



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté Des Sciences de la Nature et de La Vie
Département de Biologie



Mémoire

PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité : Microbiologie Fondamentale

Par

FERDJALLAH Nawel

THEME

**Effet antibactérien et insecticide de l'huile essentielle de
Ruta chalepensis L.**

Membres de Jury :

Dr KOUADRI BOUJELTHIA Nacema

Présidente

Pr BAHRI Fouad

Université de Mostaganem

Encadreur

Dr BELKACEM Imane

Examinatrice

Année universitaire 2025/2026

Dédicace

*À la mémoire de mon cher père,
que Dieu lui accorde Sa miséricorde et fasse de ce travail une œuvre bénéfique
pour son âme.*

*À ma très chère mère,
pour son amour, ses sacrifices et son soutien inestimable.*

*À mon cher mari,
pour son soutien constant, sa compréhension et sa patience tout au long de ce
parcours.*

*À mes chers enfants,
Bouchra, Bedreddine, Mohamed et Massa,
à qui je dédie cette réussite avec tout mon amour et ma fierté.*

*À mes chères amies Farah et Aïcha,
en témoignage de notre amitié sincère et pour leur soutien précieux durant
toutes ces années d'études.*

Nawal

Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant et Miséricordieux, pour la force, la patience et le courage qu'il m'a accordés afin de mener ce travail à son terme.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon directeur de mémoire, **Pr BAHRI F**, professeur à l'université de Mostaganem, de m'avoir accepté dans son équipe et de m'avoir fait l'honneur de diriger avec beaucoup d'attention et de soin ce travail.

Je remercie également les membres du jury **Dr KOUADRI BOUJELTHIA Nacema** et **Dr BELKACEM Imane** pour l'honneur qu'ils me font en évaluant ce travail, ainsi que tout le personnel du laboratoire de microbiologie et de biologie végétale, notamment **Mme TAHLIATI Amina** ainsi que **Dr ARABI Abed MCA** à l'université de Mostaganem pour leur aide précieuse et leurs conseils.

Mes remerciements vont aussi à tous mes enseignants de la faculté SNV pour leur soutien, et à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للبكتيريا والمبيد للحشرات للزيت العطري المستخلص من الأجزاء الهوائية لنبات السذاب الطازج والمجفف (*Ruta chalepensis* L.). أظهرت عملية الاستخلاص بالتقطير المائي مردودًا أعلى للنبات الجاف (1.17%) مقارنة بالنبات الطازج (0.73%). كما كشف الفحص الكيميائي النباتي عن وجود الكومارينات، والفلافونويدات، والمركبات الفينولية، والتانينات.

أظهرت الزيوت الأساسية المختبرة نشاطًا مضادًا للبكتيريا ضد *Streptococcus aureus* و *Streptococcus* β -*hémolytiques*، حيث تراوحت قيم التركيز الأدنى المثبط (CMI) بين 2 و 4 ميكرو لتر/مل، بينما بلغت قيم التركيز الأدنى القاتل للبكتيريا 4 (CMB) ميكرو لتر/مل. وأشارت نسب CMB/CMI إلى وجود نشاط قاتل للبكتيريا. في المقابل، لم يُسجل أي نشاط ضد *Pseudomonas aeruginosa* و *Moraxella catarrhalis*.

كما أظهرت دراسة النشاط المبيد للحشرات فعالية كبيرة للزيوت الأساسية ضد حشرة *Dactylopius opuntiae*، حيث بلغت نسبة الموت 100% بالنسبة للزيت الأساسي الجاف و الطازج بعد 24 ساعة من المعالجة.

الكلمات المفتاحية: *Ruta chalepensis* L. ، زيت أساسي، نشاط مضاد للبكتيريا، نشاط مبيد للحشرات، *Dactylopius opuntiae*

Résumé

Cette étude vise à évaluer les activités antibactériennes et insecticides de l'huile essentielle extraite des parties aériennes de *Ruta chalepensis* L., fraîches et séchées. L'extraction par hydrodistillation a donné un rendement plus élevé pour la plante sèche (1,17 %) que pour la plante fraîche (0,73 %). Le screening phytochimique a révélé la présence de coumarines, flavonoïdes, composés phénoliques et tanins.

Les huiles essentielles testées ont montré une activité antibactérienne contre *Staphylococcus aureus* et les *streptocoques* β -*hémolytiques*, avec des CMI comprises entre 2 et 4 μ L/mL et des CMB de 4 μ L/mL. Les rapports CMB/CMI indiquent une activité bactéricide. En revanche, aucune activité n'a été observée contre *Pseudomonas aeruginosa* et *Moraxella catarrhalis*.

L'étude de l'activité insecticide a également montré une forte efficacité des huiles essentielles contre *Dactylopius opuntiae*, avec un taux de mortalité atteignant 100 % pour l'huile essentielle sèche et fraîche après 24 heures de traitement.

Mots clés : *Ruta chalepensis* L., huile essentielle, activité antibactérienne, activité insecticide, CMI, CMB, *Dactylopius opuntiae*.

Abstract

This study aims to evaluate the antibacterial and insecticidal activities of the essential oil extracted from the aerial parts of fresh and dried *Ruta chalepensis* L. Hydrodistillation extraction yielded a higher extraction rate for the dried plant (1.17%) compared to the fresh plant (0.73%). Phytochemical screening revealed the presence of coumarins, flavonoids, phenolic compounds, and tannins.

The tested essential oils showed antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* and β -hemolytic streptococci, with MIC values ranging from 2 to 4 μ L/mL and MBC values of 4 μ L/mL. The MBC/MIC ratios indicated a bactericidal activity. In contrast, no activity was observed against *Pseudomonas aeruginosa* and *Moraxella catarrhalis*.

The insecticidal activity study also demonstrated a strong effectiveness of the essential oils against *Dactylopius opuntiae*, with mortality rates reaching 100% for the dried essential oil and the fresh essential oil after 24 hours of treatment.

Keywords: *Ruta chalepensis* L., essential oil, antibacterial activity, insecticidal activity, MIC, MBC, *Dactylopius opuntiae*.

Table des matières

Remerciements.....	a
ملخص.....	b
Résumé.....	b
Abstract.....	c
Table des matières	d
Liste des tableaux.....	e
Liste des figures	f
Liste des abréviations et symboles.....	j
Introduction.....	1
Partie I: Recherche bibliographique	
I.1. Infections nosocomiales	4
I.1.1. Définition.....	4
I.1.2. Agents pathogènes.....	5
I.1.3. Facteurs de risque	5
I.2. Bactéries multirésistantes	5
I.2.1. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6
I.2.2. <i>Staphylococcus aureus</i>	7
I.2.3. <i>Moraxella catarrhalis</i>	8
I.2.4. <i>Streptococcus</i> β -hémolytiques	8
I.3. La cochenille du cactus (<i>Dactylopius opuntiae</i>)	9
I.3.1. Généralités et origine de <i>Dactylopius opuntiae</i>	9
I.3.2. Biologie et cycle de vie	10
I.3.3. Impact sur le cactus	11
I.3.4. Moyens de lutte contre <i>Dactylopius opuntiae</i>	11
I.3.4.1. Lutte chimique.....	11
I.3.4.2. Lutte mécanique	12
I.3.4.3. Lutte biologique.....	12
I.4. L'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> L.	12
I.4.1. Présentation de <i>Ruta chalepensis</i> L.	12
I.4.1.1. Description botanique.....	12
I.4.1.2. Répartition géographique.	12
I.4.1.3. Taxonomie.....	12
I.4.1.4. Usage traditionnel et médicinal.	12
I.4.2. Définition de l'huile essentielle.....	17
I.4.2.1. Composition chimique.....	17

I.4.2.2. Méthodes d'extraction	17
I.5. Effet antibactérien de l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> L.	18
I.6. Effet insecticide de l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> L.....	19
Partie II:Matériel et méthodes	
II.1. Matériel végétale	21
II.2. Extraction de l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> L.	21
II.2.1. Hydrodistillation	21
II.2.2. Calcul du rendement	22
II.3. Screening phytochimique.....	22
II.3.1. Tannins.....	23
II.3.2. Coumarines	23
II.3.3. Les flavonoïdes	23
II.3.4. Les saponosides.....	23
II.3.5.Phénols	23
II.4. Activité antibactérienne de RCHE	24
II.4.1. Souches bactériennes utilisées	Erreur ! Signet non défini.
II.4.2. Technique d'aromatogramme (méthode de Vincent) ..	Erreur ! Signet non défini.
II.4.3. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMI) ...	Erreur ! Signet non défini.
II.4.4. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB) ..	Erreur ! Signet non défini.
II.5. Activité insecticide.....	26
II.5.1. L'insecte étudié	26
II.5.2. Évaluation de l'effet insecticide de RCHE par contact.....	26
Partie III:Résultats et discussion	
III.1. Rendement en huiles essentielles.....	28
III.2. Screening phytochimique	28
III.3.Etude de l'activité antibactérienne de RCHE	30
III.3.1. Technique de l'aromatogramme (méthode de Vincent)	30
III.3.2. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricide (CMB) et du rapport CMB/CMI.....	31
III.4. Étude de l'Activité insecticide de RCHE	33
III.4.1. Évaluation de la toxicité de l'huile essentielle par contact direct.....	34
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Références bibliographiques.....	38
Annexe	49

Liste des tableaux

Tableau n°1: Profil de résistance aux antibiotiques des souches bactériennes étudiées.	24
Tableau n°2 : Rendement d'extraction en (%) de <i>R. chalepensis</i> L. sèche et fraîche...	28
Tableau n°3: Résultats du screening phytochimique de <i>R. chalepensis</i> L.....	29
Tableau n°4: Résultats de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de <i>Ruta chalepensis</i> L. (sèche et fraîche) exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition	30
Tableau n°5: Valeurs de la concentration minimale inhibitrice (CMI), de la concentration minimale bactéricide (CMB) et du rapport CMB/CMI des RCHE.	32
Tableau n°6: Taux de mortalité de <i>Dactylopius opuntiae</i> après traitement par RCHE.	35

Liste des figures

Figure n°1: Aspect microscopique de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> G×1000	6
Figure n°2: Aspect de <i>Staphylococcus aureus</i> après une coloration de gram G×1000	7
Figure n°3 : Aspect de <i>Moraxella catarrhalis</i> après coloration de Gram G ×1000	8
Figure n°4 : Aspect microscopique des <i>streptocoques</i> β -hémolytiques G×1000	9
Figure n°5 : État d'infestation des Opuntia par les cochenilles <i>Dactylopius opuntiae</i> ..	10
Figure n°6: Feuilles de <i>Ruta chalepensis</i> L.....	13
Figure n°7: Fleur de <i>Ruta chalepensis</i> L.....	13
Figure n°8: Le fruit en capsule de <i>Ruta chalepensis</i> L.....	13
Figure n°9 : Répartition géographique de <i>Ruta chalepensis</i> L. en Algérie.....	15
Figure n°10: Carte géographique montre la région de la récolte de la plante fraîche	21
Figure n°11: Carte géographique montre la région de la récolte de la plante sèche	21
Figure n°12 : Hydrodistillateur clivenger pour l'extraction des huiles essentielles .	22
Figure n°13: Rendement d'extraction en (%) de <i>Ruta chalepensis</i> L.	28
Figure n°14: Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur <i>S. aureus</i> et <i>S. β-hémolytique</i>	31
Figure n°15 : Concentration minimale inhibitrice (CMI) par huile et bactérie.....	32
Figure n°16: Concentration minimale bactéricide (CMB) par huile et bactérie	33
Figure n°17 : CMB/CMI des huiles essentielles sur souches bactériennes.....	33

Liste des abréviations et symboles

- **AFNOR** : Association Française de normalisation.
- **BLSE** : Bêta-Lactamases à Spectre Étendu
- **BMR** : Bactéries multirésistantes
- **CMB** : Concentration minimale bactéricide
- **CMI** : Concentration minimale inhibitrice
- **DMSO** : Diméthylsulfoxyde
- **HEs** : L'huiles essentielles
- **MDR** : Organismes multirésistants aux médicaments
- **OMS** : Organisation mondiale de la santé
- **RAM** : La résistance aux antimicrobiens
- **RCHE** : Huile essentielle de *Ruta chalepensis* L.
- **TTC** : 2,3,5-triphényltétrazolium

Introduction

Les infections nosocomiales constituent un problème majeur de santé publique à l'échelle mondiale, responsables d'une augmentation de la morbidité, de la mortalité ainsi que des coûts hospitaliers. La résistance croissante des bactéries aux antibiotiques a encouragé plusieurs recherches orientées vers l'étude des huiles essentielles et des plantes médicinales comme alternatives thérapeutiques naturelles (**Bahri et al., 2022 ; Khan et al., 2017 ; Haque et al., 2018**).

Elles sont associées à plusieurs bactéries pathogènes telles que *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Moraxella catarrhalis* et les streptocoques β -hémolytiques, dont certaines présentent une résistance croissante aux antibiotiques. Cette résistance bactérienne a conduit plusieurs chercheurs à étudier l'activité antibactérienne des huiles essentielles comme alternatives naturelles aux antibiotiques conventionnels (**Bahri et al., 2022 ; Magiorakos et al., 2012 ; OMS, 2017 ; Zaoui et al., 2024 ; Bahri et al., 2025**).

Les plantes médicinales et aromatiques, riches en composés bioactifs aux propriétés antibactériennes, antifongiques, antioxydantes et insecticides, occupent une place importante en médecine traditionnelle, pharmacie et agriculture (**Zaoui et al., 2024**). *Ruta chalepensis* L., de la famille des *Rutaceae*, suscite un intérêt particulier pour sa richesse en métabolites secondaires et huiles essentielles actives (**Baba Aissa, 1999 ; Eberhard et al., 2005**). Cette plante herbacée vivace, répandue en région méditerranéenne et cultivée au Mexique, Amérique centrale et du Sud (**Eberhard et al., 2005**), est utilisée en médecine populaire pour diverses affections (**Ait My, 2006**). Ses feuilles et fleurs sont riches en composés aromatiques et huiles essentielles aux nombreuses activités biologiques (**Mioulane, 2004**).

Les huiles essentielles sont des mélanges naturels complexes lipophiles, volatils et odorants obtenus par distillation à la vapeur d'eau (**AFNOR, 2000**). Leur composition en terpènes, alcools, cétones et phénols leur confère des propriétés exploitées en pharmacie, alimentation et agriculture (**Franchomme et Penoel, 1990 ; Baudoux, 2001**). L'intérêt pour ces huiles a crû avec l'émergence des bactéries multirésistantes (**Magiorakos et al., 2012 ; Organisation mondiale de la santé, 2017**). Plusieurs études montrent leur activité inhibitrice contre des bactéries pathogènes par action synergique de leurs composés (**Bruneton, 2009**). L'huile essentielle de *Ruta chalepensis* a démontré une efficacité variable contre bactéries Gram positif et négatif selon sa composition (**Merghache et al., 2009**). Son mécanisme d'action repose principalement sur l'altération de la membrane cellulaire bactérienne, entraînant la mort cellulaire (**Bruneton, 2009**).

Par ailleurs, les insectes ravageurs représentent une menace importante pour les cultures et la sécurité alimentaire. *Dactylopius opuntiae* est considéré comme l'un des principaux ravageurs du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*). Originnaire d'Amérique, cette cochenille s'est largement propagée dans plusieurs régions du bassin méditerranéen et de l'Afrique du Nord, provoquant des dégâts considérables sur les plantations de cactus (Mazzeo *et al.*, 2019 ; Bouharroud *et al.*, 2016 ; Mendel *et al.*, 2020). Cette cochenille cause d'importants dégâts agricoles et des pertes économiques considérables. Face aux effets nocifs des pesticides chimiques sur l'environnement et la santé, plusieurs recherches se sont orientées vers l'utilisation des huiles essentielles comme alternatives naturelles. Ces dernières peuvent exercer une activité insecticide grâce à leurs effets toxiques, répulsifs et antialimentaires sur les insectes ravageurs (Isman, 2006 ; Benelli *et al.*, 2023).

Dans ce contexte, le présent travail a pour objectif d'étudier l'effet antibactérien et insecticide de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L. (RCHE) contre certaines souches bactériennes pathogènes et contre *Dactylopius opuntiae*, dans une démarche de valorisation des ressources végétales naturelles et de recherche d'alternatives biologiques respectueuses de l'environnement.

Partie I

Recherche bibliographique

I.1. Infections nosocomiales

I.1.1. Définition

L'infection est la pénétration d'un agent étranger (bactérie, virus, champignon, parasite) dans le corps, capable de s'y multiplier et de provoquer des lésions pathologiques **(Delamar, 1999)**. On peut formellement considérer qu'il s'agit d'une infection nosocomiale lorsque l'infection survient chez les patients au cours des 48 premières heures suivant leur admission à l'hôpital ou dans les 30 jours suivant leur prise en charge à l'hôpital **(Revelas, 2012)**. Les infections associées aux soins de santé peuvent être divisées dans diverses publications en plusieurs sous-types en fonction de la source de colonisation du pathogène et du système organique touché, qui comprennent les infections associées aux cathéters veineux centraux, les infections associées aux cathéters urinaires, les pneumonies associées à la ventilation mécanique, les infections du site chirurgical et les infections de la peau et des tissus mous **(Haqueetal, 2018)**.

Aux États-Unis, près de 3,2 % des patients hospitalisés développent une infection nosocomiale, contre environ 6,5 % au sein de l'Union européenne. À l'échelle mondiale, la prévalence s'avère nettement plus alarmante, provoquant une hausse majeure de la morbidité, un allongement coûteux des séjours et des milliers de décès évitables chaque année **(CDC, 2024 ; OMS, 2025)**.

En Algérie, une enquête sur la prévalence des infections nosocomiales a été réalisée chez l'ensemble des patients hospitalisés entre le 8 février et le 13 mars 1993, au niveau du Centre Hospitalo-Universitaire de Bab El Oued à Alger. Parmi les 426 patients hospitalisés, 69 cas d'infection ont été enregistrés, soit un taux de prévalence de 16,2 % **(Bizoucha et al., 1994)**. Par ailleurs, au Centre Hospitalo-Universitaire de Blida, une stratégie de surveillance des infections associées aux soins a été mise en place à travers des enquêtes périodiques de prévalence réalisées entre 2001 et 2008. Cette étude a concerné 2200 patients, parmi lesquels 107 cas d'infections nosocomiales ont été identifiés. Les taux de prévalence enregistrés au cours des huit enquêtes étaient respectivement de 9,5 %, 7,0 %, 4,5 %, 3,9 %, 3,0 %, 3,0 %, 5,3 % et 3,5 % **(Atif et al., 2009)**. Les infections nosocomiales ont un impact sur les patients et la communauté au sens large en raison de l'invalidité, de la durée plus longue des séjours à l'hôpital et de l'instabilité financière **(Khan et al., 2017)**.

I.1.2. Agents pathogènes

La cause des infections associées aux soins de santé dépend de la source ou du type d'infection et du pathogène responsable, car il peut s'agir d'une bactérie, d'un virus ou d'un champignon (**Sikora et Zahra, 2021**).

Les bactéries sont les principaux germes responsables des infections nosocomiales, représentant environ 90 % des cas (**Stobo et al., 1996**). Ces bactéries sont principalement composées de bacilles Gram négatif, notamment *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*, et de cocci Gram positif, notamment *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus spp.* Ces espèces bactériennes représentent 56 % des bactéries isolées lors d'infections nosocomiales (**Alfandari, 1997 ; Astagneau, 1998 ; Berrebi, 2009**).

Les bactéries ne sont pas les seuls agents responsables ; les champignons, les virus et les parasites peuvent également être à l'origine d'infections nosocomiales (**OMS, 2002**).

I.1.3. Facteurs de risque

Certaines maladies provoquent une immunosuppression légère ; parmi les patients à risque figurent : les grands brûlés, les patients alités présentant de nombreuses escarres, les patients polytraumatisés, ceux porteurs de dispositifs invasifs (assistance respiratoire, cathéters urinaires et divers types de cathéters), les patients souffrant d'insuffisance respiratoire, les personnes âgées et surtout les prématurés (**Berche et al., 1991**).

I.2. Bactéries multirésistantes

Les bactéries multirésistantes (BMR) sont des micro-organismes capables de résister à plusieurs classes d'antibiotiques, ce qui rend leur traitement difficile et limite les options thérapeutiques disponibles. Selon la définition internationale, une bactérie est considérée comme multirésistante lorsqu'elle présente une résistance à au moins un antibiotique dans trois classes différentes d'antimicrobiens (**Magiorakos et al., 2012**). Cette résistance est généralement liée à différents mécanismes, notamment des mutations génétiques ou l'acquisition de gènes de résistance, favorisant leur adaptation et leur survie face aux traitements antibiotiques (**Davies et Davies, 2010**).

Les BMR représentent aujourd'hui un problème majeur de santé publique, en particulier dans les milieux hospitaliers où elles sont souvent impliquées dans les

infections nosocomiales. Leur présence est associée à une augmentation de la morbidité, de la mortalité et des coûts des soins (OMS, 2017). Parmi les exemples les plus fréquents figurent *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (SARM), les entérobactéries productrices de BLSE et *Pseudomonas aeruginosa* (CDC, 2019).

I.2.1. *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie à Gram négatif appartenant au genre *Pseudomonas* et à la famille des *Pseudomonadaceae*. Elle se présente sous forme de bacille mobile grâce à un flagelle polaire et possède une grande capacité d'adaptation métabolique lui permettant d'utiliser divers substrats (Madigan *et al.*, 2015)(Figure n°1). C'est une bactérie largement répandue dans différents environnements. Elle est considérée comme un agent pathogène opportuniste important, souvent impliqué dans des infections nosocomiales graves. Cette bactérie se caractérise par une grande capacité d'adaptation, lui permettant de résister à des conditions défavorables. Grâce à ces propriétés, elle peut adhérer et survivre sur diverses surfaces, qu'elles soient biotiques ou abiotiques, ce qui favorise le développement d'infections, notamment chez les patients immunodéprimés (Engel et Balachandran, 2009).

Le traitement des infections dues à *Pseudomonas aeruginosa* est souvent difficile en raison de sa forte résistance intrinsèque à de nombreux antibiotiques, ainsi que de sa capacité à acquérir de nouveaux mécanismes de résistance après exposition aux traitements antibiotiques (Breidenstein *et al.*, 2011).



Figure n° 1: Aspect microscopique de *Pseudomonas aeruginosa* G×1000 (Khalilzadeh P, 2009)

1.2.2. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus est une bactérie à Gram positif se présentant sous forme de cocci, isolés ou regroupés en amas. Elle est immobile, non sporulée, parfois encapsulée, catalase positive et oxydase négative (**Dinges et al., 2000**) (Figure n°2). Elle est considérée comme l'espèce la plus pathogène du genre *Staphylococcus* et constitue l'une des principales causes d'infections bactériennes à travers le monde. Les infections qu'il provoque sont très variées, allant d'atteintes cutanées bénignes, telles que les furoncles, à des affections graves pouvant engager le pronostic vital, comme les septicémies, les intoxications alimentaires ou encore les infections du système nerveux central (**Lowy, 1998 ; Corne, 2004**).

La résistance aux antibiotiques chez *Staphylococcus aureus* constitue un problème majeur de santé publique, notamment en raison de l'émergence de souches résistantes à la méticilline (SARM) (**David et Daum, 2010**). D'après une étude réalisée en Algérie en 2004 sur la surveillance de la résistance des germes nosocomiaux, parmi 14 400 souches bactériennes isolées chez des patients hospitalisés, 3 246 ont été identifiées comme des bactéries multirésistantes, soit un taux de 22,5 %. Parmi ces infections, les souches de *Staphylococcus aureus* résistantes à la méticilline (SARM) représentent 38,6 % des infections nosocomiales enregistrées (**Rahal, 2004**).

Le pouvoir pathogène de *Staphylococcus aureus* repose sur l'intervention de nombreux facteurs de virulence. L'action combinée de ces facteurs explique la diversité des infections ainsi que la capacité de cette bactérie à provoquer différentes maladies chez l'homme (**Hiron, 2007**).



Figure n° 2: Aspect de *Staphylococcus aureus* après une coloration de gram G×1000 (Hennekinne JA, 2009)

1.2.3. *Moraxella catarrhalis*

Moraxella catarrhalis est une bactérie à Gram négatif, de forme diplocoque et aérobie. Elle fait partie de la flore normale des voies respiratoires supérieures, notamment chez l'enfant. Elle est considérée comme un pathogène opportuniste impliqué principalement dans les infections respiratoires, telles que les otites moyennes, les sinusites et les bronchites, en particulier chez les enfants et les personnes âgées (**Murphy, 2009**) (Figure n°3).

Elle peut également être responsable d'infections plus sévères chez les sujets fragiles. Par ailleurs, cette bactérie présente une résistance aux antibiotiques, principalement liée à la production de β -lactamases, ce qui complique le traitement de certaines infections (**Verduin et al., 2002**).

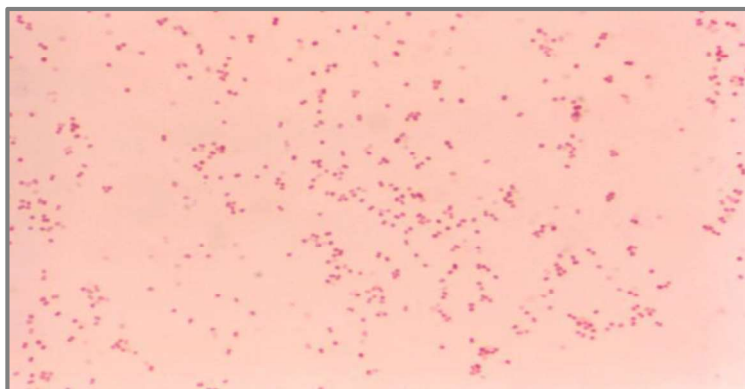


Figure n° 3 : Aspect de *Moraxella catarrhalis* après coloration de Gram G $\times 1000$ (CDC PHIL, 1977).

1.2.4. *Streptocoques β -hémolytiques*

Les *streptocoques β -hémolytiques* sont des bactéries à Gram positif, de forme cocci, généralement disposées en chaînes. Elles se distinguent par leur capacité à provoquer une hémolyse complète des globules rouges sur gélose au sang (**Murray et al., 2016**) (Figure n°4). Elles sont classées selon le système de Lancefield en plusieurs groupes, notamment les groupes A et B. Parmi ces derniers, *Streptococcus pyogenes* et *Streptococcus agalactiae* sont les plus importants en pathologie humaine (**Prescott et al., 2017 ; Murray et al., 2016**).

Ces bactéries peuvent être responsables de différentes infections, allant des affections bénignes comme les angines et les infections cutanées, jusqu'à des formes plus graves telles que la septicémie (**Walker et al., 2014**). Leur pouvoir pathogène s'explique

par la production de plusieurs facteurs de virulence, notamment des toxines et des enzymes qui facilitent l'invasion des tissus et leur permettent d'échapper au système immunitaire (Cunningham, 2000).

En général, elles restent sensibles aux β -lactamines, en particulier à la pénicilline, qui constitue le traitement de référence (Stevens *et al.*, 2014). Toutefois, une résistance croissante a été observée vis-à-vis d'autres antibiotiques, comme les macrolides et les tétracyclines, en raison de mécanismes tels que la modification des cibles ou l'efflux actif (Leclercq, 2002).

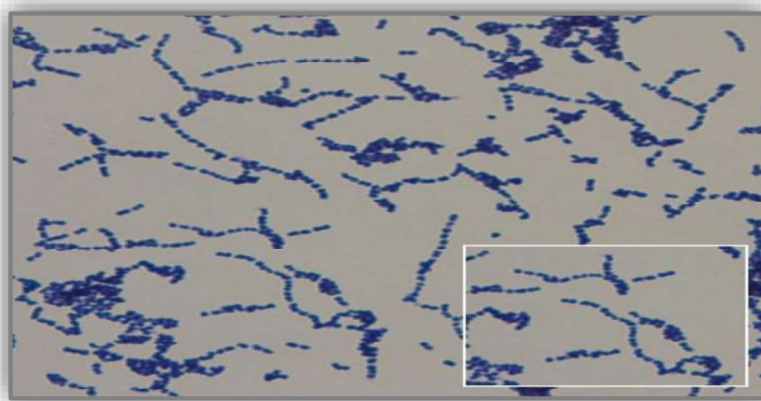


Figure n°4 : Aspect microscopique des *streptocoques* β -hémolytiques G $\times$ 1000 (Murray *et al.*, 2016)

I.3. La cochenille du cactus (*Dactylopius opuntiae*)

I.3.1. Généralités et origine de *Dactylopius opuntiae*

Dactylopius opuntiae (Cockerell) est un insecte hémiptère appartenant à la famille des *Dactylopiidae*, communément appelé cochenille du cactus. Cette espèce est étroitement liée aux plantes du genre *Opuntia*, notamment *Opuntia ficus-indica*, qui constitue son principal hôte (Mazzeo *et al.*, 2019) (Figure n°5). Originnaire du continent américain, en particulier du Mexique, *D. opuntiae* a été introduit dans plusieurs régions du monde à la suite des échanges commerciaux et de la propagation de son hôte. Certaines espèces du genre *Dactylopius* ont d'ailleurs été utilisées comme agents de lutte biologique contre les *cactus envahissants*, notamment en Australie et en Afrique du Sud (Mazzeo *et al.*, 2019 ; Moran et Zimmermann, 1984). Cependant, dans les zones où le figuier de Barbarie est cultivé, cette espèce est devenue un ravageur important. Elle s'est largement répandue dans le bassin méditerranéen, en particulier en Espagne, au Maroc et dans

plusieurs pays d'Afrique du Nord, où elle représente une menace sérieuse pour les cultures d'*Opuntia* (Mazzeo *et al.*, 2019 ; Bouharroud *et al.*, 2016).

Aujourd'hui, *D. opuntiae* est considérée comme l'une des espèces les plus agressives du genre *Dactylopius*, en raison de sa forte capacité d'adaptation, de sa rapidité de propagation et de l'ampleur des dégâts qu'elle peut causer aux plantations de cactus (Mazzeo *et al.*, 2019 ; Paterson *et al.*, 2011)



Figure n°5 : État d'infestation des *Opuntia* par les cochenilles *Dactylopius opuntiae* (Berhe *et al.*, 2023).

I.3.2. Biologie et cycle de vie

Le cycle de vie de *Dactylopius opuntiae* est similaire à celui des autres espèces du genre *Dactylopius*. Le développement comprend deux stades nymphaux chez la femelle avant d'atteindre le stade adulte, tandis que le mâle passe par deux stades nymphaux suivis d'un stade pré-pupal et pupal avant l'émergence de l'adulte (Moran et Cobby, 1979 ; Perez-Guerra et Kosztarab, 1992).

La durée du cycle biologique varie en fonction des conditions environnementales. En conditions de laboratoire, le cycle complet dure environ 77 jours chez la femelle et 43 jours chez le mâle (Flores-Hernández *et al.*, 2006 ; Romero López *et al.*, 2006). En milieu naturel, cette durée peut varier entre 40 et 180 jours pour les femelles et entre 35 et 52 jours pour les mâles, en fonction des conditions climatiques (Mann, 1969 ; Ochoa *et al.*, 2015). La reproduction est généralement sexuée, mais des cas de parthénogenèse ont été observés dans certaines conditions, notamment à des températures élevées, ce qui peut entraîner une diminution de la descendance (Mann, 1969 ; Flores-Hernández *et al.*, 2006). Après l'éclosion, les jeunes larves, appelées « crawlers », présentent une phase de dispersion active de 24 à 48 heures avant de se fixer sur les cladodes de la plante hôte. Elles peuvent également être transportées passivement par le vent grâce aux filaments

circieux qui recouvrent leur corps (Mann, 1969 ; Foxcroft et Hoffmann, 2000). Le développement de *D. opuntiae* est fortement influencé par les conditions environnementales, en particulier la température. Une température optimale d'environ 30 °C favorise son développement, tandis que des températures élevées peuvent réduire la survie et la reproduction des individus (Karny, 1972 ; Flores-Hernández *et al.*, 2006).

L'espèce peut produire entre quatre et cinq générations par an dans des conditions favorables, ce qui contribue à sa capacité de prolifération rapide et à son importance en tant que ravageur des cultures de cactus (Mann, 1969).

I.3.3. Impact sur le cactus

Dactylopius opuntiae est un insecte piqueur-suceur qui provoque des dégâts importants sur les cactus du genre *Opuntia*, notamment *Opuntia ficus-indica*. Il se nourrit de la sève végétale et forme des colonies denses sur les cladodes, pouvant parfois recouvrir entièrement la plante (Mena et Rosas, 2004 ; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016).

L'activité trophique de cet insecte entraîne l'apparition de symptômes caractéristiques tels que la chlorose, la nécrose et le dessèchement progressif des tissus végétaux. Les cladodes infestés peuvent se détériorer et tomber, tandis que les fruits subissent une chute prématurée, entraînant ainsi une diminution significative de la production (Mann, 1969 ; Santos *et al.*, 2006). En cas d'infestations sévères, les plantes peuvent dépérir et mourir en moins d'une année. L'affaiblissement du cactus favorise également l'installation d'autres agents pathogènes, aggravant les dommages causés (Batista-Lopes *et al.*, 2010). Par ailleurs, la présence de *D. opuntiae* peut modifier l'équilibre biologique de la plante hôte, notamment en influençant la communauté fongique endophyte associée aux tissus végétaux (Freire *et al.*, 2015).

I.3.4. Moyens de lutte contre *Dactylopius opuntiae*

- **Lutte chimique**

La lutte chimique contre *Dactylopius opuntiae* repose sur l'utilisation d'insecticides destinés à réduire rapidement les populations du ravageur. Au Mexique, les produits les plus cités sont le malathion, le parathion méthylique, le chlorpyrifos et le trichlorfon (Badii et Flores, 2001). D'autres essais ont également montré l'intérêt de substances comme la cyperméthrine ou certaines huiles minérales, bien que l'efficacité

du traitement puisse être réduite par la couche cireuse qui protège l'insecte (**Pretorius et van Ark, 1992 ; Torres et Giorgi, 2018**).

- **Lutte mécanique**

La lutte mécanique est surtout recommandée lorsque l'infestation est encore limitée. Elle consiste principalement à enlever manuellement les cladodes infestés ou à nettoyer les plantes atteintes, puis à détruire rapidement les parties contaminées afin d'éviter la dissémination de la cochenille. Cette méthode est jugée efficace au début de l'attaque, même si elle reste coûteuse et difficile à appliquer à grande échelle (**Santos et al., 2006a ; Torres et Giorgi, 2018**).

- **Lutte biologique**

La lutte biologique représente une alternative particulièrement intéressante dans les programmes de gestion intégrée. Plusieurs ennemis naturels ont été signalés en association avec *D. opuntiae*, notamment *Hyperaspis trifurcata*, *Chilocorus cacti*, *Leucopis bellula*, *Sympherobius barberi* et *Cryptolaemus montrouzieri* (**Vanegas-Rico et al., 2010 ; Torres et Giorgi, 2018**). *H. trifurcata* est souvent considérée comme l'un des prédateurs les plus abondants et les plus efficaces, tandis que *C. montrouzieri* a donné des résultats prometteurs dans certains essais de biocontrôle (**Bouharroud et al., 2018 ; Protasov et al., 2017**). Plusieurs agents microbiens et extraits naturels ont été étudiés contre *D. opuntiae*. Des champignons entomopathogènes comme *Beauveria bassiana* ont montré des résultats encourageants, bien que leur efficacité puisse être influencée par les conditions environnementales (**Santos et al., 2011**).

De même, certains composés naturels et extraits de neem, un biopesticide issu d'un arbre tropical, ainsi que le D-limonène ou d'autres terpènes, ont montré une activité notable contre les stades immatures de la cochenille (**Lopes et al., 2009b ; Pérez-Ramírez et al., 2014**).

I.4. L'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L.

I.4.1. Présentation de *Ruta chalepensis* L.

Ruta chalepensis L. également appelée Rue de Chalep, est une plante aromatique de la famille des *Rutacées*. Localement, on l'appelle « Fidjel ». C'est une

espèce méditerranéenne, répandue dans tout le nord de l'Algérie (**Baba Aissa, 1999**). Cette ancienne herbe médicale a été utilisée chez les Grecs comme talisman contre la sorcellerie et comme contrepoison. Et chez les Romains pour améliorer la vision (**Duval, 1992**). Le terme « *chalepensis* », qui signifie « originaire d'Alep » (ville de Syrie), fait référence soit au lieu d'origine des premiers spécimens ayant permis d'identifier et de classer cette espèce, soit à sa forte présence dans cette région (**Beniston, 1984**).



Figure n° 6: Feuilles de *Ruta chalepensis* L.
(Cliché Bennaoum, 2011).



Figure n° 7: Fleur de *Ruta chalepensis* L.
(Cliché Bennaoum, 2011)



Figure n° 8: Le fruit en capsule de *Ruta chalepensis* L.
(Cliché Bennaoum, 2011).

I.4.1.1. Description botanique

Ruta chalepensis L. est une plante herbacée vivace qui s'élève à environ 1 m de haut. Ses tiges, à la fois ramifiées, cylindriques et dures, présentent une base ligneuse ainsi qu'une texture glabre d'un vert glauque (**Lamnaouer, 2006**). Elle est garnie de feuilles alternes et pétiolées, affichant une teinte vert jaunâtre plus ou moins marquée.

Celles-ci sont découpées en segments de forme ovale-elliptique et sont parsemées de fines glandes (**Quezel et Santa, 1962**).

Elle est composée de nombreuses folioles obtuses, parfois presque linéaires. Ses bractées sont grandes, de forme ovale ou lancée, présentant souvent une base en cœur ; elles s'avèrent bien plus larges que le rameau ou le pédoncule qui les soutient (**Bock, 2009**) (Figure n°6). Disposées en corymbe à l'extrémité des tiges et des rameaux, les fleurs mesurent de 8 à 10 cm (**Quezel et Santa, 1962**). Leur calice est court et glabre, composé de quatre sépales ovales et aigus. La corolle, de couleur jaune, présente quatre ou cinq pétales concaves et ovales, dont les marges sont ciliées-frangées les étamines très ouvertes (Figure n°7). Le fruit se présente comme une capsule allongée mesurant 6 – 7 x 5 – 6 mm, constituée de 4 – 5 lobes soudés (Figure n°8). Ces lobes sont obtus à presque aigus, portés par un pédicelle dont la longueur atteint 5 – 10 mm (**Quezel et Santa, 1962**).

I.4.1.2. Répartition géographique

Selon **Eberhard et al. (2005)**, *Ruta chalepensis* L. est largement répandue dans l'ensemble de la région méditerranéenne. Elle est également cultivée dans plusieurs régions du monde, notamment à l'ouest de l'archipel indonésien, au Mexique, ainsi qu'en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Cette plante est très répandue en Afrique du Nord, notamment en Algérie. Dans ce pays, elle est également cultivée dans les jardins (**Merghache et al., 2009**). La plante pousse également en nord-est de l'Afrique, sud de l'Europe et le sud-ouest de l'Asie (**Mioulane, 2004**).

En Algérie, *Ruta chalepensis* L. est relativement commune dans toute l'Algérie septentrionale. Elle est principalement répartie dans les régions telliennes et les zones littorales du Nord du pays, où prédominent les conditions bioclimatiques méditerranéennes favorables à son développement (**Baba Aissa, 1999 ; Quézel et Santa, 1962-1963**) (Figure n°9).

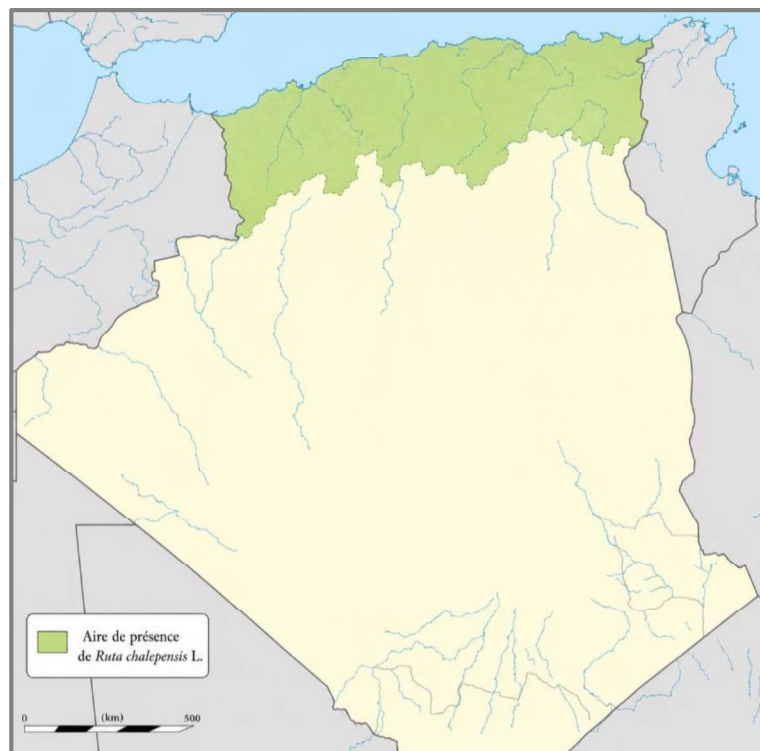


Figure n° 9 : Répartition géographique de *Ruta chalepensis* L. en Algérie. Source réalisée à partir des données de Quézel et Santa (1962–1963).

I.4.1.3. Taxonomie

La situation botanique de l'espèce *Ruta chalepensis* L. (السذاب, الفيجل) est donnée ci-dessous (Wiart, 2006 ; Takhtajan, 2009)

- **Règne :** *Plantae*
- **Sous règne :** *Tracheobionta* (plantes vasculaires)
- **Super division :** *Spermatophyta* (plantes à graine)
- **Division :** *Magnoliophyta* (plantes à fleurs)
- **Sous division :** *Angiospermae*
- **Classe :** *Magnoliopsida* (dicotylédons)
- **Sous classe :** *Rosidae*
- **Super ordre :** *Rutanae*
- **Ordre :** *Sapindales*
- **Famille :** *Rutacée*
- **Genre :** *Ruta*
- **Espèce :** *Ruta chalepensis*

I.4.1.4. Usage traditionnel et médicinal

La *Ruta chalepensis* L. Appréciée comme plante d'ornement dans les jardins (Ould-Mahi *et al.*, 2020).

Récemment, il a été démontré que les extraits de *Ruta chalepensis* L. déploient des vertus pharmacologiques majeures, en particulier des actions anti-inflammatoires. Cela justifie son emploi thérapeutique traditionnel contre le rhumatisme ou la goutte. Ces propriétés découlent de leur richesse en composés phénoliques et flavonoïdes, des molécules capables de neutraliser le stress oxydatif et de préserver l'intégrité cellulaire (Verma *et al.*, 2021). Sur le plan antimicrobien, ce végétal manifeste un potentiel remarquable face à de multiples germes bactériens et fongiques. Cette efficacité valide scientifiquement son application thérapeutique pour combattre diverses pathologies infectieuses (Perrin, 2017). Grâce à ses vertus spasmolytiques agissant directement sur les muscles lisses, ce végétal permet d'atténuer les contractions involontaires. Propriété qui justifie pleinement son usage traditionnel pour apaiser les douleurs gastriques, les coliques et les crampes menstruelles (Verma *et al.*, 2021).

Les applications traditionnelles évoluent selon les cultures. En Afrique, les extraits de *Ruta chalepensis* L. sont plébiscités pour leurs vertus utérotoniques et antidiarrhéiques, ainsi que pour soulager les syndromes grippaux, fébriles ou cardiovasculaires. Il est également utilisé pour apaiser les spasmes chez les enfants. (Schmelzer et Gurib-Fakim, 2013). Au Moyen-Orient et dans le monde arabe, la rue d'Alep est traditionnellement réputée pour ses vertus anti-inflammatoires et analgésiques, notamment face aux douleurs rhumatismales ou à la goutte. Elle est également intégrée dans des remèdes destinés à apaiser l'anxiété ainsi que diverses manifestations d'ordre neuropsychique (Perrin, 2017).

En Algérie, ce végétal est fréquemment employé comme fébrifuge, mais aussi pour apaiser les morsures de serpents et d'insectes, les céphalées ou les affections respiratoires telles que l'asthme. Il permet également de réguler les dysfonctionnements digestifs comme les nausées et la constipation, tout en soulignant son action bénéfique contre les névroses (Kouidri *et al.*, 2022).

I.4.2. Définition de l'huile essentielle

Une huile essentielle correspond à un mélange naturel complexe de métabolites secondaires, caractérisés par leur nature lipophile, volatile et odorante, généralement présents sous forme liquide dans des tissus végétaux spécialisés (**Bruneton, 2009**).

Selon la norme **AFNOR, 2000** « l'huile essentielle désigne le produit obtenu à partir d'une matière première d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe, soit par distillation « sèche ». Elle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques » (**AFNOR, 2000**). Les huiles essentielles se définissent comme des mélanges de molécules variées (**Franchomme et Penoel, 1990**).

On estime qu'il existe plus de 40 000 espèces aromatiques à travers le monde, représentant un potentiel majeur pour la valorisation des ressources végétales. Ces plantes ont la particularité de dégager des parfums qui signalent la présence, au cœur de leurs cellules, de sécrétions naturelles composées de molécules volatiles produites par l'organe végétal (**Padrini et Lucheroni, 1996**).

I.4.2.1. Composition chimique

Les huiles essentielles sont des solutions homogènes constituées de mélanges moléculaires complexes dont les constituants principaux se divisent, selon **Baudoux (2001)** et d'après leurs origines biogénétiques, en deux groupes majeurs : les terpénoïdes et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane. Le premier groupe rassemble les terpènes les plus volatils comme les monoterpènes (C₁₀) et les sesquiterpènes (C₁₅), qui peuvent être saturés, insaturés ou structurés de façon cyclique à polycyclique, tout en étant parfois accompagnés de dérivés oxygénés tels que les alcools ou les cétones (**Samate, 2002**). Le second groupe, moins systématique, comprend des dérivés du phénylpropane (allyle-phénols, propénylphénols ou aldéhydes) typiques des Apiacées comme l'anis, ou encore du girofle et de la cannelle (**Bruneton, 1993**).

Bien que l'on puisse y trouver de faibles quantités de composés acycliques non terpéniques, ces essences se classent entre des formes « simples », riches en un seul composant comme l'eugénol dans le girofle (80 %), et des formes « complexes » sans constituant prépondérant, à l'instar du vétiver qui contient une centaine de molécules dont le khusimol et les vétivones (**Jouhanneau, 1991**).

I.4.2.2. Méthodes d'extraction

Divers procédés sont employés pour extraire les essences végétales (Sallé, 2004). Le choix d'une méthode d'extraction d'huiles essentielles (HE) repose sur son efficacité : elle doit permettre d'obtenir une huile de haute qualité avec un rendement élevé, tout en minimisant les coûts. Parmi les diverses techniques existantes, l'hydrodistillation demeure la plus répandue. L'extraction des HE peut s'effectuer à partir de différentes parties de la plante, telles que les fleurs, les feuilles, les racines ou les graines (Benallou et al., 2018).

I.5. Effet antibactérien de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L.

L'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L. se distingue par une activité antibactérienne intéressante, dont l'intensité varie en fonction de l'origine géographique des échantillons. Cette variabilité est principalement liée aux différences de composition chimique influencées par les conditions environnementales. Ainsi, les résultats obtenus confirment le rôle déterminant du milieu sur les propriétés biologiques de cette plante (Jaradat et al., 2017). Certaines études ont montré que cette huile essentielle peut ne pas exercer d'effet inhibiteur sur certaines bactéries, notamment *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* et *Listeria monocytogenes* (Merghache et al., 2008). Une activité antimicrobienne notable de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L. obtenue par distillation à la vapeur. Celle-ci s'est révélée particulièrement efficace contre *Staphylococcus aureus*, suivie d'*Escherichia coli*, tandis que *Pseudomonas aeruginosa* s'est avérée moins sensible. Ces observations traduisent une variabilité dans la réponse des micro-organismes, tout en suggérant un potentiel d'application dans les domaines thérapeutique et pharmaceutique (Al-Ghamdi, 2020).

L'étude portant sur *Ruta chalepensis* L. subsp. *angustifolia* a mis en évidence une activité antibactérienne dépendante des souches bactériennes testées. L'huile essentielle a montré une efficacité plus marquée contre *Klebsiella pneumoniae* et *Escherichia coli*. Cette activité serait en relation avec sa composition chimique spécifique ainsi qu'avec les facteurs environnementaux, ce qui indique que son efficacité peut varier selon le type de bactérie ciblée (Chibani et al., 2013).

I.6. Effet insecticide de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L.

Les essences végétales issues des fleurs et des feuilles de *Ruta chalepensis* L. se distinguent par une activité biologique remarquable, agissant efficacement comme agents insecticides et anthelminthiques. Cette plante représente ainsi une ressource prometteuse pour la formulation de nouveaux biopesticides naturels plus performants, ainsi que pour le développement de traitements contre les nématodes (Akkari *et al.*, 2015). Cette huile essentielle a prouvé une efficacité notoire en tant qu'insecticide et répulsif vis-à-vis de certaines lignées de moustiques, particulièrement *Aedes aegypti* et *Anopheles quadrimaculatus*. Des tests de toxicité menés sur les larves ont d'ailleurs confirmé son fort potentiel larvicide (Ali *et al.*, 2013). L'huile essentielle de cette espèce exerce une action répulsive significative contre *Aegorhinus superciliosus*. Ce pouvoir de répulsion est étroitement corrélé à la concentration utilisée, devenant plus intense à des doses élevées. Ces observations suggèrent que cette essence pourrait constituer une alternative naturelle viable pour réguler la dissémination des insectes nuisibles (Tampe *et al.*, 2016).

D'un autre côté, les propriétés pesticides, larvicides et répulsives de *Ruta chalepensis* L. soulignent sa polyvalence. Il convient toutefois de noter que cette performance insecticide peut fluctuer selon la composition chimique de l'huile, laquelle demeure tributaire des conditions environnementales et de la provenance géographique. De ce fait, ces huiles essentielles s'imposent comme une base stratégique pour l'élaboration de biopesticides à usage agricole (Nahar *et al.*, 2021). L'activité insecticide de *Ruta chalepensis* L. s'étend également aux ravageurs des denrées stockées, tels que *Rhyzopertha dominica* et *Tribolium castaneum*. L'huile manifeste une toxicité importante, que ce soit par fumigation ou par ingestion, réaffirmant ainsi son statut de biopesticide naturel à haut potentiel (Majdoub *et al.*, 2014).

Partie II

Matériel et méthodes

II.1. Matériel végétale

L'espèce *R. chalepensis* L. fraîche a été récoltée en février 2026 à Sidi Bel Abbès, dans l'ouest Algérien (Figure n°10). Qui a été identifiée par le Pr Hasseini Belhachemi de l'université de Sidi Bel Abbès. La *R. chalepensis* L. sèche, quant à elle, a été achetée chez un herboriste à Mostaganem, qui l'avait approvisionnée de la région de Sidi Lakhdar, à l'est de la ville de Mostaganem (Figure n°11).

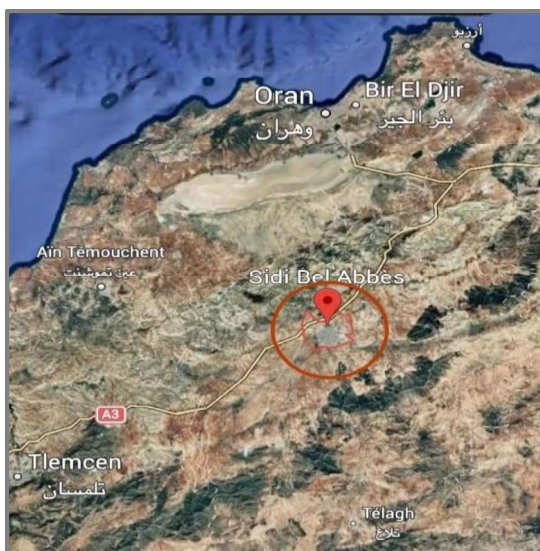


Figure n°10: Carte géographique montre la région de la récolte de la plante fraîche (Googleearth , 2026)

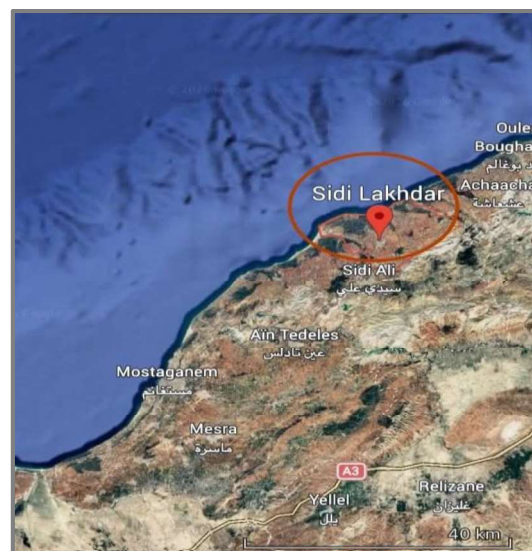


Figure n°11: Carte géographique montre la région de la récolte de la plante sèche (Googleearth , 2026)

II.2. Extraction de RCHE

II.2.1. Hydrodistillation

L'extraction de **HE** a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un hydrodistillateur clivenger (Figure n°12), selon le protocole décrit par **Bahri et al., (2025)**, Deux cents grammes des parties aériennes de la plante ont été introduits dans un ballon de 2 L contenant 1,5 L d'eau distillée, puis portés à ébullition pendant 3 heures. La vapeur chargée en huile essentielle traverse un condenseur, se liquéfie et est récupérée dans une ampoule à décanter, où l'huile se sépare de l'eau grâce à la différence de densité. L'huile obtenue est ensuite conservée à température de congélation dans des tubes en verre opaques.



Figure n° 12 : Hydrodistillateur clivenger pour l'extraction des l'huiles essentielles

II.2.2. Calcule du rendement

Le rendement en huile essentielle, exprimé en pourcentage, est déterminé conformément à la norme **AFNOR (1986)**, Il correspond au rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue après extraction et la masse de la matière végétale utilisée, selon la formule suivante :

$$R\% = (M_{HE} / M_P) \times 100$$

R% : Rendement en huiles essentielle.

M_{HE}: Masse d'huile essentielle en gramme.

M_P: Masse de plante en gramme.

II.3. Screening phytochimique

Le criblage phytochimique vise à identifier les composants chimiques spécifiques d'une plante en détectant les différents composés répartis dans ses organes. Ce procédé repose sur des protocoles incluant des tests de solubilité, des réactions de coloration et de précipitation, ainsi que la spectroscopie ultraviolette.

L'analyse phytochimique a été effectuée sur les parties aériennes *R. chalepensis* L. sèche, en appliquant des tests standards conformément aux protocoles décrits par **Paris *et al.* (1969), Rizk (1982), Cavé (1993), Debray *et al.* (1971) et Trease et Evans (1987).**

II.3.1. Tannins

Le test des tannins consiste à ajouter 2 ml d'eau et deux à trois gouttes de solution de chlorure ferrique à 1 % à 1 ml d'extrait éthanolique. Une coloration bleu foncé indique la présence de tannins galliques, tandis qu'une coloration verte ou bleu-vert indique la présence de tannins catécholiques.

II.3.2. Coumarine

Versez quelques gouttes d'eau distillée dans un tube à essai, ajoutez 1 gramme de poudre végétale. Recouvrez le tube d'un papier imbibé d'une solution diluée d'hydroxyde de sodium, puis portez à ébullition. L'observation sous lumière ultraviolette révèle une fluorescence jaune indiquant la présence de coumarine.

II.3.3. Les flavonoïdes

La détection des flavonoïdes s'effectue en ajoutant 5 ml d'extrait éthanolique à 1 ml d'acide chlorhydrique concentré et à 0,5 g de limaille de magnésium. L'apparition d'une coloration rose ou rouge après 3 minutes indique la présence de flavonoïdes.

II.3.4. Les saponosides

1 g de poudre végétale est bouilli 15 min dans 100 mL d'eau distillée. Après refroidissement et filtration, le filtrat est ajusté à 100 mL avec de l'eau. On répartit ce décocté dans 10 tubes (1 à 10 mL), puis on complète chaque tube à 10 mL avec de l'eau distillée. Après agitation axiale de 15 s et repos de 15 min, on mesure la hauteur de mousse. L'indice de mousse (IM) est calculé à partir du tube où la mousse atteint 1 cm :

$$IM=1000/N$$

(N = numéro du tube avec mousse de 1 cm).

II.3.5. Phénols

La présence des composés phénoliques a été mise en évidence par le test au chlorure ferrique. À 1 mL de l'extrait végétal, quelques gouttes de solution de $FeCl_3$ ont

été ajoutées. L'apparition d'une coloration bleu-noir, verte ou violette indique la présence des composés phénoliques.

II.4. Activité antibactérienne de RCHE

II.4.1. Souches microbiennes

Les HEs ont été testées contre *S. aureus*, *S. β-hémolytique*, *M. catarrhalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, sont des isolats cliniques multi-résistants (MDR). Ces souches proviennent de l'Etablissement Public Hospitalier (EPH) d'Ain Tedeles (Mostaganem, Algérie) et sont impliquées dans diverses infections nosocomiales.

Le profil de résistance de ces souches vis-à-vis des antibiotiques usuels est détaillé dans le tableau n° 1 ci-dessous :

Tableau n° 1: Profil de résistance aux antibiotiques des souches bactériennes étudiées.

Souches bactériennes	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Moraxella catarrhalis</i> N	<i>Streptococcus β-hémolytique</i>
Antibiotiques de résistance	OFX 5 SXT 25 LEV 5 AMX 25 GEN 10 E 15 CFM 5	LEV 5 SXT 25 OFX 5 CIP 5 GEN 10 CZ 30	CIP 5 CTX 30 OFX 5 P 10	CTX 30 AM 10 OFX 5 CZ 30 CN 120 LEV 5 AUG 30 SXT 25

II.4.2. Technique de l'aromatogramme (méthode de Vincent)

L'activité antibactérienne des HEs a été évaluée par la méthode de diffusion sur disque (**Bahri *et al.*, 2025**). En bref, 100 µL d'une suspension bactérienne, âgée de 12 à 18h, préparée dans une solution stérile de NaCl à 0,9 % et ajustée à 10⁸ UFC/mL, ont été étalés sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose Mueller-Hinton. Des disques stériles vierges d'antibiotiques (6 mm de diamètre) ont été imprégnés de 15 µL d'huiles essentielles et déposés sur la gélose ensemencée.

En parallèle, des témoins ont été utilisés pour le contrôle de l'essai. Un témoin positif constitué d'un antibiotique de référence a été employé afin de vérifier la sensibilité des souches bactériennes testées. Des disques vierges non imprégnés ont également été utilisés comme témoins négatifs.

Les boîtes ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 24 h et laissées à température ambiante pendant 30 min. L'activité antibactérienne a été évaluée en mesurant le diamètre (mm) de la zone d'inhibition, en trois exemplaires. L'expérience a été répétée 3 fois.

II.4.3. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

La concentration minimale inhibitrice (CMI) a été déterminée par la méthode de microdilution en milieu liquide à l'aide de microplaques stériles de 96 puits à fond plat (**Bahri et al., 2025**). La CMI correspond à la plus faible concentration d'une substance antibactérienne capable d'inhiber toute croissance visible d'un microorganisme.

Les suspensions bactériennes ont été préparées à partir de cultures jeunes de 12 à 18h dans une solution saline stérile à 0,85 %, puis ajustées à une densité correspondant à 0,8–1 McFarland. Les solutions mères des huiles essentielles ont été obtenues par dissolution dans du diméthylsulfoxyde (DMSO à 10 %). Des dilutions successives par progression géométrique de raison 2 ont été réalisées dans du bouillon Mueller-Hinton (MHB) afin d'obtenir les concentrations suivantes : 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128 et 1/256 (**Oussou et al., 2004**). Chaque puits de la microplaque contenait 100 µL des différentes dilutions d'huiles essentielles préparées à partir de la solution mère (40 µL d'huile essentielle et 960 µL de DMSO à 10 %), auxquels ont été ajoutés 10 µL de suspension bactérienne et 90 µL de bouillon Mueller-Hinton, afin d'obtenir un volume final de 200 µL. Le puits n°11, contenant uniquement le bouillon Mueller-Hinton, a servi de témoin négatif, tandis que le puits n°12, contenant le bouillon Mueller-Hinton et l'inoculum bactérien sans huile essentielle, a été utilisé comme témoin positif. Les microplaques ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 24 heures. Après incubation, 40 µL d'une solution de TTC à 0,4 mg/mL ont été ajoutés dans chaque puits, suivis d'une nouvelle incubation à 37 °C pendant 30 minutes.

La lecture des résultats a été effectuée par observation du changement de couleur : l'apparition d'une coloration rose indiquait une croissance bactérienne (**Ouguirti et al., 2021**).

La concentration minimale inhibitrice (CMI) a été définie comme la plus faible concentration d'huile essentielle capable d'inhiber toute croissance bactérienne visible (**Oussou et al., 2004**). Chaque huile essentielle a été testée individuellement vis-à-vis des quatre souches bactériennes étudiées.

II.4.4. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)

La concentration minimale bactéricide (CMB) a été déterminée par repiquage sur gélose Mueller-Hinton à partir des puits ne présentant aucune croissance visible après le test de microdilution. Les boîtes ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 24 heures. La plus faible concentration ne montrant aucune croissance bactérienne après incubation a été considérée comme la CMB (**Bahri *et al.*, 2025**).

II.5. Étude de l'Activité insecticide

II.5.1. L'insecte étudié

L'insecte testé est *Dactylopius opuntiae* est une espèce de cochenille originaire d'Amérique, connue pour être le ravageur le plus dévastateur du figuier de Barbarie (**Mendel *et al.*, 2020**). Depuis son introduction accidentelle dans le bassin méditerranéen (signalée au Maroc en 2014, en Algérie et en Tunisie plus récemment), elle cause des ravages considérables dans les plantations, menaçant la production de fruits, l'alimentation du bétail et l'industrie cosmétique. Les insectes utilisés ont été collectés dans la région de Sayada, Mostaganem (Algérie) en 2026 et fournis par **Mr. Boukrideche F.**

II.5.2. Évaluation de l'effet insecticide de RCHE par contact

L'évaluation du pouvoir insecticide de l'huile essentielle *Ruta chalepensis* L. sèche et fraîche a été déterminée par la méthode de contact décrite par **Ebrahimi *et al.* (2013)**. Pour cela, des boîtes de Pétri ont été utilisées comme chambre pour la détermination des matériaux d'essai sur le *Dactylopius opuntiae*. Cinq adultes (une sélection aléatoire des deux sexes) du même âge ont été placés sur du papier filtre humide (saturé d'eau distillée) dans une boîte de Pétri, puis laissés au repos pendant une demi-heure. Les huiles essentielles ont été appliquées directement sur les insectes à l'aide d'une micropipette. Un traitement témoin a été préparé contenant uniquement du DMSO (1 %). Les boîtes de Pétri ont été scellées avec du parafilm afin d'éviter toute fuite des *Dactylopius opuntiae*. Chaque essai a été réalisé cinq fois.

Partie III

Résultats et discussion

III.1. Rendement en huiles essentielles

L'hydrodistillation des parties aériennes de *R. chalepensis* L. sèche et fraîche ont fourni des huiles essentielles d'une couleur jaunâtre ayant une odeur intense et pénétrante. Leurs rendements moyens en huiles essentielles obtenus sont résumés dans le tableau n°2.

Tableau n°2 : Rendement d'extraction en (%) de *R. chalepensis* L. sèche et fraîche.

Huile essentielle	<i>Ruta chalepensis</i> L. sèche	<i>Ruta chalepensis</i> L. fraîche
Rendement (%)	1,17	0,73

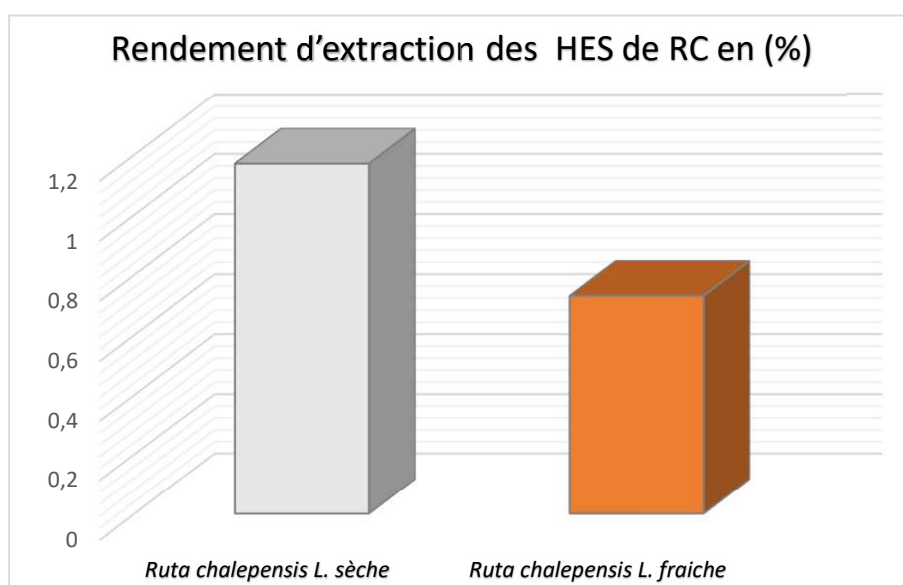


Figure n° 13: Rendement d'extraction en (%) de *Ruta chalepensis* L. sèche et fraîche

D'après les résultats du tableau n°2, illustrés par la figure n°13 les parties aériennes de *R. chalepensis* L. ont donné un rendement moyen en huile essentielle plus élevé pour les plantes sèches (1,17 %) que pour les plantes fraîches (0,73 %). Ces résultats restent proches de certaines données rapportées dans la littérature. En Algérie, **Bendif et al. (2019)** ont enregistré un rendement de 0,65 % pour l'huile essentielle de *R. chalepensis* issue de plantes sèches récoltées dans la région de Tlemcen. De même, **Merghache et al. (2009)** ont rapporté, dans la même région, un rendement de 0,93 %. **Akkari et al. (2015)**, travaillant sur des plantes récoltées dans la région de Zaghouan au nord de la Tunisie, ont obtenu des rendements de 0,69 % pour les feuilles et de 1,75 % pour les fleurs. En revanche, **Tampe et al. (2016)**, dans une étude réalisée au Chili, ont obtenu un rendement plus faible d'environ 0,3 %. Par ailleurs, **Mejri et al. (2010)** ont rapporté un rendement plus élevé atteignant 5,51 % pour l'huile essentielle de *R. chalepensis* récoltée dans la région d'El Fahs au nord de la Tunisie.

La variation du rendement en huiles essentielles peut être influencée par plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques telles que la température, l'humidité, l'ensoleillement et les précipitations (**Kastner, 1969 ; Vernet *et al.*, 1977**). D'autres paramètres, comme la période de récolte, le séchage, la zone géographique, l'organe végétal utilisé ainsi que la méthode d'extraction, peuvent également modifier le rendement en huile essentielle (**Vekiari *et al.*, 2002 ; Satrani *et al.*, 2004 ; Zrira *et al.*, 2008**).

III.2. Screening phytochimique

L'évaluation préliminaire de la composition phytochimique des parties aériennes de l'espèce étudiée a été réalisée à l'aide de tests qualitatifs de caractérisation. Cette analyse a permis de révéler la présence de différents groupes chimiques. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau n°3.

Tableau n°3: Résultats du screening phytochimique de *R. chalepensis* L.

Composés phytochimiques recherchés	<i>Ruta chalepensis</i> L.
Coumarine	+++
Flavonoïde	++
Tanins	+
Saponosides	–
Phénols	++

(+) : Présents; (++) : abondants ; (+++) : très abondants ; (-) : absents

Les résultats du screening phytochimique de la partie aérienne de *R. chalepensis* ont montré la présence de plusieurs métabolites secondaires avec des intensités variables. L'espèce étudiée se caractérise par une forte richesse en coumarines (+++), qui représentent les composés les plus abondants dans cette plante. L'analyse a également révélé la présence des flavonoïdes (++) ainsi que des composés phénoliques (++) en quantités importantes. Les tanins ont été détectés avec une faible intensité (+). Les saponosides étaient totalement absents dans la partie aérienne analysée.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Al-Said *et al.* (1990)**, En effet, ces derniers ont indiqué la présence des flavonoïdes, des coumarines et des tanins dans les parties aériennes de *R. chalepensis* L. Cependant, contrairement à nos résultats, ces auteurs ont également signalé la présence des saponines. De même, **Ouerghemmi *et***

al. (2016) ont montré que les extraits de *R. chalepensis* étaient particulièrement riches en coumarines, flavonoïdes et tanins, ce qui confirme les résultats obtenus dans notre étude. **Barbouchi et al. (2024)** ont rapporté que les différentes parties de *R. chalepensis* contiennent des métabolites secondaires importants tels que les flavonoïdes, les tanins catéchiques, les coumarines et les composés phénoliques, ce qui concorde avec nos résultats.

III.3. Etude de l'activité antibactérienne des RCHE

III.3.1. Technique de l'aromatogramme (méthode de Vincent)

L'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *R. chalepensis* L. fraîche et sèche, réalisée par la méthode de diffusion sur disques en milieu gélosé, a permis d'obtenir les résultats présentés dans le (tableau n°4) et (Figure n°14), parmi les souches testées, *S. aureus* et *S. β-hémolytique* ont montré la plus grande sensibilité, car elles ont été les seules à être inhibées par les deux huiles essentielles étudiées.

Tableau n° 4: Résultats de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Ruta chalepensis* L. (sèche et fraîche) exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition en mm:

Huile essentielle	Diamètres (mm)			
	<i>S. aureus</i>	<i>S.β-hémolytique</i>	<i>M.catarrhalis</i>	<i>P. aeruginosa</i>
R <i>chalepensis</i> L. sèche	18.44±1.76	15.98±1.73	0	0
R <i>chalepensis</i> L. fraîche	12.69±2.54	14.13±0.75	0	0
Contrôle positive Azithromycine	12	15	11	17
Contrôle négative DMSO 1%	0	0	0	0

Toutes les valeurs (zone d'inhibition incluant le diamètre du disque de 6 mm) sont exprimées en moyenne de trois essais ± écart type.

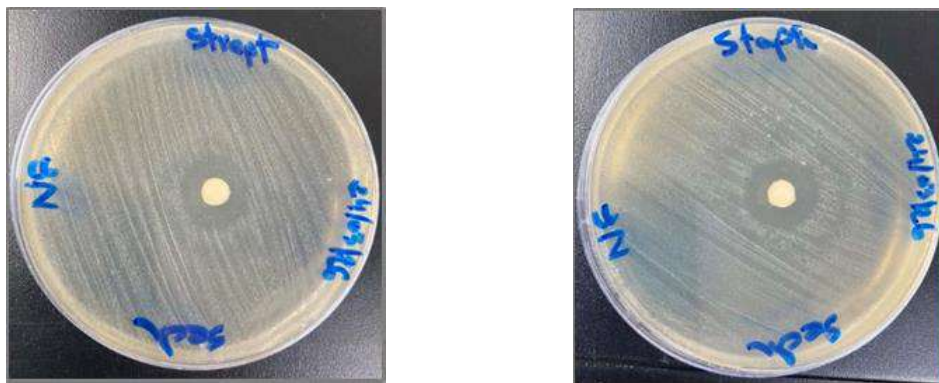


Figure n° 14: Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur *S. aureus* et *S. β -hémolytique*

Le témoin positif, représenté par l'azithromycine, a exercé une activité inhibitrice vis-à-vis de l'ensemble des souches bactériennes testées, avec des diamètres d'inhibition variant de 11 à 17 mm (Tableau n° 4). À l'inverse, les disques vierges utilisés comme témoins négatifs n'ont montré aucune activité antibactérienne (Annexe n°2). Ces observations confirment la validité de l'essai et indiquent que les zones d'inhibition enregistrées sont dues exclusivement à l'action des huiles essentielles étudiées.

Les résultats présentés dans le tableau n° 4 montrent que l'huile essentielle de *R. chalepensis* L. sèche a eu une activité antibactérienne plus forte que celle de l'huile de *R. chalepensis* L. fraîche. Les diamètres d'inhibition vont de 15.98 à 18.44 mm pour la première, et de 12.69 à 14.13 mm pour la seconde.

Nos résultats ont montré que *S. aureus* et le *S. β -hémolytique* étaient plus sensibles aux huiles essentielles de *R. chalepensis*, alors que *P. aeruginosa* et *M. catarrhalis* ont montré une forte résistance. Ces observations rejoignent les résultats d'**Al-Ghamdi (2020)**, qui a montré que RCHE a une forte activité antibactérienne contre *S. aureus*, tandis que *P. aeruginosa* était moins sensible. Ce résultat n'est pas surprenant pour *P. aeruginosa*, connue pour sa résistance intrinsèque élevée aux huiles essentielles. Ce phénomène s'explique par la faible perméabilité de sa membrane externe lipopolysaccharidique et l'action de ses pompes d'efflux, qui expulsent efficacement les composés actifs hydrophobes (**Burt, 2004 ; Pang et al., 2019**). **Arambula et al. (2019)** ont rapporté que *P. aeruginosa* était plus résistante que *St. aureus* à HERC, et qu'il fallait des concentrations plus élevées pour inhiber sa croissance, ce qui correspond à nos résultats (**Arambula et al., 2019**).

Les mécanismes d'action de l'RCHE sur les bactéries sensibles découlent de la nature hydrophobe de ses constituants majoritaires. Ces molécules s'accumulent dans la membrane cytoplasmique, altérant sa perméabilité et sa structure bilipidique. Ce

dysfonctionnement provoque une fuite massive des ions essentiels (K^+) et du matériel cellulaire vital, entraînant la dépolarisation membranaire, l'arrêt de la synthèse d'ATP et, in fine, la lyse de la cellule bactérienne (Burt, 2004 ; Gyawali et Doyle, 2014).

III.3.2. Détermination des concentrations minimales inhibitrice (CMI) et bactéricide (CMB) et du rapport CMB/CMI

La détermination des paramètres antibactériens, notamment la CMI et la CMB et le rapport CMB/CMI des huiles essentielles de *R. chalepensis* L. sèche et fraîche, a été réalisée uniquement sur les souches microbiennes ayant montré une sensibilité lors du test d'aromatogramme. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau n°5 et illustrés par les figures n°15,16 et 17.

Tableau n°5: Valeurs de la concentration minimale inhibitrice (CMI), de la concentration minimale bactéricide (CMB) et du rapport CMB/CMI des RCHE.

HE	<i>S. aureus</i>				<i>S.β-hémolytique</i>			
	CMI	CMB	CMB/ CMI	Activité	CMI	CMB	CMB/ CMI	Activité
RC sèche	4	4	1	Bactéricide	4	4	1	Bactéricide
RC fraîche	2	4	2	Bactéricide	4	4	1	Bactéricide

RC : *Ruta chalepensis* L. ; CMI : Concentration Minimale Inhibitrice ; CMB : Concentration Minimale Bactéricide ; HE : huile essentielle

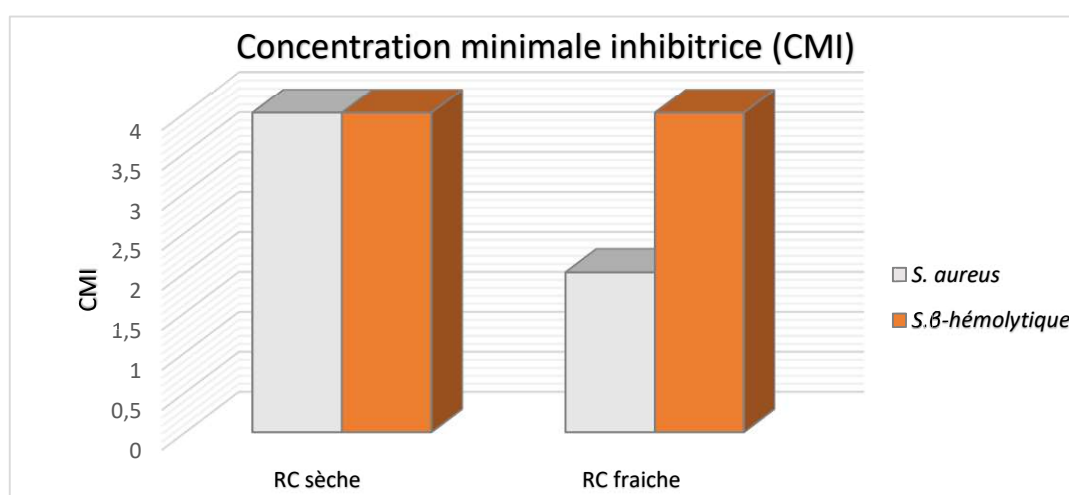


Figure n° 15 : Concentration minimale inhibitrice (CMI) par huile et bactérie

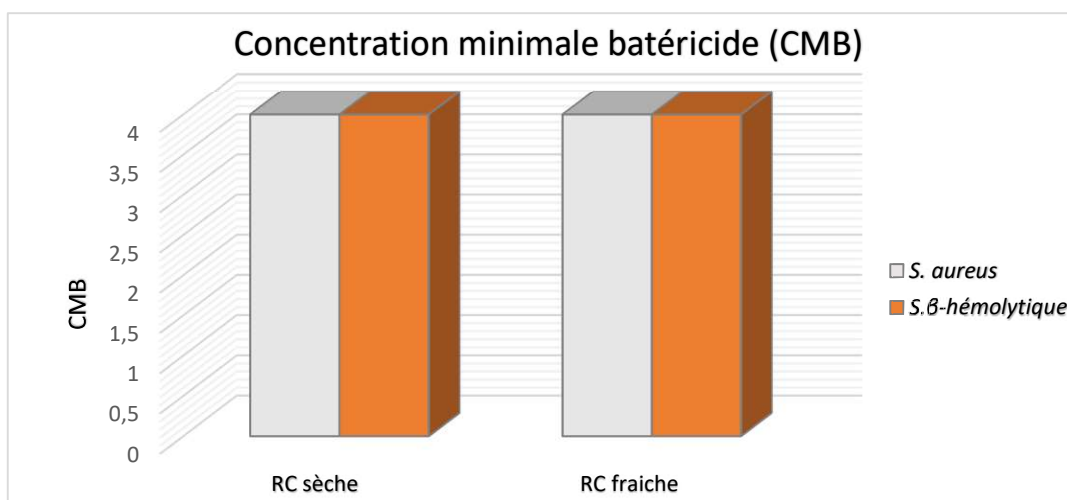


Figure n° 16: Concentration minimale bactéricide (CMB) par huile et bactérie

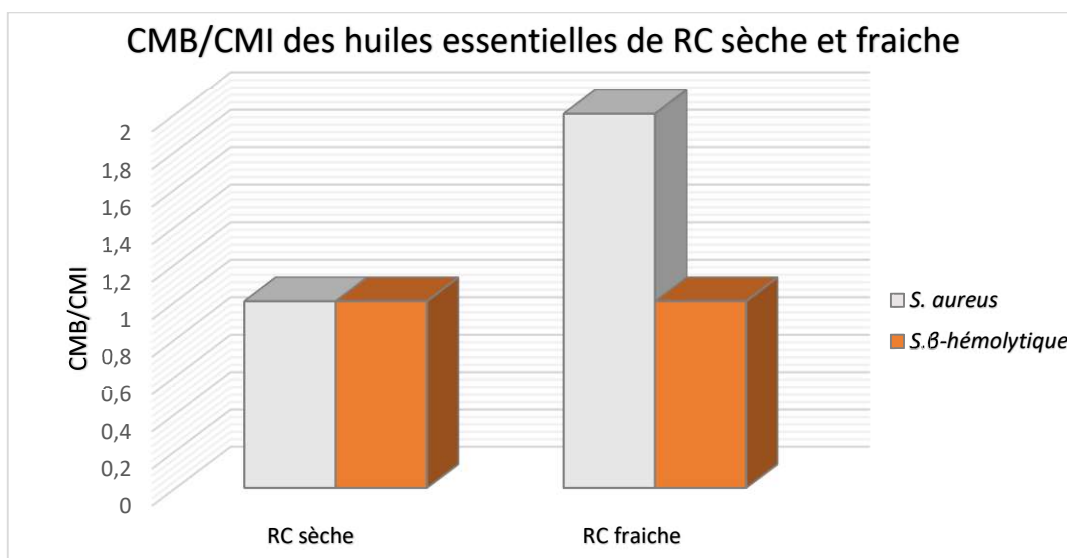


Figure n° 17 : CMB/CMI des huiles essentielles sur souches bactériennes

Les résultats obtenus, présentés dans le tableau n°5 et illustrés par les figures n°15, 16 et 17, montrent que les huiles essentielles de *R. chalepensis* fraîche et sèche possèdent une bonne activité antibactérienne contre *S. aureus* et les *S. β-hémolytiques*. Les valeurs de la CMI variaient entre 2 et 4 $\mu\text{L/mL}$, tandis que les valeurs de la CMB étaient de 4 $\mu\text{L/mL}$ pour les deux bactéries étudiées. La meilleure activité a été observée avec HERC fraîche contre *S. aureus*, avec une CMI de 2 $\mu\text{L/mL}$.

Les rapports CMB/CMI obtenus étaient compris entre 1 et 2, ce qui indique une activité bactéricide selon **Marmonier (1990)**. Des résultats similaires ont également été rapportés par **Merghache et al. (2009)**, qui ont mis en évidence l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *R. chalepensis* L. contre plusieurs bactéries pathogènes.

La sensibilité marquée des bactéries à Gram positif observée dans cette étude pourrait découler de l'impact direct des constituants bioactifs de l'RCHE sur leur enveloppe cellulaire. En effet, ces composés hydrophobes sont capables d'altérer la structure de la paroi peptidoglycane et de perturber la biosynthèse des macromolécules vitales, notamment les protéines et les acides nucléiques (Mickymaray, 2020 ; El-Saber Batiha *et al.*, 2021).

Par ailleurs, les bactéries à Gram positif se révèlent généralement plus vulnérables aux huiles essentielles du fait de la perméabilité de leur paroi majoritairement constituée de peptidoglycane. À l'inverse, les micro-organismes à Gram négatif arborent une membrane externe hydrophile, riche en lipopolysaccharides, qui fait office de barrière sélective restreignant la diffusion des molécules antimicrobiennes (Mickymaray, 2020 ; El-Saber Batiha *et al.*, 2021).

III.4. Étude de l'Activité insecticide de RCHE

Les critères méthodologiques pour l'évaluation de l'efficacité biopesticide des huiles essentielles sur le *Dactylopius opuntiae*. (Albouchi *et al.*, 2018 ; Ebrahimi *et al.*, 2013)

- **Délai d'évaluation (24 h) :** L'observation de la mortalité après 24 h est la période standard (ou temps de référence) pour mesurer la toxicité aiguë de contact ou d'inhalation des substances volatiles sur les insectes, bien que des suivis plus longs (48 h, 72 h) soient parfois effectués.
- **Critère de mortalité :** L'absence de mouvement lors d'une stimulation mécanique douce (à l'aide d'un pinceau fin) est la méthode universellement adoptée pour confirmer la mort de l'insecte plutôt qu'un simple état de "knock-down" (paralysie temporaire).

Le pourcentage de mortalité est calculé selon la formule d'Abbott (Abbott, 1925) :

$$M\% = [(M_T - M_C) / S_C] \times 100$$

M% : Pourcentage de mortalité ;

M_T : Mortalité (individus morts) dans la population traitée avec l'huile essentielle ;

M_C : Mortalité (individus morts) dans la population contrôle ;

S_C : Nombre de survivants dans la population contrôle.

II.4.1. Évaluation de la toxicité de l'huile essentielle par contact direct

L'évaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles de *Ruta chalepensis* L. fraîche et sèche a été réalisée par la méthode de contact direct sur *Dactylopius opuntiae*. Les résultats obtenus après 24 heures de traitement sont présentés dans le tableau n°6.

Tableau n°6: Taux de mortalité de *Dactylopius opuntiae* après traitement par les huiles essentielles de *Ruta chalepensis* L.

Huile essentielle	Taux de mortalité (%) après 24 h
<i>Ruta chalepensis</i> L. sèche	100
<i>Ruta chalepensis</i> L. fraîche	100

Les résultats obtenus montrent que les huiles essentielles de *Ruta chalepensis* L. fraîche et sèche présentent une activité insecticide très importante contre *Dactylopius opuntiae*, avec un taux de mortalité de 100 % après 24 heures de traitement. Ce qui confirme l'effet insecticide des huiles essentielles testées.

Cette activité pourrait être liée à la présence de composés bioactifs, notamment les terpènes et les composés phénoliques, connus pour leurs propriétés insecticides et leur capacité à perturber certaines fonctions physiologiques chez les insectes (Isman, 2006 ; Regnault-Roger *et al.*, 2012).

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Ali *et al.* (2013), qui ont montré que l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L. possède une activité insecticide importante contre certaines espèces de moustiques. De même, Tampe *et al.* (2016) ont mis en évidence l'effet répulsif de cette huile essentielle contre certains insectes ravageurs. Ces observations confirment le potentiel de *Ruta chalepensis* L. comme source naturelle prometteuse dans la lutte biologique contre les insectes nuisibles.

Conclusion

Au terme de cette étude, les résultats obtenus montrent que *Ruta chalepensis* L. constitue une plante intéressante par sa richesse en composés bioactifs et par le potentiel biologique de son huile essentielle.

L'extraction par hydrodistillation a permis d'obtenir un rendement plus élevé chez la plante sèche (1,17 %) que chez la plante fraîche (0,73 %). Cette différence peut être liée à plusieurs facteurs, notamment l'état du matériel végétal, la teneur en eau, la période de récolte, l'origine géographique ainsi que les conditions d'extraction.

Le screening phytochimique réalisé sur les parties aériennes de *Ruta chalepensis* L. a révélé la présence de plusieurs métabolites secondaires, avec une forte abondance des coumarines, suivies des flavonoïdes et des composés phénoliques. Les tanins ont été détectés avec une faible intensité, tandis que les saponosides étaient absents.

L'étude de l'activité antibactérienne a montré que les huiles essentielles de *Ruta chalepensis* L. fraîche et sèche possèdent une activité intéressante contre les bactéries Gram positif testées, notamment *Staphylococcus aureus* et les streptocoques β -hémolytiques. En revanche, aucune activité inhibitrice n'a été observée contre *Pseudomonas aeruginosa* et *Moraxella catarrhalis* dans les conditions expérimentales utilisées.

Les résultats des CMI et CMB ont confirmé cet effet antibactérien. Les valeurs de CMI variaient entre 2 et 4 $\mu\text{L/mL}$, tandis que les CMB étaient de 4 $\mu\text{L/mL}$. Les rapports CMB/CMI, compris entre 1 et 2, indiquent que les huiles essentielles testées exercent une activité bactéricide vis-à-vis des souches sensibles.

Par ailleurs, l'évaluation de l'activité insecticide a montré que les huiles essentielles de *Ruta chalepensis* L. fraîche et sèche présentent une forte toxicité contre *Dactylopius opuntiae*, avec un taux de mortalité de 100 % après 24 heures de traitement par contact direct. Ces résultats mettent en évidence l'intérêt potentiel de cette plante comme source naturelle de biopesticides dans la lutte contre ce ravageur du figuier de Barbarie.

Ainsi, cette étude met en évidence le potentiel antibactérien et insecticide de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L. Ces résultats encouragent la poursuite des recherches afin d'identifier les composés responsables de ces activités biologiques et d'envisager leur valorisation dans les domaines pharmaceutique, agricole et de la lutte biologique.

Références bibliographiques

- AFNOR (Association Française de Normalisation), 1986** – *Recueil des normes françaises : Huiles essentielles*. AFNOR, Paris, 57 p.
- AFNOR (Association Française de Normalisation), 2000** – *Recueil des normes françaises : Huiles essentielles. Monographies relatives aux huiles essentielles*. AFNOR, Paris.
- AIT MY, 2006** – *Plantes médicinales de Kabylie*. Éditions Ibis Press, Paris, 293 p.
- Akkari, H., Ezzine, O., Dhahri, S., B'chira, F., Rekik, M., Hajaji, S., Darghouth, M. A., Ben Jamâa, M. L. et Gharbi, M., 2015** – Chemical composition, insecticidal and in vitro anthelmintic activities of *Ruta chalepensis* (Rutaceae) essential oil. *Industrial Crops and Products*, n° 74, p. 745–751.
- Alfandari, S., 1997** – Infections nosocomiales : épidémiologie, critères du diagnostic, prévention et principe du traitement. *Impact Internat : Maladies infectieuses*, n° 4, p. 161–168.
- Al-Ghamdi, A. Y., 2020** – Composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Ruta chalepensis* L. in Al-Baha area, Saudi Arabia. *International Journal of Advanced Research*, n° 8, vol. 4, p. 1123–1130.
- Ali, A., Tabanca, N., Demirci, B., Blythe, E. K., Ali, Z., Baser, K. H. C. et Khan, I. A., 2013** – Biting deterrence, repellency, and larvicidal activity of *Ruta chalepensis* essential oil and its major constituents against *Aedes aegypti* and *Anopheles quadrimaculatus*. *Journal of Medical Entomology*, n° 50, vol. 6, p. 1267–1274.
- Al-Said, M. S., Tariq, M., Al-Yahya, M. A., Rafatullah, S. et Ginnawi, O. T., 1990** – Studies on *Ruta chalepensis*, an ancient medicinal herb still used in traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, n° 28, vol. 3, p. 305–312.
- Arambula, C. I., Diaz, C. E. et Garcia, M. I., 2019** – Performance, chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Ruta chalepensis* and *Origanum vulgare*. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1386, article 012059.
- Astagneau, P., 1998** – Épidémiologie des infections nosocomiales. *Revue du Praticien*, n° 48, p. 1525–1529.
- Baba Aissa, 1999** – *Encyclopédie des Plantes Utiles : Flore d'Algérie et du Maghreb*. Librairie Moderne, Rouiba, p. 243–244.
- Badii, M. H. et Flores, A. E., 2001** – Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist*, n° 84, p. 503–505.
- Balouiri, M., Sadiki, M. et Ibnsouda, S. K., 2016** – Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, n° 6, vol. 2, p. 71–79.
- Barbouchi, M., Sabiri, M., Elamrani, A. et collaborateurs, 2024** – Phytochemical screening, quantitative analysis and antioxidant properties of crude extracts from stems, leaves and flowers of three *Ruta* species. *South African Journal of Botany*, n° 173, p. 1045–1054.
- Batista-Lopes, E., De Brito, C. H., Cavalcanti, I. et De Luna, B. J., 2010** – Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp. et *Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, n° 7, p. 204–215.
- Baudoux, D., 2001** – *Les cahiers pratiques d'aromathérapie selon l'école française. Vol. 1 : Pédiatrie*. Collection « L'aromathérapie professionnellement », Éditions Amyris, Belgique.
- Bendif, H., et al., 2019** – Yield, chemical composition and antibacterial activity of *Ruta chalepensis* L. essential oil growing spontaneously in Algeria. *Pharmaceutical and Pharmacological International Journal*, n° 7, vol. 4, p. 238–242.

- Beniston W. S. (1984).** Fleurs d'Algérie. Ed. *Entreprise nationale des livres*, - Alger, 120p.
- Bennaoum Z. 2011.** *Ruta chalepensis* L. et *Ruta montana* (Clus.) L. dans les monts de Tessala : Ecologie et mise en évidence du pouvoir antifongique de leurs produits naturels, *mémoire de magister*.
- Berhe, Y. K., Portillo, L., & Vásquez-Bolaños, M. (2023).** Testing *Opuntia ficus-indica* genotypes for resistance against *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 49(2), e12760.
- Berrebi W, 2009,** Diagnostics et thérapeutique de poche : Guide pratique dusymptôme à la prescription. 5ème édition, *ESTEM*, Paris, 1826p
- Bock B. 2009.** Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France ; *Ruta chalepensis* L. *TelaBotanica BDNFF*, 4 (02) : 1/2.
- Bouharroud R, Amarraque A & Qessaoui R (2016)** First report ofthe *Opuntia cochineal* scale *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *EPPO Bulletin* 46: 308–310.
- Bouharroud R, Sbaghi M, BoujghaghM& El BouhssiniM(2018)** Biological control of the prickly pear cochineal *Dactylopiusopuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *EPPO Bulletin* 48 : 300–306.
- Bousseboua H. (2001 ; 2006).** *Eléments de microbiologie générale*. 32, 160-167
- Breidenstein, E.B.M., 2011.** De la Fuente-Núñez C, Hancock REW. *Pseudomonas aeruginosa*: all roads lead to resistance. *Trends Microbiol*, 19 : 419-426.
- Bruneton J, 2009,** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 4ème édition, Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 1292p
- Bruneton J. 1993.** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales, Tec & Doc. *Lavoisier, Paris*, 2ème édition, 915 p.
- Burt, S. (2004).** Essential oils: their antibacterial properties and potentialapplications in foods, a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3),223-253.
- Cavé A. (1993).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 2èmeEd. Tec. EtDoc.Ed. *Lavoisier*, Paris,274-285.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC), 1977 – Photomicrograph of Gram-stained Moraxella catarrhalis**, Public Health Image Library (PHIL), Image ID 15012.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2019).** Antibiotic resistance threats in the United States.
- Chibani, S., Bouratoua, A., Kabouche, A., Laggoune, S., Semra, Z., Smati, F., & Kabouche, Z. (2013).** Composition and antibacterial activity of the essential oil of *Ruta chalepensis* subsp. *angustifolia* from Algeria. *Der Pharmacia Lettre*, 5(5), 252–255.
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). 2023.** Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 33rd edition, CLSI supplement M100, Wayne, PA, USA.
- Cosentino, S. et Tuberoso, C. I. G., 1999 –** In vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oils. *Letters in Applied Microbiology*, n° 29, vol. 2, p. 130–135.
- Cruz-Rodríguez, J. A., González-Machorro, E., Villegas González, A. A., Rodríguez Ramírez, M. L. et Mejía Lara, F., 2016 –** Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology*, n° 45, p. 642–648.

- Cunningham, M. W., 2000** – Pathogenesis of group A streptococcal infection. *Clinical Microbiology Reviews*, n° 13, vol. 3, p. 470–511.
- David, M. Z. et Daum, R. S., 2010** – Community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: epidemiology and clinical consequences of an emerging epidemic. *Clinical Microbiology Reviews*, n° 23, vol. 3, p. 616–687.
- Davies, J. et Davies, D., 2010** – Origins and evolution of antibiotic resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, n° 74, vol. 3, p. 417–433.
- Debray, M., Jacquemin, H. et Razafindrambo, R., 1971** – *Travaux et documents de l'ORSTOM*. Paris, n° 8.
- Delamare, G., 1999** – *Dictionnaire des termes de médecine*. 25^e édition, Maloine, Paris.
- Dinges, M. M., Orwin, P. M. et Schlievert, P. M., 2000** – Exotoxins of *Staphylococcus aureus*. *Clinical Microbiology Reviews*, n° 13, vol. 1, p. 16–34. DOI : 10.1128/CMR.13.1.16-34.2000.
- Dorman, H. J. D. et Deans, S. G., 2000** – Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, n° 88, vol. 2, p. 308–316.
- Douk, K. D., Dagher, M. S. et Sattout, J. E., 1995** – Antifungal activity of the essential oil of *Origanum syriacum* L. *Journal of Food Protection*, n° 58, p. 1147–1149.
- Duval, J., 1992** – La culture de la rue. *AGRO-BIO*, n° 3, p. 6–45.
- Eberhard, T., Robert, A. et Annelise, L., 2005** – *Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et leurs huiles essentielles*. Éditions Tec & Doc, Paris, 521 p.
- Edition A.S.N., 2012** – *CLSI document M07-A9*. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne (USA), n° 32, vol. 2, p. 18–20.
- Eloff, J. N., 1998** – A sensitive and quick microplate method to determine the minimal inhibitory concentration of plant extracts for bacteria. *Planta Medica*, n° 64, vol. 8, p. 711–713.
- El-Saber Batiha, G., Beshbishy, A. M. et Wasef, L. G., 2021** – Chemical constituents and antibacterial mechanisms of *Ruta* species: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, n° 268, article 113642.
- Engel, J. et Balachandran, P., 2009** – Role of *Pseudomonas aeruginosa* type III effectors in disease. *Current Opinion in Microbiology*, n° 12, p. 61–66.
- Ennadir, J., Hassikou, R., Bouazza, F., Arahou, M., Al Askari, G. et Khedid, K., 2014** – Évaluation in vitro de l'activité antibactérienne des extraits aqueux et organiques des graines de *Nigella sativa* L. et de *Foeniculum vulgare* Mill. *Phytothérapie*, n° 12, p. 302–308. Lavoisier SAS. DOI : 10.1007/s10298-014-0885-z.
- Flores-Hernández, A., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E. O., Salazar-Torres, J. C., García-Hernández, J. L. et Troyo-Diéguez, E., 2006** – Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, n° 77, p. 97–102.
- Foxcroft, L. C. et Hoffmann, J. H., 2000** – Dispersal of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth (Cactaceae), in the Kruger National Park. *Koedoe*, n° 43, p. 1–5.
- Franchomme, P. et Penoël, D., 1990** – *L'aromathérapie exactement : encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles*. Éditions Jollois, Limoges.
- Gyawali, R. et Doyle, M. P., 2014** – Mechanisms of antimicrobial actions of phytochemicals against foodborne pathogens. *Food Control*, n° 45, p. 117–130.

- Haddouchi, F., Lazouni, H. A., Meziane, A. et Benmansour, A., 2009** – Étude physicochimique et microbiologique de l'huile essentielle de *Thymus fontanesii* Boiss. & Reut. *Afrique Science*, n° 5, vol. 2, p. 246–259.
- Haque, M., Sartelli, M., McKimm, J. et Abu Bakar, M., 2018** – Health care-associated infections: an overview. *Infection and Drug Resistance*, n° 11, p. 2321–2333.
- Harborne, J. B., 1998** – *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*. 3^e édition, Springer, London.
- Hassan, S. W., Umar, R. A., Lawal, M., Biblis, L. S., Muhammed, B. Y. et Dabai, Y. U., 2006** – Evaluation of antibacterial activity and phytochemical analysis of root extracts of *Boxia angustifolia*. *African Journal of Biotechnology*, n° 5, vol. 18, p. 1602–1607.
- Hennekinne, J. A., 2009** – *Nouvelles approches pour la caractérisation des toxi-infections alimentaires à staphylocoques à coagulase positive*. Thèse de Doctorat, Université AgroParisTech, France, p. 16–17.
- Hiron, A., 2007** – *Les transporteurs de peptides de Staphylococcus aureus*. Thèse de Doctorat en Microbiologie, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris.
- Eloff, J. N., 1998** – A sensitive and quick microplate method to determine the minimal inhibitory concentration of plant extracts for bacteria. *Planta Medica*, n° 64, vol. 8, p. 711–713.
- Jaque, C. et Paltz, G., 1999** – *Le fascinant monde des huiles essentielles*. Éditions Lavoisier, Paris, 123 p.
- Jaradat, N., Adwan, L., K'aibni, S., Zaid, A. N., Shraim, N., Shataya, M. J. Y. et Assali, M., 2017** – Variability of chemical compositions and antimicrobial and antioxidant activities of *Ruta chalepensis* leaf essential oils from three Palestinian regions. *BioMed Research International*, vol. 2017, article ID 2672689.
- Jouhannau, D. G., 1991** – *La médecine des plantes aromatiques : phyto-aromathérapie et les huiles essentielles de l'océan Indien*. Azalées Éditions, Saint-Denis, 153 p.
- Karny, M., 1972** – Comparative studies on three *Dactylopius* species (Homoptera: Dactylopiidae) attacking introduced *Opuntia* in South Africa. *Entomology Memoir*, n° 26, p. 1–19.
- Kastner, G., 1969** – The dependence of yield and quality of thyme grown as a two-year crop on the date of harvesting and the cutting height in the autumn of the year of sowing. *Pharmazie*, n° 24, p. 226–235.
- Khalfallah, A., Labed, A., Semra, Z., Kaki, B. A., Kabouche, A., Touzani, R. et Kabouche, Z., 2011** – Antibacterial activity and chemical composition of the essential oil of *Ammi visnaga* L. (Apiaceae) from Constantine, Algeria. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, n° 1, vol. 3, p. 302–305.
- Khalilzadeh, P., 2009** – *Formation de biofilm à Pseudomonas aeruginosa : évaluation d'inhibiteurs potentiels du Quorum Sensing*. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier (Toulouse III), Toulouse.
- Khan, H. A., Baig, F. K. et Mehboob, R., 2017** – Nosocomial infections: epidemiology, prevention, control and surveillance. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, n° 7, p. 478–482.
- Klančnik, A., Piskernik, S., Jeršek, B. et Možina, S. S., 2010** – Evaluation of diffusion and dilution methods to determine the antibacterial activity of plant extracts. *Journal of Microbiological Methods*, n° 81, vol. 2, p. 121–126.

- Kouidri, M., et al., 2022** – Ethnobotanical survey of medicinal plants used in the treatment of dermatological disorders in the region of Tiaret, Algeria. *Journal of Herbal Medicine*, n° 30, article 100481.
- KTLS, Araujo, G. R., Bezerra, J. D. P., Barbosa, R. N., Silva, D. C. V. et al., 2015** – Fungos endofíticos d'*Opuntia ficus-indica* (L.).
(Référence incomplète : compléter le titre intégral, le nom de la revue, le volume et la pagination.)
- Lamnaour, D., 2006** – Morphological description, geographical distribution and ecology of *Ruta chalepensis* L. (Rutaceae). *A Guide to Medicinal Plants in North Africa*, n° 12, vol. 1, p. 241–244.
- Le Moine, E., 2001** – *Les plantes aromatiques et médicinales*. Éditions Molière, Paris, 92 p.
- Leclercq, R., 2002** – Mechanisms of resistance to macrolides and lincosamides: nature of the resistance elements and their clinical implications. *Clinical Infectious Diseases*, n° 34, vol. 4, p. 482–492.
- Lopes, E. B., Albuquerque, I. C., Brito, C. H. et Batista, J. L., 2009a** – Velocidade de dispersão de *Dactylopius opuntiae* em palma gigante (*Opuntia ficus-indica*). *Engenharia Ambiental*, n° 6, p. 644–649.
- Lopes, E. B., Brito, C. H., Albuquerque, I. C. et Batista, J. L., 2009b** – Desempenho do óleo de laranja no controle da cochonilha-do-carmim em palma gigante. *Engenharia Ambiental*, n° 6, p. 252–258.
- Lowy, F. D., 1998** – *Staphylococcus aureus* infection. *The New England Journal of Medicine*, n° 339, p. 520–532.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M. et Stahl, D. A., 2015** – *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson Education.
- Magiorakos, A. P., Srinivasan, A., Carey, R. B., Carmeli, Y., Falagas, M. E., Giske, C. G. et al., 2012** – Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions. *Clinical Microbiology and Infection*, n° 18, vol. 3, p. 268–281.
- Mammeri, B., Bahri, F., Kouidri, M., Boudani, B. et Arioui, F., 2022** – Evaluation of chemical composition, anti-inflammatory, antibacterial activity and synergistic effect between antibiotics and the essential oil of *Artemisia campestris* L. *Journal of Applied Biological Sciences*, n° 16, vol. 2, p. 230–247.
- Mann, J., 1969** – Cactus-feeding insects and mites. *Bulletin of the United States National Museum*, n° 256, p. 1–158.
- Mazzeo, G., Nucifora, S., Russo, A. et Suma, P., 2019** – *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, n° 167, vol. 1, p. 59–72.
- Mejri, J., Abderrabba, M. et Mejri, M., 2010** – Chemical composition of the essential oil of *Ruta chalepensis* L.: influence of drying, hydro-distillation duration and plant parts. *Industrial Crops and Products*, n° 32, vol. 3, p. 671–673.
- Mena, C. et Rosas, J. Y. S., 2004** – *Guía para el manejo integral de las plagas de nopal tunero*. Publicación Especial n° 14, SAGARPA/INIFAP, Zacatecas, Mexico.
- Merghache, S., Hamza, M. et Tabti, B., 2009** – Étude physicochimique de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L. de Tlemcen, Algérie. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, n° 5, vol. 1.

- Merghache, S., Hamza, M., Bendahou, M. et Tabti, B., 2008** – Chemical composition and antimicrobial activity of *Ruta chalepensis* L. essential oil from Algeria. *Asian Journal of Chemistry*, n° 20, vol. 4, p. 2989–2996.
- Mickymaray, S., 2020** – Efficacy and mechanism of action of medicinal plant extracts against Gram-positive bacteria. *Antibiotics*, n° 9, vol. 2, article 54.
- Mill., [s.d.]** – (Cactaceae) sadia e infestada por *Dactylopius opuntiae* (Cockerell, 1896) (Hemiptera: Dactylopiidae). *Gaia Scientia*, n° 9, p. 104–110.
(Référence incomplète : compléter les auteurs, l'année de publication et le titre complet de l'article.)
- Mioulane, P., 2004** – *Encyclopédie universelle des 15 000 plantes et fleurs de jardins*. Larousse, Éditions Protea, p. 7–50.
- Moran, V. C. et Cobby, B. S., 1979** – On the life-history and fecundity of the cochineal insect, *Dactylopius austrinus* De Lotto (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia aurantiaca*. *Bulletin of Entomological Research*, n° 69, p. 629–636.
- Moran, V. C. et Zimmermann, H. G., 1984** – The biological control of cactus weeds: achievements and prospects. *Biocontrol News and Information*, n° 5, p. 279–320.
- Murphy, T. F., 2009** – *Moraxella catarrhalis*: epidemiology, surface antigens and immune response. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, n° 73, vol. 3, p. 563–582.
- Murray, P. R., Rosenthal, K. S. et Pfaller, M. A., 2016** – *Medical Microbiology*. 8^e édition, Elsevier.
- Nahar, L., El-Seedi, H. R., Khalifa, S. A. M., Mohammadhosseini, M. et Sarker, S. D., 2021** – *Ruta* essential oils: composition and bioactivities. *Molecules*, n° 26, vol. 16, article 4766.
- Ncibi, S., Barbouche, N., Haouel-Hamdi, S. et Ammar, M., 2019** – Insecticidal activity of several Tunisian essential oils against two major pests of stored grain *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) and *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797). *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, n° 66, vol. 5, p. 4182–4194.
- Ochoa, M. J., Lobos, E., Portillo, L. et Viguera, A. L., 2015** – Importance of biotic factors and impact on cactus pear production systems. *Acta Horticulturae*, n° 1067, p. 327–333.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2002** – *Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002–2005*. WHO/EDM/TRM/2002.1, Genève, Suisse, 135 p.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2017** – *Antimicrobial resistance*.
- Ouerghemmi, I., Rebey, I. B., Rahali, F. Z., Bourgu, S., Pistelli, L., Ksouri, R., Tounsi, M. S. et Marzouk, B., 2016** – Chemical composition and bioactive properties of *Ruta chalepensis* L. extracts. *Industrial Crops and Products*, n° 82, p. 423–429.
- Mazzeo, G., Nucifora, S., Russo, A. et Suma, P., 2019** – *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, n° 167, vol. 1, p. 59–72.
- Mejri, J., Abderrabba, M. et Mejri, M., 2010** – Chemical composition of the essential oil of *Ruta chalepensis* L.: influence of drying, hydro-distillation duration and plant parts. *Industrial Crops and Products*, n° 32, vol. 3, p. 671–673.
- Mena, C. et Rosas, J. Y. S., 2004** – *Guía para el manejo integral de las plagas de nopal tunero*. Publicación Especial n° 14, SAGARPA/INIFAP, Zacatecas, Mexico.
- Merghache, S., Hamza, M. et Tabti, B., 2009** – Étude physicochimique de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* L. de Tlemcen, Algérie. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, n° 5, vol. 1.

- Merghache, S., Hamza, M., Bendahou, M. et Tabti, B., 2008** – Chemical composition and antimicrobial activity of *Ruta chalepensis* L. essential oil from Algeria. *Asian Journal of Chemistry*, n° 20, vol. 4, p. 2989–2996.
- Mickymaray, S., 2020** – Efficacy and mechanism of action of medicinal plant extracts against Gram-positive bacteria. *Antibiotics*, n° 9, vol. 2, article 54.
- Mill., [s.d.]** – (Cactaceae) sadia e infestada por *Dactylopius opuntiae* (Cockerell, 1896) (Hemiptera: Dactylopiidae). *Gaia Scientia*, n° 9, p. 104–110.
(Référence incomplète : compléter les auteurs, l'année de publication et le titre complet de l'article.)
- Mioulane, P., 2004** – *Encyclopédie universelle des 15 000 plantes et fleurs de jardins*. Larousse, Éditions Protea, p. 7–50.
- Moran, V. C. et Cobby, B. S., 1979** – On the life-history and fecundity of the cochineal insect, *Dactylopius austrinus* De Lotto (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia aurantiaca*. *Bulletin of Entomological Research*, n° 69, p. 629–636.
- Moran, V. C. et Zimmermann, H. G., 1984** – The biological control of cactus weeds: achievements and prospects. *Biocontrol News and Information*, n° 5, p. 279–320.
- Murphy, T. F., 2009** – *Moraxella catarrhalis*: epidemiology, surface antigens and immune response. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, n° 73, vol. 3, p. 563–582.
- Murray, P. R., Rosenthal, K. S. et Pfaller, M. A., 2016** – *Medical Microbiology*. 8^e édition, Elsevier.
- Nahar, L., El-Seedi, H. R., Khalifa, S. A. M., Mohammadhosseini, M. et Sarker, S. D., 2021** – *Ruta* essential oils: composition and bioactivities. *Molecules*, n° 26, vol. 16, article 4766.
- Ncibi, S., Barbouche, N., Haouel-Hamdi, S. et Ammar, M., 2019** – Insecticidal activity of several Tunisian essential oils against two major pests of stored grain *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) and *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797). *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, n° 66, vol. 5, p. 4182–4194.
- Ochoa, M. J., Lobos, E., Portillo, L. et Viguera, A. L., 2015** – Importance of biotic factors and impact on cactus pear production systems. *Acta Horticulturae*, n° 1067, p. 327–333.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2002** – *Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002–2005*. WHO/EDM/TRM/2002.1, Genève, Suisse, 135 p.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2017** – *Antimicrobial resistance*.
- Ouerghemmi, I., Rebey, I. B., Rahali, F. Z., Bourgu, S., Pistelli, L., Ksouri, R., Tounsi, M. S. et Marzouk, B., 2016** – Chemical composition and bioactive properties of *Ruta chalepensis* L. extracts. *Industrial Crops and Products*, n° 82, p. 423–429.
- Quézel, P. et Santa, S., 1962–1963** – *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome I et Tome II, Éditions du CNRS, Paris.
- Quézel, P. et Santa, S., 1962** – *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome I, Éditions du CNRS, Paris, 565 p.
(Ce document fait partie de la référence précédente ; dans la bibliographie finale, il convient soit de conserver les deux tomes ensemble, soit de citer séparément les tomes utilisés.)
- Rahal, K., 2004** – *Surveillance de la résistance des bactéries aux antibiotiques : projet de l'OMS*. 4^e rapport d'évaluation, 144 p.
- Randrianarivelo, R., 2010** – *Étude de l'activité antimicrobienne d'une plante endémique de Madagascar « Cinnamosma fragrans », alternative aux antibiotiques en crevetticulture*. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, 45 p.

- Remmal, A., Tantaoui-Elaraki, A., Bouchikhi, T. et Ettayebi, M., 1993** – Improved method for the determination of antimicrobial activity of essential oils in agar medium. *Journal of Essential Oil Research*, n° 5, vol. 2, p. 179–184.
- Revelas, A., 2012** – Healthcare-associated infections: a public health problem. *Nigerian Medical Journal*, n° 53, p. 59–64.
- Rizk, A. M., 1982** – Constituents of plants growing in Qatar. *Fitoterapia*, n° 53, vol. 2, p. 35–42.
- Romero López, B. E., Flores Hernández, A., Santamaría César, E., Salazar Torres, J. C., Ramírez Delgado, M. et Pedroza Sandoval, A., 2006** – Identificación, biología y adaptación de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae) a las condiciones ambientales de Bermejillo, Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, n° 5, p. 41–48.
- Sallé, J.-L., 2004** – *Les huiles essentielles : synthèse d'aromathérapie et introduction à la syopathicothérapie*. 2^e édition, Frison-Roche, 168 p.
- Samaté, D. A., 2002** – *Compositions chimiques d'huiles essentielles extraites de plantes aromatiques de la zone soudanienne du Burkina Faso : valorisation*. Thèse de Doctorat, Université d'Ouagadougou, 250 p.
- Santos, D. C., Farias, I., Lira, M. A., Santos, M. V. F., Arruda, G. P. et al., 2006a** – Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. IPA, Recife, Brésil.
- Santos, D. C., Lira, M., Farias, I., Dias, F. M., Costa, A. F. et al., 2006b** – Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim *Dactylopius* sp. em condições de campo. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, João Pessoa, Paraíba, Brésil.
- Santos, D. P., Silva, M. A. Q., Monteiro, A. C. et Gava, C. A. T., 2011** – Improving photoprotection of *Beauveria bassiana* conidia for biological control of the cactus pest *Dactylopius opuntiae* in the semiarid region northeast of Brazil. *Biocontrol Science and Technology*, n° 21, p. 893–902.
- Satrani, B., Farah, A., Fechtal, M., Talbi, M. et Bouamrani, M. L., 2004** – Composition chimique et activité antibactérienne et antifongique de l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* (L.) Lam. du Maroc. *Acta Botanica Gallica*, n° 151, vol. 1, p. 65–71.
- Schmelzer, G. H. et Gurib-Fakim, A., 2013** – *Medicinal Plants. Volume 1: Plant Resources of Tropical Africa*. PROTA Foundation, Wageningen, Pays-Bas.
- Sikora, A. et Zahra, F., 2021** – Nosocomial infections. In : *StatPearls* [Internet]. StatPearls Publishing.
- Stevens, D. L., Bryant, A. E. et Goldstein, E. J. C., 2014** – *Streptococcus pyogenes*. In : *Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases*. 8^e édition, Elsevier.
- Stobo, J., Traill, T., Hellmann, D., Ladenson, P. et Petty, B., 1996** – *The Principles and Practice of Medicine*. McGraw-Hill Professional, 1064 p.
- Takhtajan, A., 2009** – *Flowering Plants*. 2^e édition, Springer, p. 33–41 ; 375.
- Tampe, J., et al., 2016** – Chemical composition and repellent activity of *Ruta chalepensis* essential oil against *Aegorhinus superciliosus*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, n° 16, vol. 3, p. 775–786.
- Tampe, J., Parra, L., Huaiquil, K., Quiroz, A. et Mutis, A., 2016** – Repellent effect of *Ruta chalepensis* essential oil against *Aegorhinus superciliosus*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, n° 76, vol. 1, p. 42–47.
- Torres, J. B. et Giorgi, J. A., 2018** – Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco State, Brazil. *Phytoparasitica*, n° 46, p. 331–340.

- Trease, E. et Evans, W. C., 1987** – *Pharmacognosy*. 13^e édition, Baillière Tindall, London, p. 61–62.
(La mention « Cited in Karumi et al. » doit être utilisée uniquement dans le texte si la source originale n'a pas été consultée ; elle ne doit pas figurer dans la bibliographie finale.)
- Vanegas-Rico, J. M., Lomeli-Flores, J. R. et Rodríguez-Leyva, E., 2010a** – Hormigas asociadas a la cochinilla silvestre de nopal, *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Memoria del Congreso Nacional de Control Biológico*, n° 33, p. 189–192.
- Vanegas-Rico, J. M., Lomeli-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G. et Valdez, J. M., 2010b** – Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana*, n° 26, p. 415–433.
- Vekiari, S. A., Protopapadakis, E. F., Papadopoulou, P., Papanicolaou, D., Panou, C. et Vamvakias, M., 2002** – Composition and seasonal variation of the essential oil from leaves and peel of a lemon variety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, n° 50, vol. 1, p. 147–153.
- Verduin, C. M., Hol, C., Fleer, A., Van Dijk, H. et Van Belkum, A., 2002** – *Moraxella catarrhalis*: from emerging to established pathogen. *Clinical Microbiology Reviews*, n° 15, vol. 1, p. 125–144.
- Verma, S. K., et al., 2021** – Phytochemical and pharmacological potential of *Ruta chalepensis* L.: a review. *Journal of Medicinal Plants Research*, n° 15, vol. 1, p. 1–10.
- Vernet, P. H., Guillermin, J. L. et Gouyon, P. H., 1977** – Le polymorphisme chimique de *Thymus vulgaris* L. (Labiée). I. Répartition des formes chimiques en relation avec certains facteurs écologiques. *Ecologia Plantarum*, n° 12, vol. 2, p. 159–179.
- Walker, M. J., Barnett, T. C., McArthur, J. D., Cole, J. N., Gillen, C. M., Henningham, A. et al., 2014** – Disease manifestations and pathogenic mechanisms of Group A *Streptococcus*. *Clinical Microbiology Reviews*, n° 27, vol. 2, p. 264–301.
- Wiart, C., 2006** – *Medicinal Plants of the Asia-Pacific: Drugs for the Future?* World Scientific, p. 401–416.
- World Health Organization, 2017** – *Antimicrobial resistance*. Genève, Suisse.
(Cette référence est identique à celle déjà citée sous « OMS, 2017 » ; conserver une seule version dans la bibliographie finale.)
- Dorman, H. J. D. et Deans, S. G., 2000** – Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, n° 88, p. 308–316.
(Référence déjà citée précédemment ; ne pas la répéter dans la version finale.)
- Zahira, B., et al., 2013** – *100 plantes médicinales d'Algérie*. Éditions Palais du Livre, p. 131–135.
- Zrira, S., Elamrani, A., Pellerin, P., Bessière, J. M., Menut, C. et Benjilali, B., 2008** – Isolation of Moroccan *Ammi visnaga* oil: comparison between hydrodistillation, steam distillation and supercritical fluid extraction. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, n° 11, vol. 1, p. 30–35.

Annexes

Annexe n°1 :**Milieux de culture**

- **Bouillon nutritif (BN) (g/l)**

Peptone.....	5 g
Extrait de viande.....	2.5 g
Chlorure de sodium.....	2.5g
Eau distillée.....	500 ml

- **Gélose nutritive (GN) (g/l)**

Peptone.....	10 g
Extrait de viande.....	3 g
Extrait de levure.....	3 g
Chlorure de sodium.....	5 g
Agar.....	18 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH = 7,3 ± 0,2	

- **Mueller Hinton gélosé (M-H) (g/l) :**

Extrait de viande.....	3 g
Hydrolysate acide de caséine.....	17,5 g
Amidon.....	1.5 g
Agar.....	16 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH = 7,3	

- **Gélose Chapman (g/L) :**

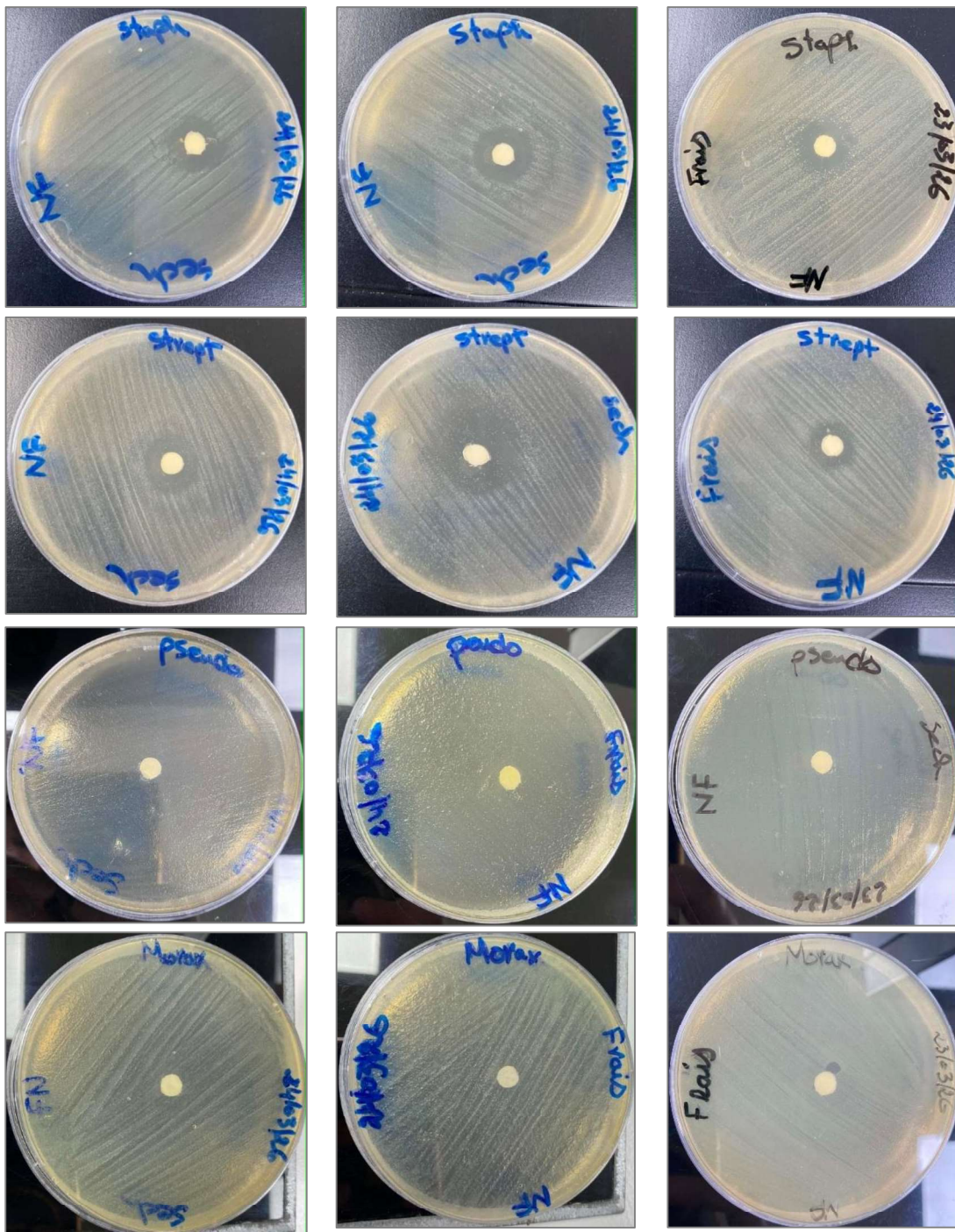
Peptone.....	10 g
Extrait de viande.....	1 g
Chlorure de sodium.....	75 g
Mannitol.....	10 g
Rouge de phénol.....	0,025 g
Agar.....	15 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH = 7,4 ± 0,2	

- **Milieu LB (Luria-Bertani) (g/L) :**

Tryptone.....	10 g
Extrait de levure.....	5 g
Chlorure de sodium.....	10 g

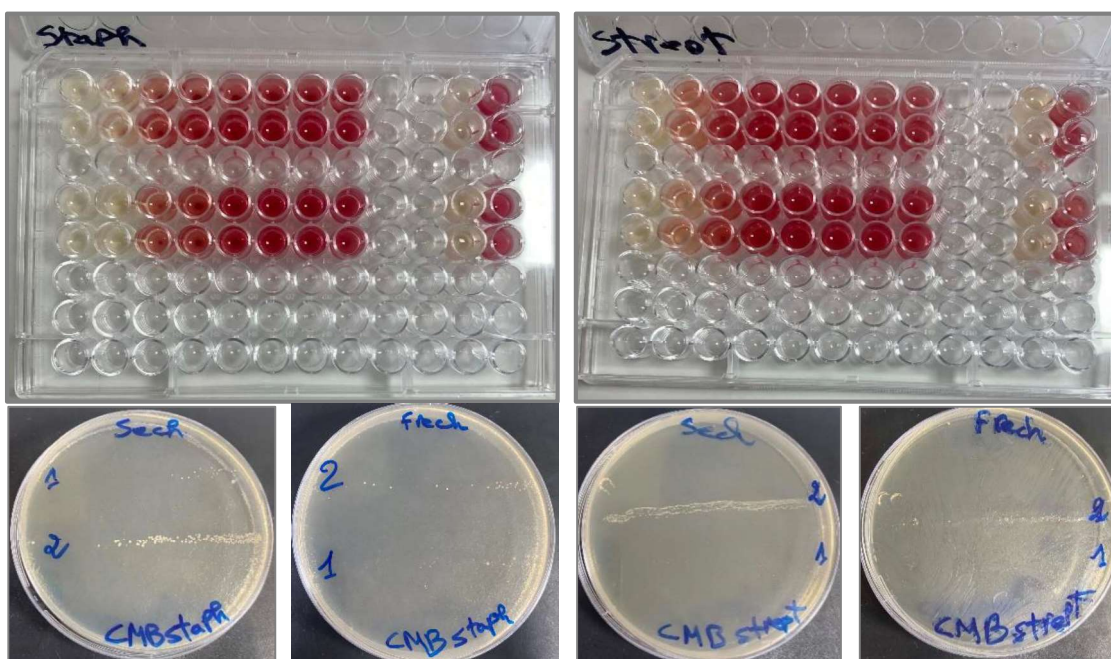
Agar (pour milieu solide).....15 g
 Eau distillée.....1000 ml
 pH = 7,0 ± 0,2

Annexe n°2 : Aromatogramme





Annexe n°3 : CMI et CMB



Annexe n°4 : Activité insecticide



