cultures. De plus, nous avons calculé le rendement en huile essentielle de *Thymus ciliatus*, tout en mettant en évidence ses caractéristiques spécifiques.

1.1 Caractéristiques de l'huile essentielle

Tableau 7 : Caractéristiques De L'huile Essentielle de *Thymus ciliatus*.

Espèces	Couleur	Aspect	Odeur
<i>Tymus ciliatus</i>	jaune	liquide visqueux	bonne odeur, agréable, forte , fraîche et balsamique.

1.2. Rendement de l'huile essentielle

Les données sur le rendement en huile essentielle obtenues via l'hydrodistillation de matière végétale séchée sont affichées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8: Rendement en huile essentielle de la plante sèche

Essai	Masse végétale (g)	Masse d'huile (g)	Rendement (%)
1	150	1.02	0.68%

Les données sur le rendement en huile essentielle obtenues via l'hydrodistillation de matière végétale fraîche sont affichées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9: Rendement en huile essentielle de la plante fraîche.

Essai	Masse végétale (g)	Masse d'huile (g)	Rendement (%)
1	265	1.07	0.40%
2	250	1.15	0.46%

D'après l'étude menée par **Amarti et al., en 2010** sur les *Thymus marocains*, les rendements moyens en huiles essentielles ont été calculés en fonction de la matière végétale sèche de la partie aérienne de la plante.

Les échantillons de *Thymus ciliatus* ont fourni un taux d'environ 1,2 % \pm 0,05 de rendement en huiles essentielles. Cette mesure a été obtenue après trois distillations successives, chacune réalisée en faisant bouillir 200 g de matériel végétal pendant 1h30.

D'après les résultats de **Bousmaha-Marroki et al., (2007)**, les rendements en huiles essentielles obtenus à partir de *Thymus ciliatus ssp. eu-ciliatus* récoltés dans différentes régions de Tlemcen varient entre 3,0% et 5,1% (P/P).

Kholkhal a observé en **2014** que les rendements en huiles essentielles varient en fonction du stade de collecte de la plante. Des différences significatives ont été notées, avec des teneurs en huiles essentielles de l'ordre de 2% (P/P) avant la floraison, 3,40% (P/P) en pleine floraison, et de 1,50% à 1,72% (P/P) en post-floraison.

2. Activité insecticide de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* sur *Dactylopus opuntiae*

Les informations scientifiques sur le potentiel de *Thymus ciliatus* en tant qu'agent antimicrobien sont rares, et encore plus rares sont celles concernant ses activités antioxydantes et antiprolifératives par rapport aux autres espèces de thym. Cette constatation souligne le besoin d'études supplémentaires pour explorer et comprendre pleinement les propriétés pharmacologiques et thérapeutiques de *Thymus ciliatus*, notamment ses éventuelles capacités antimicrobiennes, antioxydantes et antiprolifératives (**Bousmaha-Marroki et al., 2007**).

2.1. Calcul des taux de mortalité et les moyens de mortalité de *Dactylopus opuntiae*

2.1.1. par contact

Les informations ci-dessous fournissent des données concernant les effets toxiques de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* sur *Dactylopus opuntiae* par contact, présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 10: Activité insecticide de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* par contact

Essais	Concentrations	Nombre d'individus décédés				Taux de mortalité %			
		6h	12h	24h	48h	6h	12h	24h	48h
1	5ul	5	6	9	10	50%	60%	90%	100%
	7ul	2	4	7	10	20%	40%	70%	100%
	10ul	3	4	8	10	30%	40%	80%	100%
	13ul	4	6	7	10	40%	60%	70%	100%
	15ul	5	9	10	10	50%	90%	100%	100%
	20ul	7	10	10	10	70%	100%	100%	100%
	25ul	5	8	10	10	50%	80%	100%	100%
	30ul	8	10	10	10	80%	100%	100%	100%

2	5ul	6	6	9	10	60%	60%	90%	100%
	7ul	7	7	9	10	70%	70%	90%	100%
	10ul	3	6	8	10	30%	60%	80%	100%
	13ul	4	6	8	10	40%	60%	80%	100%
	15ul	5	8	10	10	50%	80%	100%	100%
	20ul	6	10	10	10	60%	100%	100%	100%
	25ul	7	10	10	10	70%	100%	100%	100%
	30ul	7	10	10	10	70%	100%	100%	100%

3	5ul	2	4	5	10	20%	40%	50%	100%
	7ul	2	6	8	10	20%	60%	80%	100%
	10ul	5	6	9	10	50%	60%	90%	100%
	13ul	5	8	10	10	50%	80%	100%	100%
	15ul	3	5	8	10	30%	50%	80%	100%
	20ul	5	6	8	10	50%	60%	80%	100%
	25ul	7	6	10	10	70%	60%	100%	100%
	30ul	8	9	10	10	80%	90%	100%	100%

Tableau 11: La moyenne de mortalité par l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* par contact

Essais	Concentrations	Nombre d'individus décédés				Taux de mortalité %			
		6h	12h	24h	48h	6h	12h	24h	48h
	5ul	4,33	5,33	7,66	10	43%	53%	77%	100%
	7ul	3,66	5,66	8	10	37%	57%	80%	100%
la moyenne de 3 essais	10ul	3,66	5,33	8,33	10	37%	53%	83%	100%
	13ul	4,33	6,66	8,333	10	43%	67%	83%	100%
	15ul	4,33	7,33	9,33	10	43%	73%	93%	100%
	20ul	6	8,66	9,33	10	60%	87%	93%	100%
	25ul	6,33	8	10	10	63%	80%	100%	100%
	30ul	7,66	9,66	10	10	77%	97%	100%	100%

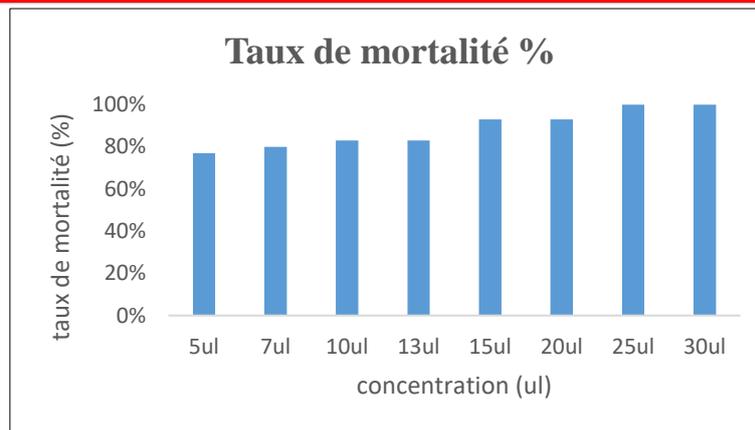


Figure 37: Diagramme de l'activité insecticide de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* par contact après 24h.

Interprétation

L'étude démontre l'efficacité de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* comme insecticide de contact. Les taux de mortalité des insectes varient en fonction de la concentration et de la durée d'exposition. À 5 μ l, la mortalité passe de 43% après 6 heures à 100% après 48 heures. À 7 μ l, la mortalité va de 37% après 6 heures à 100% après 48 heures. À 10 μ l, la mortalité augmente de 37% après 6 heures à 100% après 48 heures. Pour 13 μ l, la mortalité progresse de 43% après 6 heures à 100% après 48 heures. À 15 μ l, elle monte de 43% après 6 heures à 100% après 48 heures. À 20 μ l, la mortalité va de 60% après 6 heures à 100% après 48 heures. À 25 μ l, elle passe de 63% après 6 heures à 100% après 24 heures et reste stable. À 30 μ l, la mortalité commence à 77% après 6 heures et atteint 100% après 24 heures. Ces résultats montrent que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* est très efficace, atteignant 100% de mortalité en 24 heures ou moins à partir de 15 μ l, ce qui en fait une alternative potentiellement moins nocive aux insecticides chimiques pour l'environnement et la santé humaine.

2.1.2 Par inhalation

Les informations ci-dessous fournissent des données concernant les effets toxiques de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* sur *Dactylopus opuntiaepar* par inhalation, présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 12: Activité insecticide de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* par inhalation

Essais	Concentrations	Nombre d'individus décédés							Taux de mortalité %						
		6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H	6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H
1	5ul	0	1	3	8	8	9	9	0%	10%	30%	80%	80%	90%	90%
	7ul	0	4	6	6	7	7	7	0%	40%	60%	60%	70%	70%	70%
	10ul	1	3	6	8	9	9	9	10%	30%	60%	80%	90%	90%	90%
	13ul	1	4	10	10	10	10	10	10%	40%	100%	100%	100%	100%	100%
	15ul	0	1	6	7	9	9	9	0%	10%	60%	70%	90%	90%	90%
	20ul	3	6	10	10	10	10	10	30%	60%	100%	100%	100%	100%	100%
	25ul	5	10	10	10	10	10	10	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	30ul	3	5	10	10	10	10	10	30%	50%	100%	100%	100%	100%	100%

2	5ul	2	5	6	6	6	6	6	20%	50%	60%	60%	60%	60%	60%
	7ul	0	2	6	7	10	10	10	0%	20%	60%	70%	100%	100%	100%
	10ul	1	5	10	10	10	10	10	10%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
	13ul	1	7	8	8	8	8	8	10%	70%	80%	80%	80%	80%	80%
	15ul	2	8	10	10	10	10	10	20%	80%	100%	100%	100%	100%	100%
	20ul	1	6	7	7	9	9	9	10%	60%	70%	70%	90%	90%	90%
	25ul	2	5	10	10	10	10	10	20%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
	30ul	2	4	7	10	10	10	10	20%	40%	70%	100%	100%	100%	100%

3	5ul	0	4	8	8	9	9	9	0%	40%	80%	80%	90%	90%	90%
	7ul	1	2	4	5	9	9	9	10%	20%	40%	50%	90%	90%	90%
	10ul	1	1	5	7	7	7	7	10%	10%	50%	70%	70%	70%	70%
	13ul	3	3	7	10	10	10	10	30%	30%	70%	100%	100%	100%	100%
	15ul	2	5	6	6	8	10	10	20%	50%	60%	60%	80%	100%	100%
	20ul	3	4	7	10	10	10	10	30%	40%	70%	100%	100%	100%	100%
	25ul	2	3	4	4	7	10	10	20%	30%	40%	40%	70%	100%	100%
	30ul	0	5	6	10	10	10	10	0%	50%	60%	100%	100%	100%	100%

Tableau 13 : La moyemes de mortalité par l’huile essentielle de *Thymus ciliatus* par inhalation

Essais	Concen trations	Nombre d’individus décédés							Taux de mortalité %						
		6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H	6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H
la moyenne des 3 essais	5ul	0,66	3,33	5,66	7,33	7,66	8	8	7%	33 %	57%	73%	77%	80%	80%
	7ul	0,33	2,66	5,33	6	8,66	8,66	8,66	3%	27 %	53%	60%	87%	87%	87%
	10ul	1	3	7	8,33	8,66	8,66	8,66	10%	30 %	70%	83%	87%	87%	87%
	13ul	1,66	4,66	8,33	9,33	9,33	9,33	9,33	17%	47 %	83%	93%	93%	93%	93%
	15ul	1,33	4,66	7,33	7,66	9	9,66	9,66	13%	47 %	73%	77%	90%	97%	97%
	20ul	2,33	5,33	8	9	9,66	9,66	9,66	23%	53 %	80%	90%	97%	97%	97%
	25ul	3	6	8	8	9	10	10	30%	60 %	80%	80%	90%	100%	100 %
	30ul	1,66	4,66	7,66	10	10	10	10	17%	47 %	77%	100 %	100 %	100%	100 %

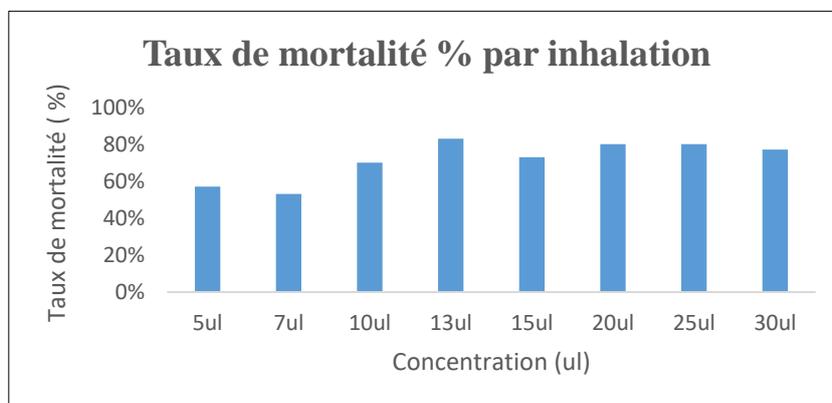


Figure 38: Diagramme de l’activité insecticide de l’huile essentielle de *Thymus ciliatus* par inhalation après 24h.

Interprétation

L’étude examine l’effet de différentes concentrations d’huile essentielle de *Thymus ciliatus* sur la mortalité des individus par inhalation sur une période de 120 heures. Les concentrations testées vont de 5 µL à 30 µL, avec des relevés de mortalité à plusieurs intervalles de temps : 6, 12, 24, 48, 72, 96, et 120 heures. Les résultats montrent une augmentation progressive du taux de mortalité avec le temps et la concentration. À la plus faible concentration (5 µL), la mortalité atteint 80 % après 96 heures. À 7 µL et 10 µL, la mortalité atteint 87 % après 72 heures. Les concentrations de 13 µL et 15 µL montrent une mortalité de 93 % et 97 % respectivement après 96 heures. Les concentrations plus élevées, 20 µL et 25 µL, atteignent une mortalité de 97 % et 100 % respectivement après 96 heures. Enfin, la concentration la plus élevée (30 µL) atteint une mortalité de 100 % après seulement 48 heures.

Ainsi, l’augmentation de la concentration de l’huile essentielle de *Thymus ciliatus* accélère et augmente le taux de mortalité des individus testés.

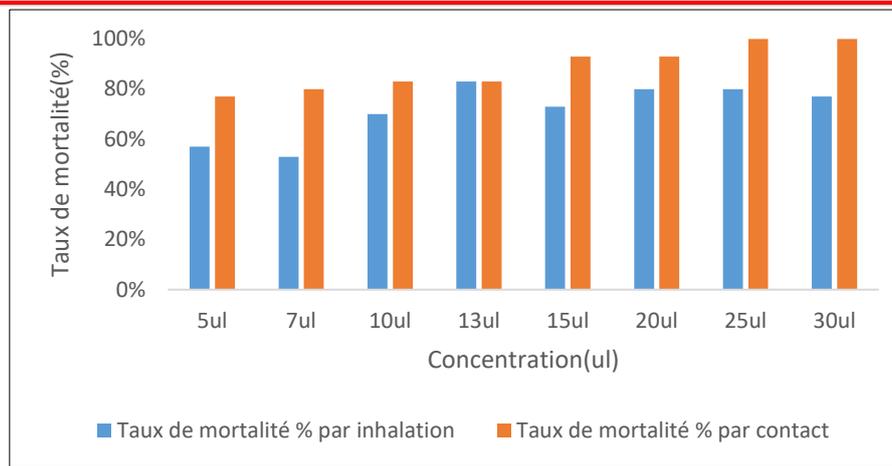


Figure 39: Comparaison de l'effet insecticide de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* dans la lutte contre *Dactylopus opuntiaepar* par contact et par inhalation après 24h

L'étude compare l'efficacité de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* contre *Dactylopus opuntiaepar* par contact et par inhalation. Les taux de mortalité par inhalation varient de 53% à 83% pour des concentrations de 5 à 30 μ l, indiquant une efficacité limitée. En revanche, les taux de mortalité par contact sont nettement plus élevés, allant de 77% à 100% à des concentrations similaires, avec une efficacité maximale atteinte à 25 μ l. Cela montre que l'application directe de l'huile essentielle est plus efficace que la diffusion dans l'air pour tuer ces insectes.

2.2. Estimation de dose létale

Nous avons mené des expériences pour déterminer les concentrations létales de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* appliquée par contact sur *Dactylopus opuntiaepar* en utilisant le logiciel SPSS pour les calculs. Les résultats indiquent les niveaux de concentration nécessaires pour provoquer la mortalité des insectes, essentiels pour déterminer la quantité optimale d'huile essentielle à utiliser contre les cochenilles. Un tableau présente les doses létales de 10 à 100, montrant les pourcentages de mortalité correspondant à différentes concentrations.

Tableau 14: Valeurs estimées des concentrations létales pour *Dactylopus opuntiaede Thymus ciliatus*.

Probabilité	Estimation
10	0.514
20	0.887
30	1.315
40	1.840
50	2.520
60	3.450
70	4.828
80	7.154
90	12.344
99	45.089

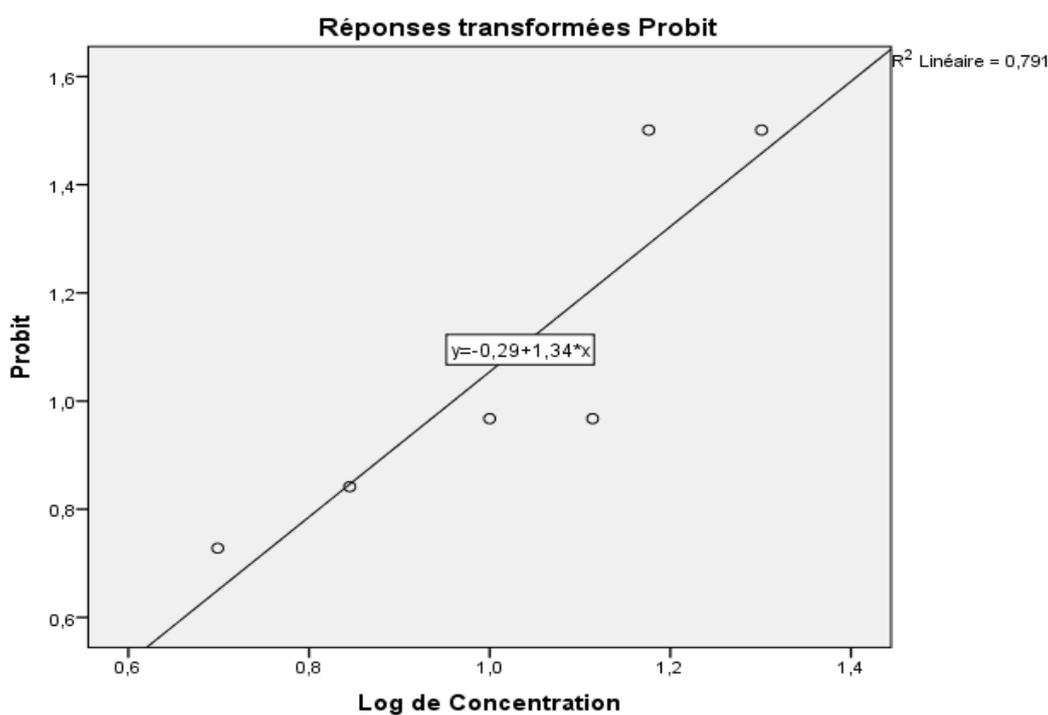


Figure 40: Courbes des points des Log des doses (Logiciel SPSS)

Les résultats du tableau confirment l'efficacité de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* contre le ravageur *Dactylopus opuntiaeen* termes de toxicité. La concentration létale a50% (DL50) de l'huile essentielle a été déterminée à 2.520 µl, tandis que la concentration létale à 90 % (DL90) était de 12.344 µl.

2.3. Discussion

Lors du traitement de *Dactylopus opuntiae*, il a été observé que l'huile de *Thymus ciliatus* est efficace en tant que traitement par contact et par inhalation. Cependant, l'application directe de l'huile sur le ravageur s'est avérée plus efficace et plus toxique que l'inhalation.

Cette observation souligne que les propriétés biocides de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* sont optimisées lorsqu'elles sont en contact direct avec le ravageur. Les composés actifs de l'huile agissent rapidement en contact direct, provoquant une toxicité élevée, ce qui peut entraîner une réduction significative de la population de *Dactylopus opuntiae*.

La concentration létale (DL50) de 2.520 µl confirme la grande toxicité de cette huile essentielle contre le ravageur. Ces résultats démontrent que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* possède des propriétés biocides remarquables et constitue une solution efficace pour lutter contre *Dactylopus opuntiae*.

3. Activité insecticide d'Hydrolat de *Thymus ciliatus* sur *Dactylopus opuntiae*

Les informations ci-dessous fournissent des données concernant les effets toxiques d'Hydrolat de *Thymus ciliatus* sur *Dactylopus opuntiae*, présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 15: Activité insecticide d'Hydrolat de *Thymus ciliatus*

Essais	Concentrations	Nombre d'individus décédés							Taux de mortalité %						
		6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H	6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H
1	10ul	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	20ul	0	0	0	1	1	1	1	0%	0%	0%	10%	10%	10%	10%
	30ul	0	0	0	0	0	0	1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%
	40ul	0	0	0	0	1	1	2	0%	0%	0%	0%	10%	10%	20%
	50ul	0	0	1	4	4	4	4	0%	0%	10%	40%	40%	40%	40%
2	10ul	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	20ul	0	0	0	1	1	1	1	0%	0%	0%	10%	10%	10%	10%
	30ul	0	0	0	0	0	0	1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%
	40ul	0	0	0	0	1	1	1	0%	0%	0%	0%	10%	10%	10%
	50ul	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	10ul	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	20ul	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	30ul	0	0	0	0	0	0	1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%
	40ul	0	0	0	1	1	1	1	0%	0%	0%	10%	10%	10%	10%
	50ul	0	0	0	3	3	4	5	0%	0%	0%	30%	30%	40%	50%

Tableau 16: La moyenes de mortalité par d’Hydrolat de *Thymus ciliatus*.

Essais	concentration	Nombre d’individus décédés							Taux de mortalité %						
		6 h	12 h	24 h	48 h	72 H	96 H	12 0H	6h	12 h	24h	48h	72H	96H	120H
La moyenne des 3 essais	10ul	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	20ul	0	0	0	0,66	0,66	0,66	0,66	0%	0%	0%	7%	7%	7%	7%
	30ul	0	0	0	0	0	0	1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%
	40ul	0	0	0	0,33	1	1	1,33	0%	0%	0%	3%	10%	10%	13%
	50ul	0	0	0,33	2,33	2,33	2,66	3	0%	0%	3%	23%	23%	27%	30%

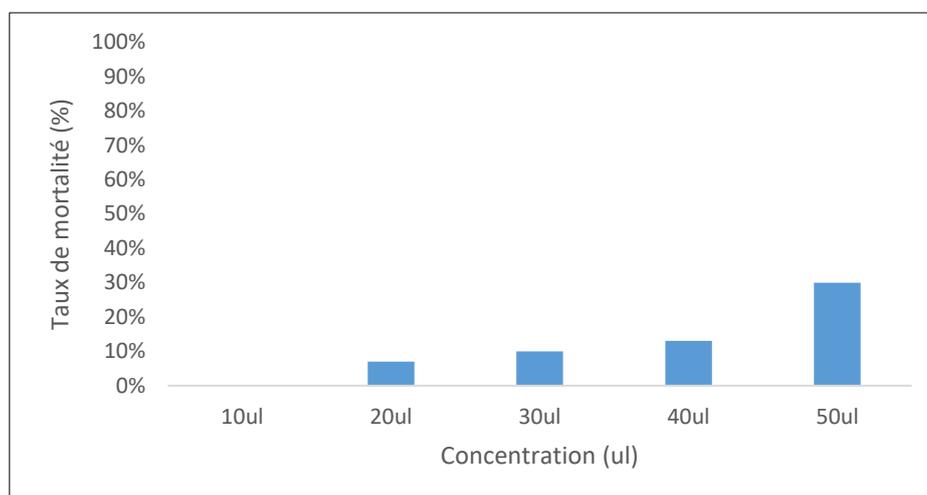


Figure 41: Diagramme de l’activité insecticide d’Hydrolat de *Thymus ciliatus* après 120h.

Les résultats obtenus pour l'hydrolat à différentes doses (10 µl, 20 µl, 30 µl, 40 µl et 50 µl) montrent que le taux de mortalité de *Dactylopus opuntiae* reste faible, variant entre 0 % et 30 % après 120 heures d'observation. De plus, les larves des stades 1 et 2 ne meurent pas et continuent de se déplacer normalement tout au long de l'expérience. Ces observations indiquent que l'hydrolat n'est pas aussi efficace que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* pour éliminer ce ravageur. Malgré l'application de différentes doses, le taux de mortalité reste relativement bas, suggérant que les composés présents dans l'hydrolat ont une toxicité limitée contre *Dactylopus opuntiae*

4. Activité insecticide de la poudre végétale de *Thymus ciliatus* sur *Dactylopus opuntiae*

Tableau 17: Activité insecticide de la poudre de *Thymus ciliatus*

Essais	Concentrations	Nombre d’individus décédés	Taux de mortalité %
--------	----------------	----------------------------	---------------------

	Masse	Nombre d'individus décédés							Taux de mortalité %						
		6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H	6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H
1	2g	0	0	0	5	7	7	10	0%	0%	0%	50%	70%	70%	100%
	4g	0	0	0	3	5	10	10	0%	0%	0%	30%	50%	100%	100%
	6g	0	0	0	4	7	9	10	0%	0%	0%	40%	70%	90%	100%
	8g	0	0	0	3	8	10	10	0%	0%	0%	30%	80%	100%	100%
	10g	0	1	3	5	7	10	10	0%	10%	30%	50%	70%	100%	100%

2	2g	0	0	1	2	4	4	10	0%	0%	10%	20%	40%	40%	100%
	4g	0	0	0	2	4	8	10	0%	0%	0%	20%	40%	80%	100%
	6g	0	0	0	1	4	9	10	0%	0%	0%	10%	40%	90%	100%
	8g	0	0	0	6	10	10	10	0%	0%	0%	60%	100%	100%	100%
	10g	0	0	0	2	6	10	10	0%	0%	0%	20%	60%	100%	100%

3	2g	0	0	2	3	4	7	10	0%	0%	20%	30%	40%	70%	100%
	4g	0	0	0	4	5	8	10	0%	0%	0%	40%	50%	80%	100%
	6g	0	0	0	3	4	9	10	0%	0%	0%	30%	40%	90%	100%
	8g	0	0	0	2	4	10	10	0%	0%	0%	20%	40%	100%	100%
	10g	0	0	1	4	7	10	10	0%	0%	10%	40%	70%	100%	100%

Tableau 18: La moyenes de mortalité par la poudre de *Thymus ciliatus*

Essais	Masse	Nombre d'individus décédés							Taux de mortalité %						
		6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H	6h	12h	24h	48h	72H	96H	120H
La moyenne des 3 essais	2g	0	0	1	3,33	5	6	10	0%	0%	10%	33%	50%	60%	100%
	4g	0	0	0	3	4,66	8,66	10	0%	0%	0%	30%	47%	87%	100%
	6g	0	0	0	2,66	5	9	10	0%	0%	0%	27%	50%	90%	100%
	8g	0	0	0	3,66	7,33	10	10	0%	0%	0%	37%	73%	100%	100%
	10g	0	0,33	1,33	3,66	6,66	10	10	0%	3%	13%	37%	67%	100%	100%

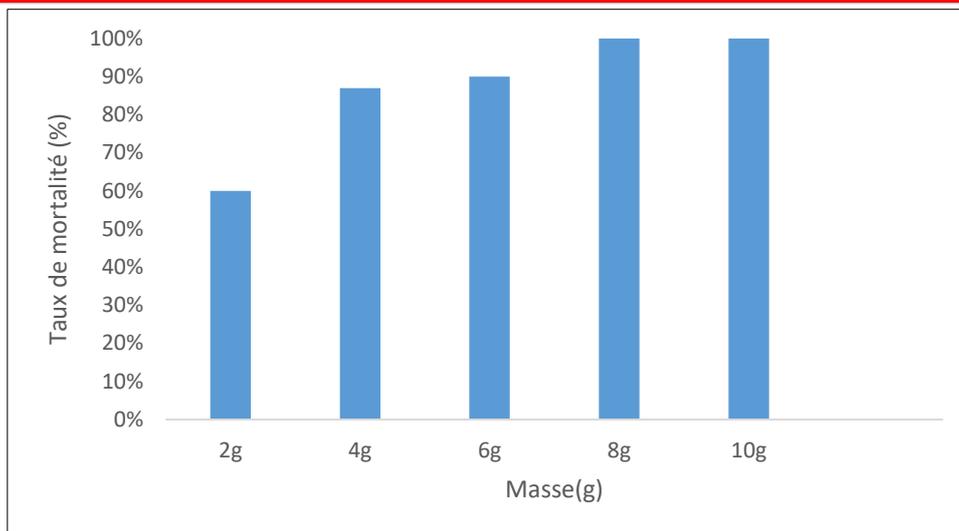


Figure 42: Diagramme de l'activité insecticide de la poudre de *Thymus ciliatus* après 96h.

L'utilisation de la poudre a entraîné une mortalité de 100 % de *Dactylopus opuntiae* après 120 heures pour toutes les doses appliquées (2 g, 4 g, 6 g, 8 g, et 10 g). Ces résultats montrent que la poudre est extrêmement efficace pour réduire la population de *Dactylopus opuntiae*, bien plus que l'hydrolat ou son inhalation. Les composés actifs présents dans la poudre possèdent une activité biocide significative, causant des dommages ou perturbant les fonctions vitales des ravageurs, entraînant leur mortalité complète.

5. Discussion

L'étude montre que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* est très efficace contre *Dactylopus opuntiae* par contact direct, atteignant des taux de mortalité de 100 % en 48 heures à des concentrations de 5 à 30 μ l. Par inhalation, l'efficacité est moindre mais augmente avec la concentration, atteignant 100 % à 30 μ l après 48 heures. L'hydrolat est beaucoup moins efficace, avec des taux de mortalité entre 0 % et 30 % après 120 heures et sans effet sur les larves. En revanche, la poudre de *Thymus ciliatus* est extrêmement efficace, entraînant une mortalité de 100 % après 120 heures pour toutes les doses testées (2 g à 10 g). En conclusion, l'huile essentielle par contact et la poudre sont les méthodes les plus efficaces pour contrôler *Dactylopus opuntiae*, tandis que l'hydrolat est moins performant.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Droueche (2023)**, qui a étudié l'huile essentielle d'Eucalyptus pour combattre *Dactylopus*. Les résultats qu'il a obtenus par contact montrent qu'une concentration de 15 microlitres a entraîné un taux de mortalité de 100% chez *Dactylopus opuntiae* après 12 heures. Par inhalation, les doses de 5 microlitres, 10 microlitres et 15 microlitres n'ont pas entraîné de taux de mortalité significatifs, atteignant seulement 20% après 72 heures de surveillance.

En outre, nos résultats sont comparables à ceux de **Seddiki (2023)**, qui a étudié l'huile essentielle de *Laurus nobilis* comme moyen de contrôle de *Dactylopius*. Les résultats qu'il a obtenus par contact montrent qu'une concentration de 20 microlitres a entraîné une mortalité de 100% après 24 heures. Par inhalation, à une concentration de 30 microlitres, le taux de mortalité de *Dactylopius opuntiae* variait entre 10% et 20% après une période de surveillance de 48 heures.

Conclusion

Conclusion

Notre étude a été réalisée dans la région de Hennaya (Tlemcen) caractérisée par un climat où les hivers sont pluvieux et les étés chauds et secs. Ce climat est classé comme aride avec un hiver tempéré.

L'étude révèle que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* est très efficace contre *Dactylopus opuntiae* lorsqu'elle est appliquée par contact direct, atteignant des taux de mortalité de 100 % en 48 heures à des concentrations variant de 5 à 30 µl. Par inhalation, son efficacité est moindre, mais elle augmente avec la concentration pour atteindre 100 % à 30 µl après 48 heures. En revanche, l'hydrolat est beaucoup moins efficace, avec des taux de mortalité variant entre 0 % et 50 % après 120 heures, et n'a aucun effet sur les larves. En comparaison, la poudre de *Thymus ciliatus* est extrêmement efficace, entraînant une mortalité de 100 % après 120 heures pour toutes les doses testées (de 2 g à 10 g).

Lors du traitement de *Dactylopus opuntiae*, il a été observé que l'huile de *Thymus ciliatus* est efficace en tant que traitement par contact et par inhalation. Cependant, l'application directe de l'huile s'est avérée plus efficace et plus toxique que l'inhalation. Cette observation souligne que les propriétés biocides de l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* sont optimisées lorsqu'elles sont en contact direct avec le ravageur. Les composés actifs de l'huile agissent rapidement en contact direct, provoquant une toxicité élevée, ce qui peut entraîner une réduction significative de la population de *Dactylopus opuntiae*.

La concentration létale (DL50) de 2.250 µl confirme la grande toxicité de cette huile essentielle contre le ravageur. Ces résultats démontrent que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus* possède des propriétés biocides remarquables et constitue une solution efficace pour lutter contre *Dactylopus opuntiae*.

En conclusion, l'huile essentielle, le contact et la poudre de *Thymus ciliatus* sont les méthodes les plus efficaces pour contrôler *Dactylopus opuntiae*, tandis que l'hydrolat est moins performant. Ces solutions naturelles pourraient offrir une alternative moins nocive aux insecticides chimiques, contribuant ainsi à une gestion plus durable et respectueuse de l'environnement.

Références bibliographique

1. **Alcaraz, C., 1991**- Contribution à l'étude des groupements à *Quercus ilex* sur terra rossa des Monts de Tessala (Ouest Algérien). *Ecologie Mediterranea*. Tome IX. Fasc. 2. pp : 1- 180.
2. **Amarti F., Satrani B., Ghanmi M., Farah A., Aafi A., Aarab L. & Chaouch A., 2010** - Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* (Boiss. & Reut). et *Thymus ciliatus* (Desf.) Benth. du Maroc. *BASE*. **14(1)**. pp : 141-148.
3. **Ammar, M.I., Shltout, A.M. & Kamhaway, M.A., 2004** - Cladode and fruits rots of prickly pear (*Opuntia ficus indica* L. Mill.) in Egypt. *Egypt. J. Phytopathol.* **32**. pp: 119–128.
4. **Anderson EF., 1996**-Peyote: The divine cactus. Tucson: University of Arizona Press.
5. **Anderson EF., 2001**-The cactus family. Portland, OR, USA : Timber Press
6. **Anon., 2006**-Field botany at Williams College. Ed. Williams College. USA
7. **Antonio P. L. J., 2014** - Partenogénese en *Dactylopus opuntiae*(Cockerell, 1896) (Hemiptera: Dactylopiidae).
8. **Arba M., 2017** - Effets de la fertilisation NP et de l'irrigation à des périodes critiques sur le rendement et la qualité des fruits du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.).
9. **Badii, M. H., & Flores, A. E., 2001**- Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist*, pp : 503-505
10. **Bagnouls F & Gaussen H., 1957**- Les climats biologiques et leur classification. In *Annales de géographie*, **66(355)**. pp : 193-220 Armand Colin
11. **Barbera, G., Carimi, F. & Inglese, P., 1992a**- Past and present role of the Indian–fig prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Econ. Bot.*, **46**, pp : 10–22.
12. **Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. & Panno, M., 1992b**- Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *J. Hortic. Sci.*, **67(3)**, pp : 307–312
13. **Barthlott, W., Burstedde, K., Geffert, J.L., Ibisch, P.L., Korotkova, N., Miebach, A., Rafiqpoor, M.D., Stein, A. & Mutke, J., 2015**-Biogeography and biodiversity of cacti. *Schumannia*, **7**, pp: 1–205
14. **Benabid A., 2000**- Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité. Ibis press, Paris, 259 p
15. **Benjilali B., Hammouni M. & Richard H., 1987**- Chemical polymorphism of Moroccan thyme
16. **Benjilali B., Hammouni M. & Richard H., 1987b** - Chemical polymorphism of Moroccan thyme essential oils: compounds characterization. *Sci. Aliments*. **7**. pp : 77-91
17. **Benson L., 1982** - The cacti of the United States and Canada. Stanford, California, USA, Stanford University Press.

18. **Bouatay F. & Mhenni F., 2014** - Use of the cactus cladodes mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) as an eco-friendly flocculants: process development and optimization using stastical analysis. *International Journal of Environmental Research*, **8(4)**. pp : 1295-1308.
19. **Bousmaha L., Atik Bekkara F., Tomi F. & Casanova J., 2007** - Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Thymus ciliatus* (Desf.) Benth. ssp. *eu-ciliatus* Maire from Algeria. *J. Essent. Oil Res.* **19(5)**. pp : 490-493.
20. **Burt S., 2004** - Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. A review: *International Journal of Food Microbiology*, **94(3)**. pp : 223-253.
21. **Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A.M., Kohen, R. & Livrea, M.A., 2002**- Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indica-xanthin. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, pp: 6895–6901.
22. **C.P.C.S., 1967**-Classification des sols. Laboratoire des Ggolo gie-Pédologie ENSA Grignon.
23. **Casas.A Barbera.G., 2002** - Mesoamerican domestication and diffusion P.S. Nobel (Eds) *Cacti: Biology and Uses* University of California Press Los Angeles, CA. pp :143–162
24. **Castellar R, Obón JM, Alacid M, Fernández-López JA., 2003**- Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *J. Agric. Food Chem.* **51**, pp : 2772-2776
25. **Catty, S., 2001**- Hydrosols : the next aromatherapy. Inner Traditions/Bear & Co.
26. **Chávez-Moreno C. K., Tecante A. & Casas A., 2009** -The *Opuntia* (Cactaceae) and *Dactylopusis* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. *Biodiversity and Conservation*. **18(13)**. 3337p.
27. **Chávez-Moreno C. K., Tecante A., Fragoso-Serrano M. & Pereda-Miranda R., 2010** - Metabolic profiling of *Dactylopusis* (Hemiptera: Dactylopiidae) species pigments by geographical origin and hosts using multivariate data analysis. *Biochemical Systematics and Ecology*, **38(4)**. pp : 671-679.
28. **Chessa, I. & Nieddu, G., 1997**-Descriptors for Cactus pear (*Opuntia* spp.). *Cactusnet Newsletter*, [Special issue]: 39
29. **Ciriminna R., Bongiorno D., Scurria A., Danzi C., Timpanaro G., Delisi R. & Pagliaro M., 2017**- Sicilian *Opuntia ficus-indica* seed oil: Fatty acid composition and bio-economical aspects. *European Journal of Lipid Science and Technology*, **119(11)**. pp : 1700232.
30. **Claps, L.E. & de Haro, M.E., 2001**-Coccoidea (Insecta: Hemiptera) associated with Cactaceae in Argentina. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.*, **4**, pp: 77–83
31. **Cobix Herrera J. C., 2023** - Evaluation de aceites vegetales naturales para el control poblacional de cochinilla silvestre del nopal *Dactylopusis opuntia* en laboratorio.

- 32. Cofepris., 2013** - Catalogo de Plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. CICOPLAFEST. **2004**. 483p. En: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>
- 33. Damerdji A. & kassemi N., 2014** - contribution à l'étude bio-écologique de la faune du thym dans la région de Tlemcen (Algérie). *Revue. Ivoir. Technol*, **24**. pp : 172-195.
- 34. De Lotto G., 1974** - On the status and identity of the cochineal insects (Homoptera: Coccoidea: Dactylopiidae). *J. Entom. Soc. Southern Africa*. **37(1)**. pp : 167-193.
- 35. de Wit, M., Hugo, A., Shongwe, N., van der Merwe, R., 2016**-Effect of cultivar, season and locality on lipid content and fatty acid composition of cactus pear seed oil. *S. Afr. J. Plant Soil* , **33**,pp: 279–288.
- 36. Delgadillo V. I., Gonzales M. A. & Rivera Y. R., 2008** - Manejo fitosanitario del nopal verdura en Milpa Alta, Distrito Federal. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal (CESAVEDF). 63 p.
- 37. Dodd A.P., 1940** - The biological campaign against prickly pear. *Commonwealth Prickly Pear Board Bulletin*. Brisbane, Australia, Government Printer. 177 p.
- 38. Drouche M., 2023**- etude de la bioecologie d'opuntiae ficus-indica L dans la région de Tlemcen et éssais de l'huike essentiel D'Eucllyptus glubulus dans litte contre Datylopuis puntiae, son principal ravageur, mémoire, 59p
- 39. Eisner T., Nowicki S., Goetz M. & Meinwald J., 1980** - Red cochineal dye (Carminic acid): Its role in nature. *Science*. **208**. pp : 1039-1042.
- 40. El Bouhissi M., Ghefar M., Sadine S. E. & Gachi M., 2022** - Note sur la présence de *Dactylopius opuntiae*(Cockerell, 1896) sur le figuier de Barbarie en Algérie (Hemiptera: Dactylopiidae). *Annales de la Recherche Forestière en Algérie*, **12(1)**. pp : 1-6.
- 41. El Finti, A., Belayadi, M., Boullania, R.E., Msanda, F., Serghini, M.A. & Mousadik, A.E., 2013**- Genetic structure of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in Moroccan collection. *Asian J. Plant Sci.*, **12**, pp: 145–148
- 42. El-Mostafa K., El Kharrassi Y., Badreddine A., Andreoletti P., Vamecq J., El Kebbaj M. H. S. & Cherkaoui-Malki M., 2014** - Nopal cactus (*Opuntia ficus indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, **19(9)**. pp : 14879-14901.
- 43. El-Samahy SK, Abd El-Hady EA, Habiba RA, Moussa TE.,2006**- Chemical and rheological characteristics of orange-yellow cactus pear pulp from Egypt. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* **8**, pp: :39-51.

- 44. Emberger L., 1930** - La végétation de la Région Méditerranéenne: Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Générale Bot*, **42**, pp : 642–662.
- essential oils: compounds characterization. *Sci. Aliments*, **7**, pp: 77-91.
- 45. Faedda, R., Granata, G., Pane, A., Cacciola, S.O., D'Aquino, S., Palma, A., Sanzani, S.M. & Schena, L., 2015b**- Postharvest fungal diseases of cactus pear fruits in southern Italy. *Acta Hort.*, **1067**, pp : 193–197
- 46. Faedda, R., Pane, A., Cacciola, S.O., Granata, G., Salafia, L. & Sinatra, F., 2015a**- *Penicillium polonicum* causing a postharvest soft rot of cactus pear fruits. *Acta Hort.*, **1067**, pp : 193–197.
- 47. FAO.,2001**- Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. Plant Production and protection paper 169. Rome
- 48. Gabremariam T, Melaku S, Yami A.,2006**- Effect of different levels of Cactus (*Opuntia ficus - indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw - based feeding of sheep. *Anim. Feed Technol.* **131**, pp : 43-52
- 49. Ghorab, H., Kabouche, A., Semra, Z., Ghannadi, A., Sajjadi, E. B., Touzani, R. & Kabouche, Z., 2013** - Biological activities and compositions of the essential oil of *Thymus ciliatus* from Algeria. *Pharm Lett*, **5**. pp : 28-32.
- 50. Gibson A. C. & Nobel PS., 1986** - The cactus primer. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 51. Giordani R., Hadeif Y. & Kaloustian J., 2008** - Compositions and antifungal activities of essential oils of some Algerian aromatic plants. *Fitoterapia.* **79**. pp : 199-203.
- 52. Granata, G. & Sidoti, A., 1997** - Appearance of *Alternaria* golden spot on cactus pear in Italy. *Acta Hort.* **438**. pp : 129–130
- 53. Griffith, M.P., 2004**- The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *Am. J. Bot.*, **91(11)**, pp : 1915–1921.
- 54. GRIN .,2007**-Opuntiaceae information from NPGS (National plant germplasm system) of GRIN (Germplasm resources information network). Taxonomic information on cultivated plants in the USA. National genetic resources program. United States Department of Agriculture, Agricultural research service. Maryland, USA.
- 55. Guillaume, D., Gharby, S., Harhar, H., Baba, M.,2015**-*Opuntia ficus-indica* and *Balanites aegyptiaca* oils: two seed oils to watch. *HPC Today*, **10(2)**, pp : 45–48.
- 56. Gutiérrez, L.H., 1992**- Plagas y enfermedades del nopal en México. Mexico, Autonomous University of Chapingo
- 57. Habibi Y., Heux L., Mahrouz M. & Vignon M. R., 2008** - Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, **72(1)**. pp : 102-112.

- 58. Habibi, Y., 2004-** Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- 59. Hay Y. O. M., 2015** - La complexité des simples - Caractérisations chimique et biologique de combinaisons hydrolats-huiles essentielles et huiles essentielles-huiles essentielles pour l'objectivation d'effets conservateurs de produits phytothérapeutiques. Thèse. Doct. Univ. *Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse)*
- 60. Hayane S. M., 1983-** Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse de doctorat 3eme cycle. Univ. Oran. pp: 73-157
- 61. Hernandez H. M. & Barcenas R. T., 1995** - Cactus en voie de disparition dans le désert de Chihuahuan : I. Modèles de distribution. *Biologie de la conservation*, 1176-1188.
- 62. Hunt D, Taylor N et Charles G., 2006-**The new cactus lexicon. 2 vols. DH books, Milborne Port, England.
- 63. Inglese P., 2010** - Cactus pear, *Opuntia ficus indica* L.(Mill.) for fruit production: An overview. *Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa*, **82**.
- 64. Inglese P., 2018** - Ecologie, Culture Et utilisations du Figuier De Barbarie. *Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.
- 65. Inouye, S., Takahashi, M., & Abe, S., 2008-** A comparative study on the composition of forty four hydrosols and their essential oils.
- 66. ISTAT., 2017-** Superficie agricola per tipo di coltivazione e anno (superficie in ettari), Rome: . (accessed on 5 January 2024).
- 67. Kaloustian J., Mikail C., Abou L., Vergnes M. F., Nicolay A. & Portugal H., 2008** - Nouvelles perspectives industrielles pour les hydrolats. *Acta Botanica Gallica*, **155(3)**. pp :367-373.
- 68. Khan D., Harris A. J., Zaman Q. U., Wang H. X., Wen J., Landis J. B. & Wang H. F., 2024** - The evolutionary history and distribution of cactus germplasm resources, as well as potential domestication under a changing climate. *Journal of Systematics and Evolution*.
- 69. Kholkhal F., Lazouni H. A., Bendahou M., Boublenza I., Chabane S. D. & Chaouch T., 2013** - Étude phytochimique et évaluation de l'activité anti-oxydante de *Thymus Ciliatus sp. Coloratus*. *Afrique Sciences: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, **9(1)**. pp :151-158.
- 70. Kholkhal F., 2014** - Etude Phytochimique et Activité Antioxydante des extraits des composés phénoliques de *Thymus ciliatus ssp. coloratus* et *ssp. eu-ciliatus*. Thèse. Doct. Biologie. Univ. Tlemcen. 200 p.

71. Kreiter P., Marro J. P. & Dijoux L., 1998 - Le monde mystérieux des cochenilles. *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, **67(7)**. pp : 201-206.
72. Lambdin P., Aquino G., Green J.F. & Soto-Hernández, M., 2002 - Synopsis of carmine acid biosynthesis. *CACTUSNET Newsletter*. **7**. pp: 11-15.
73. Livrea MA, Tesoriere L.,2009- Antioxidative effects of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L) Mill] fruits from Sicily and bioavailability of betalain components in healthy humans. *Acta Horticult.* **811**, pp: 197-204
74. Lobos E., Passos da Silva D.M., Mena J., Logarzo G. & Varone, L., 2013 - Principales plagas en *Opuntia*. *Cactus Newsletter*. **13** [Special issue]. pp : 137–158.
75. Loudyi D. W., 1995-Quelques espèces fruitières d'intérêt secondaire cultivées au Maroc. In : Llácer G., Aksoy U. and Mars M. (eds). Underutilized fruit crops in the Mediterranean region. CIHEAM, Zaragoza, Spain, pp 47-62.
76. MacGregor R., 1976 - La grana o cochinilla del nopal usada como colorante desde el México antiguo hasta nuestros días. *Cactáceas y Suculentas Mex.* **21(4)**. pp : 93-97.
77. MacGregor R. & Sampedro G., 1984 - Familia Dactylopiidae (Homoptera:Coccoidea). Catálogo de Coccidos Mexicanos. *Ann. Inst. Biol. Serie Zoología*. **54(1)**. pp : 217-223.
78. Madani K., Remini H., Dahmoune F., Dairi S., Aoun O., Belbahi A. & Haddache L., 2016 - Le figuier de Barbarie: une plante d'intérêt industriel. *Premier séminaire sur la valorisation du figuier de barbarie. Une plante pour le climat et le développement durable*.
79. Malainine M. E., Dufresne A., Dupeyre D., Mahrouz M., Vuong R. & Vignon M. R., 2001- Structure et morphologie des raquettes et des epines du figuier de barbarie. *Phys. Chem. News*, **4**. pp : 126-13.
80. Mann, J., 1969 - Cactus-feeding insects and mites. *Bulletin 256*. Washington, DC, United States National Museum. 158 p.
81. Marc B., Lucas C. M. & Bruce D. P., 2019 - *Opuntia ficus-indica*, in Jepson Flora Project,Ed, Revision 7.
82. Mathenge C. W., Holford P., Hoffmann J. H., Spooner-Hart R., Beattie G. A. & Zimmermann Y. H. G., 2009 - The biology of *Dactylopus tomentosus* (Hemiptera:Dactylopiidae). *Bulletin of Entomological Research*. **99(6)**. pp : 551-559.
83. Mauseth JD., 1990- Continental drift, climate and the evolution of cacti. *Cactus and Succulent Journal* **62**, pp : 302–308
84. Mazzeo G., Nucifora S., Russo A. & Suma P., 2019 - *Dactylopus opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **167(1)**. pp : 59-72. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/eea.12756>

- 85. MEBARKI, N., 2010**-Extraction de l'huile essentielle de *Thymus fontanesii* et application à la formulation d'une forme médicamenteuse – antimicrobienne. Mémoire de magistère en Génie des procédés chimiques et pharmaceutiques, Option industrie pharmaceutique. Univ. M'hamed Bougara.Boumerdes. 137 p+ Annexes.
- 86. Mondragón Jacobo, C. & Bordelon, B.B., 1996**- Cactus pear (*Opuntia* spp. Cactaceae) breeding for fruit production. J. Prof. Assoc. Cactus Dev., **1**, pp : 19–35.
- 87. Monroy L. M., 2010** - Plagas y enfermedades del nopal (*Opuntia ficus indica*, Berg.). TecnoAgro. Revista digital. En: <http://tecnoagro.com.mx/no-52/plagas-y-enfermedades-del-nopal-opuntia-ficus-indica-berg-dp2>
- 88. Morales, M. , 1994** - Estudio del ciclo biológico de la cochinilla silvestre (*Dactylopius* sp.). Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara México. 41 p.
- 89. Moßhammer MR, Stintzing FC, Carle R., 2006**- Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): A review of processing technologies and current uses. J.PACD.
- 90. Neffar, S., 2012** - Étude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk Ahras et Tébessa. Thèse. Doct. Univ. Annaba, Algeria (unpublished).
- 91. Novoa, A., Le Roux, J. J., Robertson, M. P., Wilson, J. R., & Richardson, D. M., 2015**-Introduced and invasive cactus species: a global review. AoB Plants, **7**, plu078
- 92. Núñez-Gastelum J.A., González-Fernández R., HernándezHerrera A., Campas-Baypoli O.N., Rodríguez-Ramírez R., Lobo-Galo N., Valero-Galván J., 2018**-Morphological characteristics, chemical composition and antioxidant activity of seeds by four wild *Opuntia* species from North of Mexico. J. Prof. Assoc. Cactus Dev, **20**, pp: 23-33
- 93. Özcan, M. & Al Juhaimi, F., 2011**- Nutritive value and chemical composition of prickly pear seed (*Opuntia ficus-indica* L.) growing in Turkey. Int. J. Food Sci. Nutr., **62(5)**, pp: 533–536
- 94. Papageorgio V., 1980**- GLC-MS computer analysis of the essential oil of *Thymus capitatus*. Planta Medica Suppl.,pp : 29-33.
- 95. Park, E. H, Kahng, J. H., Lee, S. H., Shin, K. H., 2001**- An antiinflammatory principle from cactus. Fitoterapia , **72** . pp: 288–290
- 96. Pavela R., 2016** - Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides. A review. *Industrial Crops and Products*, **76**. pp : 174-187.
- 97. Perestelo Paz D., 2022** - Avances sobre el control biológico de *Dactylopius opuntiae*.
- 98. Perez-Guerra, G. & Kosztarab, M., 1992** - Biosystematics of the family Dactylopiidae (Homoptera: Coccinae) with emphasis on the life cycle of *Dactylopius coccus* Costa. *Studies on the morphology*

and systematics of scale insects Bull. **16.** pp : 92-1. Virginia Agric. Exp. Sta. Virginia Polytechnic Institute and State University. 90 p.

- 99. Portillo L. & Viguera A.L., 2003** - Cría de grana cochinilla. Universidad de Guadalajara, México. 52 p.
- 100. Pottier F., 2017** - Etude des matières picturales du Codex Borbonicus-Apport des spectroscopies non-invasives à la codicologie. Thèse. Doct. Univ. Cergy Pontoise (UCP). pp : 28-32.
- 101. Price, L., & Price, S., 2004**- Understanding hydrolats: the specific hydrosols for aromatherapy: a guide for health professionals. Understanding Hydrolats S.
- 102. Quezel P. & Santa S., 1963**- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II. Edition du centre national de la recherche scientifique. Paris France. 603 p.
- 103. Reggane L., 2021** - Étude bibliographique sur la valorisation biotechnologique des cladodes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*). Thèse. Doct. Univ. Mouloud Mammeri.
- 104. Rodríguez García, C., de Lira, C., Hernández Becerra, E., Cornejo Villegas, M.A., Palacios Fonseca, A.J., Rojas Molina, I., Reynoso, R., Quintero, L.C., Del Real, A., Zepeda, T.A. & Muñoz Torres, C., 2007**-Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus-indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods Hum. Nutr.*, **62**, pp: 107–112.
- 105. Saad M., Degano C. & Ochoa J., 1998** - Wet rot and necrosis caused by bacteria in *Opuntia ficus indica* Mill in Santiago del Estero, Argentina. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* **3** pp : 60–63.
- 106. Sáenz C., Berger H., Rodríguez-Félix A., Galletti L., García J. C., Sepúlveda E., Varnero M. T., de Cortázar V. G., García R. C., Arias E., Mondragón C., Higuera I. & Rosell C., 2013** - Agro-industrial utilization of cactus pear. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, pp : 1-150. E-ISBN 978-92-5-107987-4.
- 107. SAGARPA., 2006.** Manejo fitosanitario de las principales plagas del nopal. Tríptico. En: www.cesavem.org/divulgacion/nopal/TRIPTICO.pdf
- 108. Sağdıç, O., & Özcan, M., 2003**-Antibacterial activity of Turkish spice hydrosols. *Food control*, **14(3)**, pp:141-143.
- 109. Sanidad Vegetal., 2004a** - Campaña manejo fitosanitario del nopal: principales plagas del nopal y su control. Tríptico.pp : 2 . En: <http://www.cesavem.org/divulgacion/nopal/TRIPTICO.pdf>
- 110. Sanidad Vegetal., 2004b** - manejo fitosanitario del cultivo de nopal. Comité Estatal de sanidad Vegetal del Distrito federal. En: http://api.ning.com/files/MesKdz69JWv0_BN9V7R94q0faPYL-F8dzNkkUnIx38EGsdO-6rl537i5mTodZnftzUbjZ59zRsQy7w_tGFX7kMKIPr16m9Md-5/folletonopal.pdf

- 111. Sawaya, W.N. & Khan, P., 1982-** Chemical characterization of prickly pear seed oil, *Opuntia ficus indica*. *J. Food Sci.*, **47**, pp : 2060–2061
- 112. Seddiki N.,2023-**etude de la bioecologie d'*opuntiae ficus-indica* L dans la région de Tlemcen et l'effet de la diatomite dans la lutte contre *Datylopusis puntiae*, son principal ravageur, mémoire, 58p
- 113. Shen, X., Chen, W., Zheng, Y., Lei, X., Tang, M., Wang, H., & Song, F., 2017-** Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of hydrosols from different parts of *Areca catechu* L. and *Cocos nucifera* L. *Industrial Crops and Products*, **96**, pp: 110-119.
- 114. Shetty., Anoop A., Rana M.K. and Preetham S.P., 2012-**Cactus: A Medicinal Food. *Journal of Food Science and Technology*, **49(5)**, pp: 530-36
- 115. Siriwardhana N, Shahidi F, Jeon YJ.,2006-** Potential antioxidative effects of cactus pear fruit (*Opuntia ficus-indica*) extract on radical scavenging and DNA damage reduction in human peripheral lymphocytes. *J. Food Lipids*. **13**, pp: 445-458.
- 116. Somma V., Rosciglione B. & Martelli G.P., 1973 -** Preliminary observations on gummous canker, *a new disease of prickly pear*. *Tec. Agric.* **25**. pp : 437- 443.
- 117. Souza A.E.F., Nascimento L.C., Araújo E., Lopes E.B. & Souto, F.M., 2010 -** Ocorrência e identificação dos agentes etiológicos de doenças em palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill.) no semiárido paraibano. *Biotemas*. **23**. pp : 11-20.
- 118. Stintzing, F.C., Schieber, A. & Carle, R., 2001-** Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *Eur. Food Res. Technol.*, **212**, pp : 396–407.
- 119. Stone-Palmquist ME, Mauseth JD., 2002-** The structure of enlarged storage roots in cacti. *International Journal of Plant Sciences* **163** pp: 89–98
- 120. Swart W.J. & Kriel W.M., 2002 -** Pathogens associated with necrosis of cactus pear cladodes in South Africa. *Plant Dis*. **86**. pp : 693- 693.
- 121. Swart W.J. & Swart V.R., 2002 -** The current status of research on diseases of *Opuntia ficus indica* in South Africa. *Acta Hort.* **581**. pp : 239-245.
- 122. Tabti, L., Dib, M. E. A., Djabou, N., Benyelles, N. G., Paolini, J., Costa, J., & Muselli, A., 2014-** Control of fungal pathogens of *Citrus sinensis* L by essential oil and hydrosol of *Thymus capitatus* L. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, **87**.
- 123. Tesoriere, L., Butera, D., Allegra, M., Fazzari, M. & Livrea, M.A., 2005a-** Distribution of betalain pigments in red blood cells after consumption of cactus pear fruits and increased resistance of the cells to ex vivo induced oxidative hemolysis in humans. *J. Agric. Food Chem.*, **53**, pp : 1266–1270.
- 124. Tesoriere, L., Butera, D., Pintaudi, A.M., Allegra, M. & Livrea, M.A., 2004-** Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. *Am. J. Clin. Nutr.*, **80**, 391–395

- 125. Tripathi A. K. & Dubey N. K., 2004** - Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, **32(3)**. pp : 235-245.
- 126. USDA., 2014-** Field guide for managing prickly pear in the Southwest. Forest service, Southwest region, 7p
- 127. Vanegas Rico J. M., 2009** - Dinámica poblacional de *Dactylopus opuntiae*(Cockerell) y sus enemigos naturales en Tlalnepantla, Morelos.
- 128. Vanegas-Rico J. M., Lomeli-Flores J. R., Rodríguez-Leyva E., Mora-Aguilera G., & Valdez, J. M., 2010** - Enemigos naturales de *Dactylopus opuntiae*(Cockerell) en *Opuntia ficus indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta zoológica mexicana*. **26(2)**. pp : 415-433.
- 129. Varvaro L., Granata G. & Balestra G.M., 1993** - Severe *Erwinia* caused damage on *Opuntia ficus indica* in Italy. *J. Phytopathol.* **138**. pp : 325–330.
- 130. Vishali S. & Karthikeyan R., 2015** - *Cactus opuntia (ficus-indica)*: an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. *Desalination and Water Treatment*, **56(6)**. pp : 1489-1497.
- 131. WALLALI LOUDYI D.,1995-** Quelques espèces fruitières d'intérêt secondaire cultivées au Maroc CIHEAM-Options Méditerranéennes, pp : 48-62.
- 132. Williams D. J. & Ben-Dov Y., 2015** - Scale insect species names that have been combined with the genus name *Dactylopus Costa* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoomorpha). *Zootaxa*. **4006**. pp : 161–170.
- 133. Wolfram, R.M., Budinsky, A., Efthimiou, Y., Stomatopoulos, J., Oguogho, A. & Sinzinger, H., 2003-** Daily prickly pear consumption improves platelet function. *PLEFA*, **69**, pp: 61–66
- 134. Yaniv, Z., Palevitch, D.,1982-**Cultivation and Utilization of Medicinal Plants. C. K. Atal, B. M. Kapur, (Eds.) United Printing Press, New Delhi , pp: 1–12.
- 135. Yetman D., 2007** - *Les grands cactus : ethnobotanique & biogéographie. Presse de l'Université de l'Arizona.*
- 136. Zimmermann H.G. & Granata G., 2002** - Insect pests and diseases. In P.S. Nobel, ed. *Cacti: Biology and uses*, pp : 235–254. Berkeley, CA, USA, University of California Press.
- 137. Zrira S., Petretto G.L., Saidi B., Salaris M. and. Pintore G.,2016-**Volatile constituents and polyphenol composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill from Morocco. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, **4** : pp: 5-11.

Sites web:

- 138.** <https://www.dreamstime.com/photos-images/dactylopius-opuntiae.htm>
- 139.** <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/tlemcen-zenata/60531.html>

Références bibliographique

140. <https://www.google.com/maps/place/Hennaya/@34.9605993,1.4701485,12z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0xd78c5f92fcb9391:0x6817292f7b68b2a6!8m2!3d34.9523096!4d1.3723652!16s%2Fm%2Fofqt3vj?entry=ttu>

الملخص

تمثل القرمزية *Dactylopus opuntiae* ، التي تم اكتشافها مؤخرًا في الجزائر (تلمسان)، تهديدًا لنبات التين الشوكي - *Opuntia ficus-indica*. تقوم هذه الدراسة بتقييم فاعلية زيت الزعتر الأساسي وماءه العطري ومسحوق الزعتر في مكافحة هذه الإصابة.

تشير نتائج الاختبار إلى أن زيت الزعتر الأساسي، عند استخدامه عن طريق الاتصال المباشر، كان الطريقة الأكثر فعالية لتقليل معدل تكاثر الحشرة القرمزية. بتركيز 15 ميكروليتر، تم تحقيق معدل وفيات بنسبة 100% خلال 12 ساعة فقط. تم تحديد التركيز المميت (LD50) عند 2250 ميكروليتر، مما يؤكد السمية العالية لهذا الزيت العطري تجاه الآفة.

بالمقارنة مع ماءه العطري ومسحوق الزعتر ، وجد أن الزيت الأساسي أكثر فعالية كمبيد حشري ضد الحشرة القرمزية.

الكلمات المفتاحية الحشرة القرمزية، التين الشوكي الزعتر الزيت الأساسي الماء العطري المسحوق

Résumé

La cochenille *Dactylopus opuntiae*, récemment identifiée en Algérie (Tlemcen), représente une menace pour les plantes *d'Opuntia ficus indica*. Cette étude évalue insecticides de l'huile essentielle, de l'hydrolat et de la poudre végétale de *Thymus ciliatus* dans la lutte contre cette infestation.

Les résultats des essais indiquent que l'huile essentielle de *Thymus ciliatus*, lorsqu'appliquée par contact direct, s'est avérée être la méthode la plus efficace pour réduire la population de *Dactylopus opuntiae*. À une concentration de 15 µl, un taux de mortalité de 100 % a été atteint en seulement 12 heures. La concentration létale (DL50) a été déterminée à 2,250 µl, confirmant ainsi la forte toxicité de cette huile essentielle envers le ravageur.

En comparaison avec l'hydrolat et la poudre de *Thymus ciliatus*, l'huile essentielle s'est révélée plus efficace comme insecticide contre *Dactylopus opuntiae*.

Mots clé : *Dactylopus opuntiae*, *d'Opuntia ficus indica*, *Thymus ciliatus*, l'huile essentielle, l'hydrolat, la poudre

Abstract

The cochineal *Dactylopus opuntiae*, recently identified in Algeria (Tlemcen), represents a threat to *Opuntia ficus indica* plants. This study evaluates insecticides of *Thymus ciliatus* essential oil, hydrosol and plant powder in the fight against this infestation.

Test results indicate that *Thymus ciliatus* essential oil, when applied by direct contact, was the most effective method for reducing the population of *Dactylopus opuntiae*. At a concentration of 15 µl, a 100% mortality rate was achieved in just 12 hours. The lethal concentration (LD50) was determined at 2,250 µl, thus confirming the high toxicity of this essential oil towards the pest.

In comparison with *Thymus ciliatus* hydrosol and powder, the essential oil was found to be more effective as an insecticide against *Dactylopus opuntiae*.

Keywords : *Dactylopus opuntiae*, *Opuntia ficus indica*, *Thymus ciliatus* , essential oil, Hydrosol, Powder.