

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

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Biologie

Laboratoire des « Produits Naturels »
Laboratoire « Antibiotiques et Antifongiques : Physico-chimie, Synthèse et
Activité biologique »

MEMOIRE

Présenté par :

M^{lle} Bouabdallah Amina

M^{lle} Sari Amel Lamia

En vue de l'obtention du **Diplôme de MASTER en BIOLOGIE**

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème

**Composition et activités biologiques des huiles
essentielles de *Pituranthos scoparius* (Guezzah) et de
Myrtus communis (Rihan)**

Soutenu, le 08 / 07 / 2020, devant le jury composé de :

Président :

M^{elle} BENARIBA N.

Maître de Conférences « A »

Université de Tlemcen

Encadreur :

M^{me} BEKHECHI C.

Professeur

Université de Tlemcen

Examineur :

M^r SENOUCI BEREKSI M.

Maître de Conférences « B »

Université de Tlemcen

Année universitaire 2019/2020

Dédicaces

On dédie ce mémoire : À nos très chers parents, qui ont tout sacrifié pour nous dans toute notre vie et qui seraient très fiers et heureux de nous voir réussir, on leur demande de la santé, de la miséricorde et du pardon de Dieu et d'atteindre le grade le plus élevé dans le paradis, A travers ce travail on vous témoigne

notre amour et gratitude.

A nos frères et nos sœurs

A nos chers grands parents

A toute notre grande famille et à notre belle famille

A nos fiancés

A toutes nos meilleures amies spécialement Nihel, Soumia et Manar

A mes deux chères petites nièces Nihel et Manel...

Et à la très chère petite Inessou

A toutes celles et ceux qui nous aiment

A toutes les mains qui nous ont été tendue....

Remerciements

Avant tout, nos remerciements infinis sont adressés à « Dieu le Tout Puissant » de nous avoir donné le pouvoir de raisonner, d'exploiter les vérités de l'univers, pour terminer ce travail.

*Nous exprimons nos sincères remerciements du fond du cœur à notre Encadreur **M^{me} BEKHECHI Chahrazed**, Professeur à l'université de Tlemcen pour son soutien, ses conseils, sa gentillesse, sa disponibilité, sa patience, sa compréhension et ses intérêts portés pour notre thème de recherche.*

*Un grand remerciement va à notre responsable de spécialité **M^{elle} BENARIBA Nabila**, Maître de Conférences « A », à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury de ce travail.*

*Nous exprimons notre profonde reconnaissance **M^r SENOUCI BEREKSI Mohamed**, Maître de Conférences « B », à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance à **M^r MALTI Charaf Eddine**, Docteur en Biologie, à l'Université Tlemcen pour son aide, pour le partage de ses expériences, pour sa disponibilité au laboratoire durant tout le long de ce travail et pour ses nombreux conseils.*

Enfin, notre profond remerciement va à toutes les personnes qui nous ont aidées à l'élaboration de ce travail par leur aide et leur encouragement.

Merci à toutes et à tous....

المخلص

تكوين وأنشطة بيولوجية للزيوت الأساسية من *Pituranthos scoparius* (Guezzah) و *Myrtus communis* (Rihan)

من أجل تثمين النباتات العطرية في الجزائر، ركزنا اهتمامنا في هذه المذكرة على دراسة التركيب الكيميائي والأنشطة البيولوجية (مضاد للأكسدة، مضاد للميكروبات ومضاد للالتهابات) للزيوت الأساسية لنباتين، وهما: *Pituranthos scoparius* و *Myrtus communis* تنموان تلقائيًا في الجزائر.

تم الحصول على الزيوت الأساسية عن طريق التقطير المائي باستخدام جهاز من نوع Clevenger. يتعلق الجزء الأول بتوصيف الزيوت الأساسية للنباتين. جمعت عينات *P. scoparius* في منطقتين مختلفتين: غرداية وبيشار. تتفاوت مردودات الزيوت الأساسية بشكل كبير، حيث تتراوح من 0.32% إلى 0.46% ومن 0.38% إلى 0.96% على التوالي. تم تحليل الزيوت الأساسية باستخدام تقنيات التحليل الطيفي اللوني (CPG-Ir و CPG-SM). أتاح الجمع بين هاتين التقنيتين تحديد 31 مركبًا تمثل 93.1% من إجمالي تركيبة الزيوت الأساسية لـ *P. scoparius* المحصودة في منطقة غرداية، 30 مركبًا تمثل 92.5% من إجمالي التركيبة المحصودة في منطقة بشار. هذه الزيوت الأساسية غنية بالمواد *monoterpenes* و *phenylpropanoids*. تحتوي عينة غرداية على: Limonène (23.3%)، α -pinène (8.5%)، Germacrène D (8.3%)، α -Phellandrène (7.5%)، myristicine (6%) و (Z)-ligustilide (5.6%) كمركبات أغلبية، في حين أن بشار يهيمن عليه بشكل رئيسي 6-méthoxy *élémicine* (34.7%)، و sabinène (23.2%)، و α -pinène (19.4%). جمعت عينات *M. communis* من خمس محطات في منطقة تلمسان: بني خلاد، حونين، بني وارسوس، ندرومة وعين كبير. وبالمثل، فإن محتويات الزيت الأساسي لأوراق *Myrtus communis* متغيرة للغاية بمتوسطات تتراوح بين 0.30% و 0.85%. تمكنا من تحديد 26 مكونًا تمثل 97.1% من إجمالي التكوين. يهيمن على هذا الزيت الأساسي إلى حد كبير *monoterpenes* α -pinène (38.9%) و 1,8-cinéole (33.4%) هي المركبات الرئيسية، يليها limonène (9.9%).

تم تخصيص الجزء الثاني لدراسة الأنشطة البيولوجية. تم تقييم الطاقة المضادة للأكسدة بطريقة الحد من جذرية DPPH. أظهرت النتائج أن كل هذه الزيوت الأساسية التي تم اختبارها لها قدرة اختزال منخفضة مقارنة بمضادات الأكسدة المرجعية المستخدمة (حمض الأسكوربيك: $CI_{50} = 0.02 \pm 0.001$ مغ / مل). تم العثور على عينة *P. scoparius* من غرداية لتكون الأكثر نشاطًا مع CI_{50} في نطاق 6.48 مغ / مل. وأخيرًا، تم تحديد النشاط المضاد للبكتيريا لهذه الزيوت الأساسية من خلال طريقة نشر القرص ضد ست سلالات بكتيرية (2، *Escherichi coli*، *Pseudomonas aeruginosa*، *Staphylococcus aureus*، *Klebsiella pneumoniae* و *Bacillus cereus*). أثبتت جميع البكتيريا أنها مقاومة للغاية ضد الزيوت الأساسية في كلا النباتين باستثناء *Staphylococcus aureus* التي ثبت أنها حساسة للزيت الأساسي *Myrtus communis* بقطر منطقة التثبيط حتى 13 مم. تم العثور على عينتين من *Pituranthos scoparius* لتكون أقل نشاطًا ضد *Staphylococcus aureus*، مع أقطار مناطق تثبيط تتراوح بين 8.0 و 10.0 ملم.

أخيرًا، بسبب الأزمة الصحية الناجمة عن الفيروس التاجي (Covid-19)، لم نتمكن من تقييم القوة المضادة للفطريات لهذه الزيوت العطرية ضد الفطريات وكذلك النشاط المضاد للالتهابات عن طريق اختبار تثبيط تكسير الدهون في المختبر.

الكلمات المفتاحية: *Pituranthos scoparius*، *Myrtus communis*، الزيت الأساسي، التركيب الكيميائي، CPG-Ir، CPG-SM، النشاط المضاد للأكسدة، DPPH، CI_{50} ، الطاقة المضادة للبكتيريا

Résumé

Composition et activités biologiques des huiles essentielles de *Pituranthos scoparius* (Guezzah) et de *Myrtus communis* (Rihan)

Dans le but de valoriser les plantes aromatiques d'Algérie, nous nous sommes intéressés dans ce mémoire à l'étude de la composition chimique et les activités biologiques (antioxydante, antimicrobienne et anti-inflammatoire) des huiles essentielles de deux plantes, à savoir : *Pituranthos scoparius* et *Myrtus communis* poussant spontanément en Algérie.

Les huiles essentielles ont été obtenues par hydrodistillation avec un appareil de type Clevenger. La première partie concerne la caractérisation des huiles essentielles des deux plantes. Les échantillons de *P. scoparius* ont été collectés dans deux régions différentes : Ghardaïa et Béchar. Les rendements en huiles essentielles sont très variables, allant de 0,32 à 0,46% et de 0,38% à 0,96%, respectivement. L'analyse des huiles essentielles a été réalisée par les techniques chromatographique et spectroscopique (CPG-Ir et CPG-SM). La combinaison de ces deux techniques a permis d'identifier 31 composés représentant 93,1% de la composition totale pour l'huile essentielle de *P. scoparius* récolté dans la région de Ghardaïa, 30 composés représentant 92,5% de la composition totale pour celle de la région de Béchar. Ces huiles essentielles sont riches en monoterpènes et en phénylpropanoïdes. L'échantillon de Ghardaïa contient : limonène (23,3%), α -pinène (8,5%), germacrène D (8,3%), α -Phellandrène (7,5%), myristicine (6,0%) et (*Z*)-ligustilide (5,6%) comme composés majoritaires, tandis que celui de Béchar est dominé principalement par la 6-méthoxy élémicine (34,7%), le sabinène (23,2%) et l' α -pinène (19,4%). Les échantillons de *M. communis* ont été récoltés dans cinq stations de la région de Tlemcen : Beni Khellad, Honaine, Beni Ouarsous, Nedroma et Aïn Kebira. De même, les teneurs en huiles essentielles des feuilles de *Myrtus communis* sont très variables avec des moyennes allant de 0,30% à 0,85%. Nous avons pu identifier 26 constituants représentant 97,1% de la composition totale. Cette huile essentielle est largement dominée par les monoterpènes. L' α -pinène (38,9%), le 1,8-cinéole (33,4%) sont les principaux composés, suivis par le limonène (9,9%).

La deuxième partie a été consacrée à l'étude des activités biologiques. Le pouvoir antioxydant a été évalué par la méthode de la réduction du radical DPPH^{*}. Les résultats révèlent que l'ensemble de ces huiles essentielles testées ont une faible capacité réductrice en comparaison avec l'antioxydant de référence utilisé (acide ascorbique : $CI_{50} = 0,02 \pm 0,001$ mg/ml). L'échantillon de *P. scoparius* de Ghardaïa s'est révélé le plus actif avec une CI_{50} de l'ordre de 6,48 mg/ml. Enfin, l'activité antibactérienne de ces huiles essentielles a été déterminée par la méthode de diffusion sur disque vis-à-vis de six souches bactériennes (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, 2 *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus*). Toutes les bactéries se sont montrées très résistantes contre les huiles essentielles des deux plantes sauf *Staphylococcus aureus* qui s'est révélé sensible à l'huile essentielle de *Myrtus communis* avec un diamètre de la zone d'inhibition de l'ordre de 13 mm. Les deux échantillons de *Pituranthos scoparius* se sont révélés moins actifs contre *Staphylococcus aureus*, avec des diamètres des zones d'inhibition variant entre 8,0 et 10,0 mm.

Enfin, à cause de la crise sanitaire due au coronavirus (Covid-19), nous n'avons pas pu évaluer le pouvoir antifongique de ces huiles essentielles contre le mycélium ainsi que l'activité anti-inflammatoire par le test d'inhibition de la lipoxygénase *in vitro*.

Mots clés : *Pituranthos scoparius*, *Myrtus communis*, huile essentielle, composition chimique, CPG(Ir), CPG-SM, activité antioxydante, DPPH, CI_{50} , pouvoir antibactérien.

Abstract

Composition and biological activities of essential oils of *Pituranthos scoparius* (Guezzah) and *Myrtus communis* (Rihan)

In order to promote the Algerian medicinal and aromatic plants, we were interested in the study of the chemical composition and the biological activities (antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory) of two plants: *Pituranthos scoparius* and *Myrtus communis* which grow randomly in Algeria.

The essential oils were obtained by hydrodistillation using a Clevenger apparatus. The first part concerned the chemical characterization of the essential oil of the two plants. *P. scoparius* samples were collected in two different areas: Ghardaïa and Béchar. The essential oil yields are very variable, ranging from 0.32% to 0.46% and from 0.38% to 0.96% respectively. The essential oils were analysed by chromatographic and spectroscopic techniques (CG(RI) and CG-MS). The combination of these two techniques leads to the identification of 31 compounds which representing 93.1% of the total composition of *P. scoparius* from Ghardaïa, 30 compounds representing 92.5% of the total composition from Béchar. These essential oils are rich on monoterpenes and phenylpropanoids. The Ghardaïa sample contains: limonene (23.3%), α -pinene (8.5%), germacrene D (8.3%), α -phellandrene (7.5%), myristicine (6.0%) and (Z)-ligustilide (5.6%) as major compounds, while that of Béchar is dominated mainly by 6-methoxyelemicine (34.7%), sabinene (23.2%) and α -pinene (19.4%). *M. communis* samples were collected at five locations in the Tlemcen province: Beni Khellad, Honaine, Beni Ouarsous, Nedroma and Aïn Kebira. Similarly, essential oil yields of the leaves of *Myrtus communis* are very variable with averages ranging from 0.30% to 0.85%. We were able to identify 26 constituents representing 97.1% of the total composition. This essential oil is largely dominated by monoterpenes. The main compounds were α -pinene (38.9%) and 1,8-cineole (33.4%), followed by limonene (9.9%).

The second part was devoted to the study of biological activities. The antioxidant power was evaluated by the DPPH free radical scavenging method. The results revealed that all of these essential oils tested have a low reducing capacity by comparison with the reference compound (ascorbic acid: $IC_{50} = 0.02 \pm 0.001$ mg/mL). The sample of *P. scoparius* from Ghardaïa was found to be the most active with an IC_{50} in the range of 6.48 mg/mL. Finally, the antibacterial activity of these essential oils was determined by disc diffusion method against six bacterial strains (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, 2 *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*). All bacteria have been shown to be very resistant against the essential oils of both plants, except *Staphylococcus aureus* which has been shown to be sensitive to *Myrtus communis* essential oil with a diameter of the inhibition zone in the order of 13 mm. The two samples of *Pituranthos scoparius* were found to be less active against *Staphylococcus aureus*, with diameters of the zones of inhibition varying between 8.0 and 10.0 mm.

Finally, because of the health crisis due to the coronavirus (Covid-19), we were unable to evaluate the antifungal power of these essential oils against the mycelium as well as the anti-inflammatory activity by the inhibition test of the lipoxygenation *in vitro*.

Keywords: *Pituranthos scoparius*, *Myrtus communis*, essential oil, chemical composition, GC(Ir), GC-MS, antioxidant activity, DPPH, IC_{50} , antibacterial power.

Sommaire

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Abstract	
المخلص	
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique.....	3
Synthèse bibliographique des différentes plantes étudiées	4
I. <i>Pituranthos scoparius</i>	4
I.1. Présentation de la famille des Apiacées.....	4
I.2. Description botanique de l'espèce <i>Pituranthos scoparius</i>	4
I.3. Systématique de l'espèce <i>Pituranthos scoparius</i>	5
I.4. Répartition de l'espèce <i>Pituranthos scoparius</i>	6
I.5. Usages thérapeutiques	6
I.6. Travaux antérieurs	7
I.6.1. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Pituranthos scoparius</i>	7
I.6.2. Activités biologiques de l'huile essentielle <i>Pituranthos scoparius</i>	10
II. <i>Myrtus communis</i>.....	11
II.1. Description de la famille des Myrtacées.....	11
II.2. Description botanique de l'espèce <i>Myrtus communis</i>	11
II.3. Systématique de l'espèce <i>Myrtus communis</i>	11
II.4. Répartition de l'espèce <i>Myrtus communis</i>	12
II.5. Usages thérapeutiques	12
II.6. Travaux antérieurs	13
II.6.1. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>M. communis</i>	13
II.6.2. Activités biologiques de l'huile essentielle de <i>M. communis</i>	19
DEUXIEME PARTIE : Partie expérimentale.....	22
I. Matériel végétal.....	23
II. Extraction des huiles essentielles	24
III. Détermination des rendements en huiles essentielles	25
IV. Analyse des huiles essentielles.....	25
IV.1. Chromatographie en Phase Gazeuse.....	25
IV.1.1 Conditions opératoires.....	25
IV.1.2. Identification des constituants.....	25
IV.2. Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (CPG-SM).....	25
IV.2.1. Conditions opératoires.....	26
IV.2.2. Identification des constituants.....	26
V. Etude des activités biologiques des huiles essentielles de <i>Pituranthos scoparius</i> et de <i>Myrtus communis</i>	26
V.1. Activité antioxydante des huiles essentielles.....	26
V.1.1. Piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl).....	27
V.2. Activité antimicrobienne des huiles essentielles.....	28
V.2.1. Provenance des germes.....	28

V.2.2. Mise en culture des souches.....	28
V.2.3. Méthode d'étude du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles.....	29
TROISIEME PARTIE : <i>Résultats et discussion</i>.....	30
I. Rendements d'extraction.....	31
I.1. <i>Pituranthos scoparius</i>	31
I.2. <i>Myrtus communis</i>	33
II. Composition chimique des huiles essentielles de <i>Pituranthos scoparius</i> et de <i>Myrtus communis</i>.....	34
II.1. <i>Pituranthos scoparius</i>	34
II.2. <i>Myrtus communis</i>	37
III. Etude des activités biologiques des huiles essentielles.....	38
III.1. Pouvoir antioxydant des huiles essentielles.....	38
III.1.1. <i>Pituranthos scoparius</i>	39
III.1.2. <i>Myrtus communis</i>	41
III.2. Pouvoir antimicrobien des huiles essentielles.....	42
III.2.1. Détermination de l'activité antimicrobienne par la méthode de diffusion sur disque (aromatogramme).....	42
Conclusion.....	47
Références bibliographiques.....	50
Annexes.....	61

Liste des figures

Figure 1 : Aire de distribution de l'espèce <i>Myrtus communis</i>	12
Figure 2 : Situation géographique des lieux des prélèvements de <i>Pituranthos scoparius</i> ..	23
Figure 3 : Situation géographique des lieux des prélèvements de <i>Myrtus communis</i>	24
Figure 4 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH	27
Figure 5 : Rendements (%) en huile essentielle des parties aériennes de <i>Pituranthos scoparius</i> récoltées à Ghardaïa	31
Figure 6 : Rendements (%) en huile essentielle des parties aériennes de <i>Pituranthos scoparius</i> récoltées à Béchar	32
Figure 7 : Moyenne des rendements (%) en huile essentielle des feuilles de <i>Myrtus communis</i>	33
Figure 8 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Pituranthos scoparius</i> (Echantillon de Ghardaïa..	39
Figure 9 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Pituranthos scoparius</i> (Echantillon de Béchar) ...	39
Figure 10 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Myrtus communis</i>	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Origines des souches utilisées pour l'étude du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles	28
Tableau 2 : Comparaison des rendements en huile essentielle de <i>Pituranthos scoparius</i> obtenus avec ceux des travaux antérieurs	32
Tableau 3 : Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Pituranthos scoparius</i>	35
Tableau 4 : Composition chimique de l'huile essentielle du <i>Myrtus communis</i>	48
Tableau 5 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH des huiles essentielles des parties aériennes de <i>Pituranthos scoparius</i> exprimée en CI_{50}	40
Tableau 6 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH des huiles essentielles des feuilles de <i>Myrtus communis</i> exprimée en CI_{50}	41
Tableau 7 : Moyennes des diamètres des zones d'inhibition (en mm) des huiles essentielles relatives aux souches bactériennes selon la méthode de diffusion sur disque...	43

Liste des photos

Photo 1 : Vue d'ensemble d'un pied complet de l'espèce <i>Pituranthos scoparius</i> (Station de Béchar, le 28/05/2018)	5
Photo 2 : Pied complet de l'espèce <i>P. scoparius</i> (Station de Béchar, le 03/04/2018)	5
Photo 3 : Tiges et inflorescences de l'espèce <i>P. scoparius</i> (Station de Béchar, le 24/04/2016)	5
Photo 4 : <i>Myrtus communis</i> (Fleurs)	11
Photo 5 : <i>Myrtus communis</i> (Feuilles et fruits) (Station d'Aïn Kebira, le 18/03/2018)	11
Photo 6 : Huiles essentielles obtenues par hydrodistillation à partir des feuilles (à gauche) et des baies (à droite) de <i>Myrtus communis</i> récoltés au Portugal	13
Photo 7 : Montage d'un appareil d'hydrodistillation de type Clevenger	24
Photo 8 : Inhibition de <i>Staphylococcus aureus</i> par les huiles essentielles de <i>Pituranthos scoparius</i> (Echantillons : Ghardaïa et Béchar)	44
Photo 9 : Inhibition de <i>Bacillus cereus</i> par les huiles essentielles de <i>Pituranthos scoparius</i> (Echantillons : Ghardaïa et Béchar)	45
Photo 10 : Inhibition de <i>Staphylococcus aureus</i> et <i>Bacillus cereus</i> par l'huile essentielle de <i>Myrtus communis</i>	45
Photo 11 : Résistance de la souche <i>Pseudomonas aeruginosa</i> vis-à-vis de l'huile essentielle de <i>Myrtus communis</i>	45
Photo 12 : Sensibilité des souches bactériennes vis-à-vis de la ciprofloxacine	46

Liste des abréviations

APG III : Angiosperm Phylogeny Group III

CI₅₀ : Concentration d'inhibition de 50% des radicaux

CPG : Chromatographie en phase gazeuse

CPG-SM : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

DMSO : Diméthylsulfoxyde

DO : Densité optique (absorbance)

DPPH : 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl

HE : Huile essentielle

LOX : Lipoxygénase

Rdt : Rendement

UFC : Unité Formant Colonie

% : Pourcentage

Introduction

INTRODUCTION

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est associée à l'évolution des civilisations, car elles présentent un intérêt majeur et font partie des systèmes de santé dans de nombreuses parties du monde, en particulier dans les pays sous-développés. Les gens ont utilisé des plantes médicinales pendant des années en médecine traditionnelle comme remède de plusieurs maux. Durant les dernières décennies, on estime que 80% des personnes dans le monde dépendent des plantes médicinales dans le cadre de leur système de santé (**Ekor, 2014**).

Les plantes médicinales et aromatiques jouent encore un rôle très important dans l'art de guérir et dans les traditions médicales.

La principale caractéristique des plantes aromatiques est la biosynthèse des molécules odorantes qu'on appelle les huiles essentielles (**Chaker, 2010**). Ce sont des substances huileuses, volatiles et odorantes qui sont sécrétées par divers procédés (**Iserin et al., 2007**). Elles se retrouvent dans des glandes minuscules situées dans différentes parties de la plante aromatique : les feuilles, les fleurs, les fruits, les graines, l'écorce et pour certaines plantes dans les racines.

Les huiles essentielles des plantes ont trouvé leur place en aromathérapie, en pharmacie, en parfumerie, en cosmétique et dans la conservation des aliments. Leur utilisation est liée à leurs larges spectres d'activités biologiques reconnues (**Amarti, 2010**). En effet, elles sont utilisées en médecine traditionnelle pour leurs propriétés antioxydante, antimicrobienne, anti-inflammatoire, antiseptique (**Kaloustian et al., 2008**).

L'évaluation des activités antioxydantes et antimicrobiennes *in vitro* ainsi que le pouvoir anti-inflammatoire, demeure une tâche très intéressante car les plantes représentent une source inépuisable de composés bioactifs.

Dans un pays comme l'Algérie riche d'une flore très diversifiée, la valorisation de la filière des plantes aromatiques et médicinales est devenue indispensable. Pour cela, nous nous sommes proposés d'étudier deux espèces végétales aromatiques : *Pituranthos scoparius* et *Myrtus communis*, en procédant à la caractérisation chimique et à l'étude du pouvoir antioxydant, antimicrobien et anti-inflammatoire des huiles essentielles de ces plantes.

Nous avons structuré ce mémoire en trois grandes parties :

La première partie est une synthèse bibliographique, comportant la description botanique des deux espèces : *Pituranthos scoparius* et *Myrtus communis*, les propriétés thérapeutiques et les travaux déjà réalisés sur ces plantes.

INTRODUCTION

Dans la deuxième partie, nous présenterons le matériel et les méthodes utilisées dans cette étude. Cette partie est divisée en trois axes. Dans le premier axe, nous avons réalisé l'extraction des huiles essentielles à partir des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* et des feuilles de *Myrtus communis*. Dans le deuxième axe, nous nous sommes intéressés à la composition chimique des huiles essentielles de ces deux plantes. Dans le troisième axe, nous avons évalué les activités biologiques de ces huiles essentielles : pouvoir antioxydant par le test DPPH[•], activité antimicrobienne par la technique de diffusion sur disque, pouvoir antifongique contre le mycélium par contact direct et activité anti-inflammatoire par le test d'inhibition de la lipoxigénase *in vitro*.

La troisième et dernière partie du mémoire englobe une synthèse et une discussion des résultats obtenus, concernant à la fois la caractérisation chimique des huiles essentielles et leurs activités biologiques.

Nous achevons ce manuscrit par une conclusion et des perspectives.

Synthèse Bibliographique

Synthèse bibliographique des différentes plantes étudiées

I. *Pituranthos scoparius*

Pituranthos scoparius, connue sous le nom de « Guezzah » ou « Tattai » est une plante médicinale endémique qui appartient à la famille des Apiacées. Elle pousse spontanément dans les pâturages rocheux d'Afrique du Nord et est répandue dans les hauts plateaux et dans tout le Sahara (Ozenda, 1958 ; Quézel et Santa, 1963 ; Dobignard et Chatelain, 2011).

I.1. Présentation de la famille des Apiacées

La famille des Apiacées très importante dans la flore algérienne, est représentée par 55 genres et regroupe environ 2 500 espèces (Neffati *et al.*, 2009). Anciennement nommé Ombellifères, elle est remarquable par son caractère aromatique et par son inflorescence en ombelle. Un certain nombre d'espèces très connues, sont utilisées dans l'alimentation comme condiments, épices ou légumes. Elles sont aussi traditionnellement utilisées en médecine. Les espèces appartenant à cette famille sont des arbustes, plantes sous-frutescentes ou herbacées, très variables, à feuilles en général très divisées. Les inflorescences ombellifères sont munies à leur base de bractées souvent très caduques (involucre), simples ou le plus souvent composées d'ombellules munies ou non de bractéoles à leur base. Les fleurs sont de type 5. Les sépales sont en général très petits ou nuls. Les pétales libres, égaux ou parfois rayonnants, sont plus grands à la périphérie des ombellules. Les étamines 5 alternipétales, sont libres, insérées sur un disque plus ou moins apparent. L'ovaire infère, est formé de 2 carpelles antéro-postérieurs 2-loculaires, surmonté du disque (stylopode). Le fruit constitué par un diakène couronné par le bourrelet calycinal, se décompose en ses 2 parties (méricarpes) qui restent souvent adhérentes à une columelle centrale bifide. Il est monospermé, indéhiscent, présentant en général 2 faces, l'une interne plane en général, et une externe fortement convexe (Ozenda, 1958 ; Quézel et Santa, 1963).

I.2. Description botanique de l'espèce *Pituranthos scoparius*

Le genre *Pituranthos* est une plante vivace aphyllé éphéroïdes, avec des tiges souvent très ramifiées. Les ombelles sont à involucre et involucelles polyphyllé. Les méricarpes sont ovoïdes à 6 bandelettes (Quézel et Santa, 1963). Le genre *Pituranthos* VIV. (Syn. *Deverra* DC.) est représentée par 12 espèces largement réparties en Afrique du Nord (Dobignard et Chatelain, 2011).

Dans la flore algérienne, le genre *Pituranthos* est représenté par quatre espèces endémiques : *Pituranthos scoparius* (Coss. & Dur.) Benth. Et Hook. ; *Pituranthos chloranthus* (Coss. & Dur.) Benth. Et Hook. ; *Pituranthos battandieri* Maire et *Pituranthos*

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

reboudii (Coss. & Dur.) Benth. et Hook. (Quézel et Santa, 1963). La distinction entre les espèces de *Pituranthos* est souvent difficile (Ozenda, 1958).

P. scoparius est une plante formant des touffes dressées, à des tiges non divariquées, en général totalement aphyllé (Photos 1, 2 et 3). Les tiges florifères sont à ombelles latérales à pédoncule court (1-3 cm). Les fleurs sont blanches. Le fruit est plus long que large, hérissé de poils dressés (Quézel et Santa, 1963).



Photo 1 : Vue d'ensemble d'un pied complet de l'espèce *Pituranthos scoparius* (Station de Béchar, le 28/05/2018) (Malti, 2019)



Photo 2 : Pied complet de l'espèce *P. scoparius* (Station de Béchar, le 03/04/2018) (Malti, 2019)



Photo 3 : Tiges et inflorescences de l'espèce *P. scoparius* (Station de Béchar, le 24/04/2016) (Malti, 2019)

I.3. Systématique de l'espèce *Pituranthos scoparius*

Selon l'APG III, l'espèce *P. scoparius* est classée comme suit :

Clade : Spermaphytes

Clade : Angiospermes

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Clade : Eudicots

Clade : Apiales

Famille : Apiacées

Genre : *Pituranthos*

Espèce : *Pituranthos scoparius* (Coss. et Dur.) Benth. et Hook.

Noms vernaculaires :

- **Nom en français :** Pituranthos à balai (IUCN, 2005)

- **Nom en arabe :** Guezzah, Tattai (Quézel et Santa, 1963)

I.4. Répartition de l'espèce *Pituranthos scoparius*

Pituranthos scoparius est une plante endémique qui se développe spontanément dans le nord de l'Afrique (Algérie, Maroc, Tunisie et Mauritanie). Cette espèce végétale se développe dans les pâturages rocailloux, dans les hauts plateaux et dans tout le Sahara (Quézel et Santa, 1963 ; Dobignard et Chatelain, 2011), notamment dans les collines du Sahara (Chikhouné *et al.*, 2017).

I.5. Usages thérapeutiques

P. scoparius, communément appelé « Guezzah » (Quézel et Santa, 1963), est utilisée en médecine populaire traditionnelle pour le traitement des spasmes, des douleurs, le diabète, l'hépatite, des troubles digestifs et des infections urinaires. Une infusion des parties aériennes est également conseillée pour les soins post-partum (Hammiche et Maiza, 2006).

Une décoction des parties aériennes de *P. scoparius* est utilisée dans le traitement de la diarrhée et de l'eczéma (IUCN, 2005).

L'application d'un cataplasme des parties aériennes sur la tête est conseillée pour soulager les maux de tête (El Rhaffari et Zaid, 2002).

Une décoction ou une infusion des feuilles et des fleurs est utilisée pour soulager les indigestions et les maux d'estomac et du bas ventre (Didi *et al.*, 2003).

Selon Benmekhbi *et al.*, (2008) et Adida *et al.*, (2016), cette espèce végétale est traditionnellement utilisée contre l'asthme et elle est conseillée pour soulager les douleurs des rhumatismes. Elle est utilisée aussi en décoction pour le traitement de la rougeole, les dermatoses, la jaunisse et les infections urinaires (Adida *et al.*, 2016).

Dans la région de M'Sila, une décoction des parties aériennes est également utilisée contre les troubles digestives (Boudjelal *et al.*, 2013).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

P. scoparius est aussi communément appelé « Tattai » par les Touaregs (**Le Floche et al., 1983**) qui l'utilisaient dans les aliments comme arôme de repas et de pain (**Benchelah et al., 2000**).

I.6. Travaux antérieurs

I.6.1. Composition chimique de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius*

Plusieurs études ont été réalisées sur la composition chimique de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* obtenue par hydrodistillation des parties aériennes (tiges, fleurs et graines) récoltées en Algérie. Il ressort des données de la littérature que l'huile essentielle de *P. scoparius* présente une grande variabilité chimique. Ces huiles essentielles contiennent des monoterpènes et des phénylpropanoïdes comme composés majoritaires.

La première analyse a été réalisée en **1999** par **Vernin et al.**, sur l'huile essentielle obtenue par hydrodistillation des tiges et des graines de *P. scoparius* récoltées en automne 1989 dans la région d'Aïn Diss. L'huile essentielle des tiges contient de l' α -pinène (34%) et de l'apiole (15%) comme principaux composants, par contre dans l'huile de graines, la quantité d'apiole a atteint 52%, suivi de l'acétate de bornyle (21%) et de l' α -pinène (11%).

En **2004**, **Vérité et al.** ont comparé la composition chimique de deux échantillons d'huile, récoltés au printemps en avril 2001 à Ghardaïa (sud d'Algérie) le premier échantillon est obtenu à partir des tiges et le second à partir des graines de *P. scoparius*. Les principaux composés de l'huile essentielle des graines sont : l'apiole dill (12,2%), limonène (11,2%), la myristicine (11,1%), α -pinène (8,2%), *p*-cymène (7,5%), le thymol (5,9%), β -pinène (4,6%) et α -phellandrène (4,0%). En revanche, celle des tiges est riche en : germacrène D (12,73%), limonène (9,8%), myristicine (7,2%), α -phellandrène (7,1%), α -pinène (6,8%), méthyleugénol (5,9%), spathuléol (4,5%) et β -eudesmol (4,1%).

Plus tard, en **2011**, **Gourine et al.** ont analysé par CPG et CPG-SM, la composition chimique d'huile essentielle de 12 échantillons des parties aériennes de *P. scoparius* récoltées dans différentes régions de l'Algérie (Laghouat, Djelfa et Ghardaïa). La composition est dominée par des monoterpènes (45,3 - 83,7%), avec principalement des monoterpènes hydrocarbonés (44,4 - 81,9%). Certains échantillons sont également riches en phénylpropanoïdes tels que la myristicine (tr - 31,1%) et l'apiole dill (3,5 à 48,1%). L'analyse statistique a montré l'existence de deux groupes principaux (I et II). Les échantillons du groupe I récoltés dans la région de Laghouat et Djelfa sont riches en α -pinène (23,7 - 35,8%), suivi de l'apiole dill (1,4 - 47,3%), le β -pinène (1,7 - 5,3%) et l'acétate de bornyle (tr - 9,6%). Les échantillons d'huiles essentielles du groupe II récoltés à Ghardaïa sont caractérisés par

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

une teneur plus élevée en limonène (32,7 - 66,5%), suivi de myristicine (tr - 31,1%) et de germacrène D (2,1 - 6,3%).

Au cours de la même année en **2011**, **Smail *et al.*** ont étudié la composition d'un échantillon d'huile essentielle obtenue par hydrodistillation à partir des fleurs séchées de *P. scoparius* récoltées en octobre 2010 durant l'automne à M'Sila (Centre de l'Algérie). L'huile essentielle contient des phénylpropanoïdes mais elle est riche principalement en monoterpènes. Les composés majoritaires sont la myristicine (24,1%), l' α -pinène (17,4%) et l' α -phellandrène (15,6%). D'autres composés sont présents à des teneurs appréciables allant de 3 à 7,5%, à savoir : sabinène (7,5%), β -phellandrène (6,1%), (*Z*)- β -ocimène (4,7%), germacrène D (4,0%), β -pinène (3,7%) et apiole dill (3,4%).

Plus tard en **2013**, **Lograda *et al.*** ont étudié la composition chimique de l'huile essentielle obtenue par hydrodistillation à partir des parties aériennes de *P. scoparius* récoltées en octobre 2011 en plein floraison, provenant de 4 régions de l'Algérie : Boussaâda (M'sila), T'Kout (Batna), El-Kantara et Mechouneche (Biskra). Les composés majoritaires sont : sabinène (14,8 - 24,8%), α -pinène (8,3 - 23,3%), α -terpinène (3,7 - 7,7%) et β -pinène (2,8 - 5,1%), terpinéol-4 (0,0 - 4,6%), *p*-cymène (1,0 - 3,2%), α -thujène (1,6 - 3,1%), et limonène (0,7 - 2,5%). Un autre constituant est présent à des quantités appréciables, il s'agit de l'apiole dill (0,4 - 16,8%) (**Lograda *et al.*, 2013**). Les deux échantillons de Biskra (El-Kantara et Mechouneche) contiennent les mêmes composés majoritaires. En outre, l'échantillon d'El-Kantara contient des teneurs appréciables en myristicine (7,6%) et en apiole dill (6,6%) alors que celui de Mechouneche est dominée par de l'apiole dill (16,8%) (**Kiram *et al.*, 2013 ; Lograda *et al.*, 2013**).

La composition chimique de deux échantillons d'huile essentielle des parties aériennes fraîches et sèches de *P. scoparius* récoltées à Souk-Ahras en avril 2014, a été rapportée par **Chikhouné *et al.*** en **2016**. Les composés majoritaires appartiennent principalement à la classe des monoterpènes hydrocarbonés : sabinène (16,3% ; 26,5%), α -pinène (34,4% ; 23,6%), *p*-cymène (10,1% ; 8,6%), α -thujène (5,3% ; 5,7%) et β -pinène (5,5% ; 2,4%), respectivement. Le terpinéol-4 (4,1% et 9,7%) est le monoterpène oxygéné présent en teneur appréciable. En revanche, les phénylpropanoïdes sont totalement absents dans ces huiles essentielles.

Ksouri *et al.* en **2017**, ont également étudié la composition d'un échantillon d'huile essentielle obtenu par hydrodistillation des parties aériennes de cette même plante récoltée dans la région de Tamanrasset (Hoggar, sud de l'Algérie) au mois de mars 2012. Le principal

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

constituant de cet échantillon est le limonène (46,9%). D'autres composés sont présents à des teneurs appréciables, il s'agit de : 1,8-cinéole (7,6%), spathuléol (2,5%) et β -eudesmol (2,4%). L' α -Curcumène (3,2%) est le sesquiterpène hydrocarboné prédominant présent également en quantité appréciable.

Enfin, en **2018**, **Malti et al.** ont étudié par la complémentarité des techniques analytiques (CPG, CPG-SM et par RMN ^{13}C), la composition chimique de 93 échantillons d'huiles essentielles obtenues par hydrodistillation des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* récoltées dans quatre wilayas d'Algérie. La composition chimique de ces huiles essentielles présente une grande variabilité mettant en évidence trois groupes principaux. Les échantillons du groupe I récoltés à Béchar (36 échantillons) étaient dominés par des teneurs élevées en 6-méthoxy élémicine (13,0 - 59,6%), suivie par le sabinène (1,1 - 43,0%) et le limonène (6,6 - 39,0%). D'autres composés étaient présents à des teneurs appréciables : α -pinène (0,7 - 8,4%), germacrène D (0,2 - 8,3%) et terpinéol-4 (0,3 - 7,0%) et des phénylpropanoïdes, à savoir : la myristicine (jusqu'à 0,3%), l'élémicine (jusqu'à 0,4%) et l'apiole dill (jusqu'à 0,1%) qui sont présents en très faibles quantités dans ce groupe. La composition chimique de ce groupe n'a jamais été rapportée dans la littérature. Les échantillons du groupe II récoltés à Ghardaïa (12 échantillons) étaient caractérisés par une teneur élevée en limonène (9,2 - 44,0%) suivi de la myristicine (0,0 - 29,4%), l' α -pinène (5,9 - 22,1%), l' α -phellandrène (6,2 - 17,8%) et une très faible teneur en sabinène (0,8 - 2,3%). D'autres constituants sont présents en quantités appréciables dans ce groupe, à savoir : germacrène D (jusqu'à 9,5%), β -pinène (jusqu'à 7,3%), *p*-cymène (jusqu'à 6,8%) et apiole dill (jusqu'à 5,7%). Par ailleurs, la (*Z*)-ligustilide présente à des taux très faibles dans les sous-groupes IIIA (0,0 - 0,7%) et IIIB (0,0 - 1,2%) ou bien totalement absente dans tous les échantillons du groupe I, est présente à une teneur appréciable (2,2 - 9,7%) dans ce groupe II. Les échantillons du groupe III récoltés à Biskra et à Batna (45 échantillons) étaient subdivisés en deux sous-groupes qui sont caractérisés par une faible teneur en limonène (0,3 - 4,5%). Le sous-groupe A était caractérisé par une teneur très élevée en sabinène (28,0 - 55,6%), suivi par l'élémicine (0,0 - 29,1%), par contre, les échantillons appartenant au sous-groupe B étaient caractérisés par une teneur plus faible en sabinène (6,2 - 35,5%) et une teneur élevée en myristicine (1,5 - 32,4%), en α -pinène (4,2 - 31,0%) et en apiole dill (0,1 - 31,4%).

I.6.2. Activités biologiques de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius*

Certaines activités biologiques ont été rapportées pour l'huile essentielle de l'espèce *Pituranthos scoparius*, comme l'activité antioxydante (**Ksouri et al., 2017**) et l'activité antimicrobienne (**Boutaghane et al., 2004 ; Kiram et al., 2013 ; Ksouri et al., 2017**)

Boutaghane et al. en **2004**, ont réalisée une étude comparative concernant l'activité antibactérienne de l'huile essentielle obtenue à partir des tiges et des graines de *P. scoparius* récoltées à Ghardaïa en utilisant la méthode de diffusion sur disque. Ils ont trouvé que l'huile essentielle des graines est plus active que celle des tiges. La plupart des souches testées se sont révélées très résistants avec des CMI variant entre 20 et 320 mg/ml, à l'exception de *Proteus mirabilis* et *Pseudomonas aeruginosa* qui sont avérés très sensibles avec des CMI de l'ordre 0,156 et 1,25 mg/ml pour les graines et 2 et 1 mg/ml pour les tiges, respectivement.

Kiram et al. en **2013**, ont évalué le pouvoir antimicrobien de deux échantillons d'huile essentielle des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* récoltées dans la région de Biskra (El-kantra et Méchouneche) vis-à-vis de sept souches bactériennes et une levure, en utilisant la méthode de diffusion sur disque. Ils avancent une activité antimicrobienne modérée contre *Staphylococcus aureus* et *Shigella* sp. avec une zone d'inhibition variant entre 14 - 16 mm. Par contre, *Pseudomonas aerogenosa* s'est révélé insensibles à ces huiles essentielles.

En **2017**, **Ksouri et al.** ont réalisé une étude sur l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle des parties aériennes de *P. scoparius* vis-à-vis de six souches bactériennes et quatre souches fongiques. Les champignons à savoir : *Candida albicans*, *Mucor* sp., *Aspergillus flavus* et *Penicillium expansum* se sont révélés les plus sensibles, avec des diamètres de zone d'inhibition de l'ordre de 15,8 à 20 mm et des CMI très faibles variant entre 0,02 à 1,25 mg/ml. Par contre, *Staphylococcus aureus* est la seule souche parmi les bactéries testées, qui s'est avéré sensible avec une CMI de l'ordre de 1 mg/ml.

Ces mêmes auteurs, **Ksouri et al. (2017)** ont étudié également l'activité antioxydante de l'huile essentielle des parties aériennes de *P. scoparius* par le test de piégeage du radical libre DPPH. Ils avancent une activité modérée avec une CI₅₀ de 11,21 ± 0,26 mg/ml, comparée aux standards testés : l'acide ascorbique (CI₅₀ = 4 µg/ml), l'α-tocophérol (CI₅₀ = 9,55 µg/ml) et le BHT (CI₅₀ = 72,16 µg/ml) qui sont beaucoup plus actives que l'huile essentielle. Ils ont aussi évalué le pouvoir antioxydant par un deuxième test, celui du blanchissement du bêta-carotène. Ils avancent que cette huile essentielle n'est pas capable d'inhiber efficacement l'oxydation de l'acide linoléique avec une valeur de l'ordre de 38% obtenu à une concentration de 2 mg/ml, très faible par rapport au BHT, témoin positif (93,56 ± 0,37%) à la même concentration.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

II. *Myrtus communis*

Le myrte commun ou *Myrtus communis* du mot grec Myrtos (parfum) qui veut dire plante à odeur aromatique (Beloued, 2014), est un arbuste de la famille des Myrtacées. Il se développe dans les garrigues et les broussailles (Quézel et Santa, 1963).

II.1. Description de la famille des Myrtacées

La famille des Myrtacées est la huitième plus grande famille des plantes à fleurs (Gauthier *et al.*, 1988). Les Myrtacées sont des plantes à feuilles entières et opposées. Les fleurs axillaires sont hermaphrodites pentamères à calice capuliforme. Les étamines sont très nombreuses, insérées avec les pétales au sommet du tube calycinal. Le gynécée est infère ou semi-infère à 5 carpelles uniloculaires à ovules nombreux et à placentation axile. Le fruit bacciforme est bleuâtre globuleux de 5 - 8 mm de diamètre (Quézel et Santa, 1963).

II.2. Description botanique de l'espèce *Myrtus communis*

Le myrte est un arbuste à feuilles ovoïdes lancéolées, 2 à 3 fois plus longues que larges, à nervation pennée (Photos 4 et 5). Les fleurs grandes 10 - 15 mm, sont blanches, pourvues à la base de 2 bractées très petites, rapidement caduques. Le fruit est une baie ovoïde 6 - 8 mm. Les rameaux sont pubescents dans leur jeunesse. En Algérie, cette espèce est commune dans le Tell littoral algéro-constantinois (Quézel et Santa, 1963).



Photo 4 : *Myrtus communis* (Fleurs)
(Migliore, 2011)



Photo 5 : *Myrtus communis* (Feuilles et fruits)
(Station d'Aïn Kebira, le 18/03/2018)

II.3. Systématique de l'espèce *Myrtus communis*

Selon l'APG III, l'espèce *Myrtus communis* est classée comme suit :

Clade : Spermaphytes

Clade : Angiospermes

Clade : Eudicots

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Clade : Myrtales

Famille : Myrtacées

Genre : *Myrtus*

Espèce : *Myrtus communis* L.

➤ **Noms vernaculaires :** Selon **Beloued (2014) :**

- **Nom en arabe :** Rihan الریحان, Mersin,

- **Nom en berbère :** Tarihant, Tchilmoun (fruit).

II.4. Répartition de l'espèce *Myrtus communis*

Le myrte fait parti de la famille des Myrtacées qui est largement répandue dans les zones tropicales et subtropicales. Il est localisé dans les régions les plus chaudes dans le pourtour méditerranéen (**Figure 1**) (**Bouzabata, 2013**), parfois cultivé sur le littoral atlantique. Il pousse spontanément et en abondance sur tout le littoral de la Corse et cultivé comme plante ornementale dans toute la France méridionale et dans l'Asie occidentale.

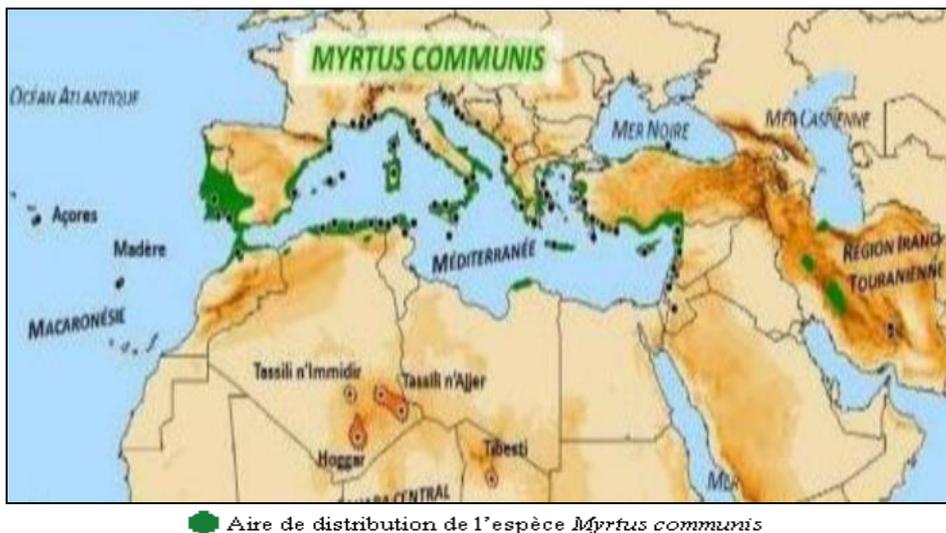


Figure 1 : Aire de distribution de l'espèce *Myrtus communis* (Migliore et al., 2012)

II.5. Usages thérapeutiques

Tous les organes (feuilles, fleurs, fruits) de l'espèce *Myrtus communis* possèdent des propriétés stomachiques, stimulantes et astringentes. Ils sont utilisés comme remèdes populaires contre les maladies des voies respiratoires et des voies urinaires. Ils sont recommandés également contre les bronchites, la sinusite, l'otite, la diarrhée et les hémorroïdes. Ils sont conseillés comme remède pour l'estomac, contre l'entérite, la dysenterie et les hémorragies. Le fruit est consommé vert ou desséché, il fortifie le cœur et est utilisé comme condiments (**Beloued, 2014**). Le suc des baies était utilisé comme stomachique et diurétique. Les feuilles soulagent et soignent les jambes lourdes et les varices. Les graines sont utilisées contre les affections osseuses. La poudre des feuilles est indiquée contre les

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

panaris et les maladies des ongles. Les fleurs sont utilisées contre les infections herpétiques et l'érysipèle (Gryc, 1985).

L'huile essentielle, excellente pallier, aux : troubles respiratoires (propriété expectorante), toux, bronchite, sinusite, asthme, facilite la respiration et elle est également préconisée en cas de cataracte (Chaïb, 2015).



Photo 6 : Huiles essentielles obtenues par hydrodistillation à partir des feuilles (à gauche) et des baies (à droite) de *Myrtus communis* récoltés au Portugal (Hennia *et al.*, 2019)

L'huile essentielle du myrte est connue en Algérie pour ses propriétés anti-inflammatoire, antiseptique et hypoglycémiantes (Bouzabata, 2013). Elle soulage la digestion lente ou douloureuse. En usage externe, elle aide à la guérison des infections cutanées : brûlure, psoriasis, eczéma. Elle peut être employée sur les plaies, les peaux irritées et l'ulcération cutanée. Elle soulage également les infections pulmonaires et celle des voies urinaires et est utilisée en cas d'hémorroïdes où le leucorrhée (Bayer *et al.*, 2016).

II.6. Travaux antérieurs

La composition chimique de l'huile essentielle de *Myrtus communis* a fait l'objet de nombreux travaux qui ont été recensés par Lawrence (1976 - 1977 ; 1979 - 1980 ; 1981-1987 ; 1990 ; 1993 ; 1996 ; 2002 ; 2007). Dans un premier temps, nous présenterons les travaux réalisés sur la composition chimique de l'huile essentielle du myrte. Ensuite, nous aborderons une synthèse bibliographique concernant les activités biologiques de l'huile essentielle de cette espèce végétale.

II.6.1. Composition chimique de l'huile essentielle de *M. communis*

Le 1,8- cinéole, l' α -pinène, le limonène, le linalol et parfois l'acétate de myrtényle sont les composés majoritaires de l'huile essentielle des feuilles de myrte. En fonction, de la teneur en α -pinène supérieure à 50% (Corse et Tunisie), inférieure à 35% (Maroc, Liban, Yougoslavie), les huiles essentielles de myrte d'origines diverses ont été classées en deux groupes (Chalchat *et al.*, 1998).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

D'autres études sur la classification de ces huiles essentielles basées sur les composés majoritaires (acétate de myrtényle, 1,8-cinéole, α -pinène, limonène et linalol) ont été proposées par le laboratoire « Chimie et Biomasse » de l'université de Corse (**Bazzali, 2016**) :

- Les huiles essentielles qui sont riches en acétate de myrtényle proviennent d'Espagne (**Boelens et Jimenez, 1991 ; Boelens et Jimenez, 1992**), du Portugal (**Pereira et al., 2009**) et de l'île grecque de Zakynthos (**Gardeli et al., 2008**) et de l'Italie (**Petretto et al., 2016**).

- Les échantillons de l'île de Chypre (**Akin et al., 2010**), du Liban (**Traboulsi et al., 2002**) et du Maroc (**Farah et al., 2006**) se caractérisent par un pourcentage plus important en 1,8-cinéole (50,1% ; 40,0% ; 43,1%, respectivement).

- Les huiles essentielles riches en α -pinène avec une teneur importante en 1,8-cinéole, sont reportées en Corse (**Bradesi et al., 1997 ; Bazzali et al., 2012**), en Italie (**De Laurentis et al., 2005**), en Sardaigne (**Tuberoso et al., 2006 ; Petretto et al., 2016**), en Tunisie (**Chalchat et al., 1998**), en Egypte (**Aboutabl et al., 2011 ; Badawy et Abdelgaleil, 2014 ; Abdelgaleil et al., 2015**) et du Nord-est au nord-ouest de l'Algérie (**Bouzabata et al., 2010 ; Bouzabata et al., 2013 ; Bekhechi et al., 2019**) et en Iran (**Zomorodian et al., 2013**). Certains échantillons contiennent également des teneurs appréciables en linalol et/ou en limonène. Il est à noter aussi que les échantillons de Corse, d'Algérie et de Sardaigne ne contiennent pas d'acétate de myrtényle.

- Les huiles essentielles ayant une teneur élevée en 1,8-cinéole, α -pinène et limonène et ne contenant pas d'acétate de myrtényle sont présentes en Italie continentale (**Flamini et al., 2004**), en Sardaigne (**Tuberoso et al., 2006**). Ce groupe comprend également plusieurs échantillons d'Iran (**Rasooli et al., 2002 ; Yadegarinia et al., 2006**). Pour ces derniers, le linalol et l' α -terpinéol sont également présents en quantités relativement importantes.

- D'autres compositions contenant des teneurs appréciables en 1,8-cinéole, α -pinène, limonène, acétate de myrtényle et parfois du linalol sont rapportées en Yougoslavie (**Chalchat et al., 1998**), en Albanie (**Asllani, 2000**), en Croatie (**Jerkovic et al., 2002**), en Turquie (**Özek et al., 2000**), au Monténégro (**Mimica-Dukić et al., 2010**), en Tunisie (**Ben Hsouna et al., 2014**) et en Grèce (**Chryssavgi et al., 2008 ; Koutsaviti et al., 2018**).

En revanche, une composition différente a été décrite précédemment en Grèce par **Koukos et al.** en **2001**, qui ont identifié l'acétate de linalyle (31,4%), le limonène (21,8%) et l' α -pinène (18,0%) comme composés majoritaires dans l'huile essentielle de myrte. L'acétate de myrtényle et le 1,8-cinéole n'ont été identifiés dans cet échantillon.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

En ce qui concerne l'Afrique du Nord, deux compositions sont rapportées et qui se différencient également par la présence ou l'absence d'acétate de myrtényle.

L'huile essentielle de myrte de Tunisie ne contient pas de l'acétate de myrtényle tandis que celle du Maroc en contient en proportions variables. Ce composé a été identifié dans huit échantillons d'huiles commerciales (14,8 - 21,1%), accompagné par le 1,8-cinéole (32,5 - 37,5%) et l' α -pinène (18,5 - 25,0%) (**Boelens et Jimenez, 1991 ; Chalchat *et al.*, 1998**).

Dans un échantillon provenant des parties aériennes récoltées dans la région de Chefchaouen (chaîne montagneuse à l'ouest du Rif à 800 m d'altitude), il est présent à (25,0%) à côté du 1,8-cinéole (43,1%) et de l' α -pinène (10,0%) (**Farah *et al.*, 2006**).

Dans un dernier échantillon (origine indéterminée), l'acétate de myrtényle ne représente que 5,0% de la composition avec l' α -pinène (37,6%) et du 1,8-cinéole (20,0%) (**Chebli *et al.*, 2004**).

Par ailleurs, la composition chimique de l'huile essentielle du myrte provenant du Maroc a été examinée au cours du cycle de développement annuel (stade végétatif, pleine floraison, après fructification), dans trois régions, deux d'entre elles sont localisées près de Rabat : Temara et Arabaa Sehouf et une troisième : Ouezzane située au Sud-ouest du Maroc (**Gauthier *et al.*, 1988**). La teneur des constituants majoritaires (α -pinène, 1,8-cinéole, linalol et acétate de myrtényle) varie selon la période et le lieu de récolte. Une teneur plus élevée en α -pinène (37,0%) a été observée pendant la période de floraison. Celui-ci est généralement accompagné du 1,8-cinéole qui atteint un taux maximal dans les échantillons obtenus à partir des feuilles adultes récoltées après la fructification (Arbaa Sehouf, 36% et Ouezzane, 40%). De larges variations ont été observées concernant la teneur de l'acétate de myrtényle (0,7-42%). Il atteint un taux maximal soit dans les jeunes rameaux (Ouezzane, 41%) soit dans les parties aériennes récoltées après fructification (Temara, 42%) et diminue durant la floraison (feuilles et fleurs, 0,5-5%) (**Gauthier *et al.*, 1988**).

La composition chimique des huiles essentielles de vingt échantillons de *Myrtus communis* marocain récoltés dans la forêt de « Ifran » a été déterminée par CPG et CPG-SM. Trente et un composés représentant en moyenne 99% de la composition totale des huiles essentielles ont été identifiés. Des pourcentages élevés en monoterpènes oxygénés (48,8 - 90,5%) et en monoterpènes hydrocarbonés (9,0 - 50,7%) ont été observés. Les principaux composés sont : l' α -pinène (0,4 - 50,3%), le 1,8-cinéole (8,3 - 64,9%), l'acétate de myrtényle (0,0 - 61,1%), l' α -terpinolène (0 - 20,8%), le méthyleugénol (0,0 - 3,2 %) et l' α -terpinéol (0,2 - 18,0%). Les résultats de la composition chimique des huiles essentielles ont été soumis à

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

l'ACP afin d'étudier la variabilité intra-population. Cinq profils chimiques : A (3 échantillons) : 1,8-cinéole, acétate de myrtényle et α -pinène ; B (14 échantillons) : α -pinène et 1,8-cinéole ; C (1 échantillon) : 1,8-cinéole et méthyleugénol ; D (1 échantillon) : acétate de myrtényle ; E (1 échantillon) : 1,8-cinéole, α -terpinolène, α -terpinéol, ont été rapportés. Parmi ces profils chimiques, le chémotype A est le seul qui correspond au myrte marocain, les quatre autres chémotypes n'avaient pas été rapportés auparavant au Maroc (**Fadil et al., 2017**).

A l'inverse, les huiles essentielles du myrte provenant de Tunisie (7 échantillons commerciaux et 30 échantillons récoltés), sont caractérisées par l'absence d'acétate de myrtényle avec une teneur élevée en α -pinène (jusqu'à 58,0%) ou en 1,8-cinéole (jusqu'à 61,0%) (**Chalchat et al., 1998 ; Bouzouita et al., 2003 ; Messaoud et al., 2005 ; Jamoussi et al., 2005 ; Wannas et al., 2009 ; Wannas et al., 2010 ; Snoussi et al., 2011**).

Exceptionnellement, les échantillons isolés des plantes cueillies dans le nord-est Tunisien (Cap Bon) contiennent de l'acétate de myrtényle (2,7 - 27,7%), accompagné de l' α -pinène (jusqu'à 20,5%), du 1,8-cinéole (jusqu'à 30,1%), du limonène (jusqu'à 20,6%) et du linalol (jusqu'à 14,4%) (**Naceur et al., 2006**). Par contre, dans deux autres échantillons, l'acétate de myrtényle ne représente que 0,8 et 0,9% de la composition avec l' α -pinène (30,5 et 30,0%), du 1,8-cinéole (20,9 et 22,3%), le limonène (17,8 et 18,2%) et le linalol (10,1 et 9,2%) (**Ben Ghnaya et al., 2013**).

Concernant le myrte d'Algérie, la composition chimique de l'huile essentielle est décrite dans plusieurs travaux. Ainsi, l'huile essentielle provenant du centre algérien contient comme composés majoritaires le 1,8-cinéole (15,8%) et le limonène (8,7%), avec une faible teneur en α -pinène (2,9%) (**Moghrani et Maachi, 2008**). Dans un autre échantillon provenant du centre d'Algérie, l' α -pinène présente une teneur plus élevée (19,0%), accompagné du 1,8-cinéole (26,2%) et du limonène (11,1%) (**Toudert-Taleb et al., 2014**). Une composition atypique a été décrite dans un autre échantillon provenant toujours du centre algérien. Les composés majoritaires sont représentés par le 1,8-cinéole (47,0%) accompagné du *cis*-géraniol (25,2%) (**Djenane et al., 2011**). La composition d'autres échantillons diffère de celles reportées pour les trois échantillons du centre d'Algérie cités précédemment, dominée par l' α -pinène (46,9%, 44,6%, 30,6%) et le 1,8-cinéole (25,2%, 25,5%, 32,1%) (**Brada et al., 2012 ; Berka-Zougali et al., 2010 ; 2012**). De même, deux autres échantillons isolés des plantes cueillies dans le nord-est algérien (région de Gouraya) ont été décrits avec des teneurs élevées en α -pinène (39,3%, 33,4%) et en 1,8-cinéole (33,4%, 42,4%) (**Foudil-Cherif et al., 2013**). **Ben Ghnaya et al. (2013)** ont décrit la composition d'un échantillon dont l'origine est indéterminée,

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

contenant également les mêmes composés majoritaires : α -pinène (jusqu'à 45,4%) et 1,8-cinéole (jusqu'à 35,7%). **Badra et al. (2016)** ont étudié la composition chimique d'un échantillon récolté aussi au nord-est algérien (Annaba). Ils rapportent également une même composition dominée par l' α -pinène (55,0%) et le 1,8-cinéole (33,4%) mais aussi une teneur élevée en limonène (33,4%).

Par ailleurs, une autre étude portant sur la composition chimique des huiles essentielles des feuilles de myrte d'Algérie a été publiée par **Zermane et al.** en 2014. Bien que le pourcentage des constituants n'a pas été mentionné. Dans cet article, diverses familles de composés ont été identifiés : monoterpènes, à savoir : l' α -pinène, le 1,8-cinéole, le linalol, l' α -terpinéol, l'acétate de géranyle et l'acétate de linalyle ; sesquiterpènes, à savoir : le (*E*)- β -caryophyllène et l'oxyde de caryophyllène et un phénylpropanoïde, à savoir : le méthyleugénol.

Hennia et al. (2015a) décrivent une composition chimique d'un échantillon d'huile essentielle de *M. communis* d'Algérie différente. En effet, les principaux composés identifiés sont le limonène (23,4%), le linalol (15,4%), l'acétate de géranyle (10,9%), l' α -pinène (10,7%), l'acétate de linalyle (8,2%) et le 1,8-cinéole (6,6%). Ces mêmes auteurs décrivent la composition chimique de 14 échantillons collectifs de feuilles provenant de différentes stations dans la wilaya de Chlef (**Hennia et al. (2015b)**). L'analyse statistique de la composition de ces échantillons a permis de mettre en évidence 2 groupes. Les composés majoritaires dans le groupe I sont : α -pinène (32 - 49%), limonène (11 - 30%), 1,8-cinéole (10 - 24%) et linalol (2 - 20%). Par contre, le groupe II est caractérisé par des teneurs plus élevées en linalol (20 - 32%) et des quantités plus faibles en α -pinène (23 - 28%), en limonène (15 - 17%) et en 1,8-cinéole (16 - 19%).

En outre, d'après les travaux de **Bouzabata et al.** en 2016, sur la variabilité de la composition chimique des huiles essentielles de *M. communis* d'Algérie, 82 échantillons d'huiles essentielles (27 échantillons récoltés dans 03 stations à l'est : **Bouzabata et al. (2010)** et 55 échantillons récoltés dans 16 stations du nord-est au nord-ouest de l'Algérie : **Bouzabata et al. (2013)**) ont été isolées par hydrodistillation à partir des parties aériennes prélevées pendant la période de floraison. L' α -pinène et le 1,8-cinéole ont été signalés comme les principaux composants. Cependant, leurs teneurs varient considérablement d'un échantillon à un autre : 27,4 - 64,0% et 6,1 - 34,3%, respectivement. Le limonène (2,9 - 24,3%) et le linalol (0,6 - 15,2%) sont également présents en quantités appréciables. D'autres monoterpènes sont présents à des teneurs appréciables : acétate de linalyle (jusqu'à 13,1%),

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

acétate de géranyle (jusqu'à 6,0%) et α -terpinéol (jusqu'à 5,5%). Deux phénylpropanoïdes, le méthyleugénol (jusqu'à 8,8%) et l'eugénol (jusqu'à 1,2%) sont également identifiés. Parmi les composants inhabituels des huiles essentielles, 3,3,5,5,8,8-hexaméthyle-7-oxabicyclo[4.3.0]non-1(6)-ène-2,4-dione (jusqu'à 4,9%) a été trouvé dans tous les échantillons. Cette dione a été signalé pour la première fois dans l'huile de myrte d'Iran (**Weyerstahl et al., 1994**), dans des échantillons de myrte récolté dans le nord est d'Algérie (0,5 - 2,3%) (**Bouzabata et al., 2010**) et plus tard dans d'autres pays méditerranéens (0,5 - 1,2%) (**Bazzali et al., 2012**). Il est à noter aussi que tous ces échantillons étudiés contenaient quatre esters, à savoir : isobutyrate d'isobutyle, isobutyrate de 2-méthylbutylte, 2-méthylbutyrate d'isobutyle et 2-méthylbutyrate de 2- méthylbutyle, qui sont d'abord identifiés par Boelens et Jimenez dans l'huile de myrte d'Espagne (**Boelens et Jimenez, 1991 ; 1992**) et confirmé dans des échantillons d'huile isolée des feuilles récoltées dans divers pays méditerranéens. L'analyse statistique des compositions chimiques de 55 échantillons a permis de mettre en évidence deux groupes (I et II) qui se distinguent par leurs teneurs en α -pinène et en linalol. De plus, chaque groupe est divisé en deux sous-groupes. Les sous-groupes I se distinguent en fonction de leurs teneurs en α -pinène et en 1,8-cinéole. Par contre, les sous-groupes II se différencient en fonction de la quantité en limonène et en 1,8-cinéole. Ces résultats associés à d'autres rapportés dans la littérature ont confirmé que l'huile essentielle de myrte d'Algérie est riche en monoterpènes. La composition de la plupart des échantillons d'huile de feuilles est dominée par l' α -pinène et le 1,8-cinéole, associé au limonène et au linalol et caractérisée par l'absence d'acétate de myrtényle.

Enfin, **Bekhechi et al.** en **2019**, rapportent la composition chimique de 42 échantillons de l'huile essentielle des feuilles de myrte récolté sur des pieds individuels, dans le nord-ouest de l'Algérie. La combinaison des résultats de la classification ascendante hiérarchique et de l'analyse en composantes a suggéré l'existence de deux groupes principaux. La composition des échantillons du groupe I (16 échantillons) est dominée par l' α -pinène (24,9 - 59,0%), suivi du 1,8-cinéole (13,2 - 30,0%) et du limonène (4,2 - 19,8%). Le groupe II (26 échantillons) est subdivisé en deux sous-groupes (A et B) qui contiennent des quantités similaires en α -pinène (26,6 à 42,0% et 24,3 à 37,1%, respectivement). Ils diffèrent par la teneur en 1,8-cinéole qui est plus abondant dans le sous-groupe IIB (38,0 - 49,5% contre 38,2 - 42,2% dans le sous-groupe IIB) et le limonène qui est plus élevé dans le sous-groupe IIA (3,2 - 15,9% contre 4,5 - 7,1% dans le sous-groupe IIB).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Par conséquent, la composition de l'huile essentielle des feuilles de myrte algérien, avec le chémotype « α -pinène/1,8-cinéole » est similaire à ceux rapportés pour les huiles de myrte de Corse, de Sardaigne et de Tunisie. En revanche, elle diffère des huiles contenant de l'acétate de myrtényle qui ont été trouvés au Maroc, l'Espagne, le Portugal, l'Italie, l'ex-Yougoslavie, le Monténégro, la Croatie, la Grèce, l'Albanie et la Turquie.

Il est à noter également que dans tous les travaux réalisés en Algérie, l'acétate de myrtényle était absent ou présent à l'état de traces, à l'exception d'une étude réalisée sur un échantillon d'huile des feuilles de myrte de la province d'Aïn Defla, où il a été signalé comme composé majoritaire (38,7%), suivi de l' α -pinène (13,7%), du 1,8-cinéole (12,7%) et du linalol (7,0%) (**Touaibia, 2017**). Une telle composition qui a l'air vraiment inhabituelle en Algérie, est classique pour l'huile essentielle des feuilles de myrte marocain.

II.6.2. Activités biologiques de l'huile essentielle de *M. communis*

-a- Activité antimicrobienne

Nous citerons quelques exemples de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de myrte, de plusieurs origines et ayant des profils chimiques différents. En effet, de nombreuses recherches ont évalué l'activité antibactérienne qui a montré différents degrés d'activité sur les bactéries à Gram positif et à Gram négatif (**Rasooli et al., 2002 ; Bouzouita et al., 2003 ; De Laurentis et al., 2005 ; Deriu et al., 2007 ; Rossi et al., 2007 ; Gündüz et al., 2009 ; Oulia, 2009 ; Zanetti et al., 2010 ; Akin et al., 2010 ; Djenane et al., 2011 ; Berka-Zougali et al., 2012 ; Ben Ghnaya et al., 2013**). A titre d'exemple, on peut citer les résultats suivants :

- L'activité antibactérienne de sept échantillons d'huile essentielle de myrte récolté dans différentes régions en Italie a été évaluée. Ces échantillons présentent une composition chimique où la teneur du 1,8-cinéole et d'acétate de myrtényle varie selon la région de récolte. Deux souches se sont montrées sensibles à l'action de ces huiles essentielles. Il s'agit de : *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus* (CMI = 1,5 - 5,8 mg/ml) (**De Laurentis et al., 2005**).

- L'huile essentielle de myrte de Corse (α -pinène, 52% et 1,8-cinéole, 30,1%) inhibe également la croissance de *Staphylococcus aureus*, avec une CMI = 0,25% (v/v), soit 2,5 μ l/ml (**Rossi et al., 2007**).

- L'huile essentielle du myrte de Sardaigne (α -terpinène, 51,8% et 1,8-cinéole, 35,6%) exerce un effet antibactérien sur 7 souches cliniques d'*Helicobacter pylori* avec une CMI de l'ordre 0,075% (v/v), soit 0,75 μ l/ml (**Deriu et al., 2007**).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

- L'huile essentielle du myrte de Sardaigne (α -pinène, 11% ; 1,8-cinéole, 16% ; linalol, 12% ; α -terpinéol, 7%) a présenté une bonne activité contre *Mycobacterium tuberculosis*, avec une CMI = 0,17% (v/v), soit 1,7 μ l/ml (**Zanetti et al., 2010**).

Concernant le myrte d'Algérie, l'huile essentielle a été testée sur plusieurs souches bactériennes. **Djenane et al. (2011)** ont montré que *S. aureus* (CMI= 0,12% (v/v), soit 1,2 μ l/ml) était plus sensible que *E. coli* (CMI= 0,22% (v/v), soit 2,2 μ l/ml) vis-à-vis de l'action de l'huile essentielle de *Myrtus communis* extraite des parties aériennes provenant du centre algérien (région de Tizi Ouzou).

Toujours dans le centre algérien (Forêt de Bainem), l'huile essentielle a été testée sur huit bactéries incluant trois bactéries à Gram positif : *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* et cinq bactéries à Gram négatif : *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Enterobacter cloacea* et *Pseudmona saeruginosa*. La meilleure sensibilité a été observée vis-à-vis de *Bacillus subtilis*, mais avec des CMI élevées de 10 et 20 μ l/ml (**Berka-Zougali et al., 2012**).

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle du myrte d'Algérie, dont l'origine est indéterminé a été également testée contre cinq souches : *E. coli*, *Salmonella* sp., *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *Listeria* sp.. Des valeurs de diamètres des zones d'inhibition plus élevées ont été notées vis-à-vis d'*E. coli* (15 mm) et de *Salmonella* sp. (14 mm). Cependant, les souches bactériennes *S. aureus*, *B. subtilis* et *Listeria* sp. se sont montrées moins sensibles à l'action de l'huile essentielle de *Myrtus communis* (**Ben Ghnaya et al., 2013**).

Enfin, **Cherrat et al. (2013, 2014)** ont étudié l'activité antibactérienne de l'huile de myrte du Maroc. Ils avancent que les HES de *Myrtus communis* étaient plus actives contre les bactéries à Gram-positif que celles à Gram-négatif. Les diamètres des zones d'inhibition varient entre $10,8 \pm 2,6$ mm et les CMI entre 1,0 et 56 μ l/ml. En effet, l'activité de l'huile essentielle de myrte sur les bactéries à Gram positif et négatif a été décrite dans divers travaux. Les bactéries à Gram positif se sont révélées plus sensibles que les bactéries à Gram négatif (**De Laurentis et al., 2005 ; Owlia, 2009**).

-b- Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'huile essentielle de myrte est limitée car il s'agit d'une huile essentielle riche en monoterpènes (α -pinène, 1,8-cinole, β -pinène, linalol, etc.), qui sont des composés connus pour avoir un faible pouvoir antioxydant, contrairement aux dérivés du phénol tels que le thymol et le carvacrol (**Wannes et al., 2010**). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par (**Yadegarinia et al., 2006**), relatifs à une huile essentielle de myrte

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

d'Iran et avec ceux rapportés par **Sirajudheen et al. (2017)** qui avancent que l'huile essentielle des feuilles de *Myrtus communis* récoltées au Yemen a présenté un pouvoir réducteur faible de radical DPPH, avec une valeur de CI_{50} de l'ordre de 4,1 mg/ml.

Aussi, **Mimica-Dukić et al. (2010)** ont étudié l'activité antioxydante de l'huile essentielle des feuilles de myrte provenant de deux stations très éloignées (sud et nord) du littoral de Monténégro. Les résultats du test DPPH* ont montré une faible activité, avec une CI_{50} de l'ordre de 6,24 mg/ml et de 5,99 mg/ml, respectivement. La capacité de piégeage des radicaux libres par les huiles essentielles de myrte étaient significativement plus faibles que celle du contrôle positif utilisé (BHT, CI_{50} = 8,62 μ g/ml ; BHA, CI_{50} = 3,09 μ g/ml).

De même, les travaux menés par **Snoussi et al. en 2012**, sur l'activité antioxydante de l'huile essentielle de trois organes de *Myrtus communis* (bourgeons floraux, baies et feuilles) de nord-ouest de la Tunisie viennent confirmer ces résultats. En effet, ces huiles essentielles présentent une faible activité antioxydante, avec une CI_{50} obtenue par le test de DPPH*, de l'ordre de 240, 524 et 941 μ g/ml, respectivement, nettement supérieures à celle du standard (BHT, CI_{50} = 20 μ g/ml).

Enfin, d'après **Cherrat et al. (2013)**, l'huile essentielle des parties aériennes de *Myrtus communis* récoltées au Maroc montre un pourcentage d'inhibition également très faible avec une valeur de l'ordre de 10% par rapport au standard BHT (83%).

Partie Expérimentale

PARTIE EXPERIMENTALE

De nos jours, les huiles essentielles ont une importance considérable en raison de la demande croissante des industries alimentaires et pharmaceutiques mais aussi de leur potentiel à fournir des avantages thérapeutiques dans la prévention et la gestion des maladies. En effet, actuellement elles sont utilisées pour leurs propriétés antibactérienne, antifongique, antivirale, anti-inflammatoire et antioxydante.

Dans le présent travail, nous nous sommes proposés de valoriser deux espèces végétales à savoir : *Pituranthos scoparius* et *Myrtus communis*.

I. Matériel végétal

Des parties aériennes (tiges et fleurs ou fruits/graines) de *Pituranthos scoparius* ont été collectées dans le centre et l'ouest de l'Algérie dans deux stations différentes : Ghardaïa (de mars à mai 2016 : 3 échantillons par mois) et Béchar (de mars à mai 2016 ; de septembre 2016 à janvier 2017 ; de mars à mai 2017 : 3 échantillons par mois) (**Figure 2**). Les prélèvements de 45 échantillons (36 à Béchar et 9 à Ghardaïa) ont été réalisés sur des pieds individuels. Il est à noter que l'échantillonnage a été réalisé par Dr. MALTI Charaf Eddine Watheq (**Malti, 2019**).



Figure 2 : Situation géographique des lieux des prélèvements de *Pituranthos scoparius*

Des feuilles de *M. communis* ont été collectées dans le nord-ouest de l'Algérie dans cinq stations (Beni Khellad, Honaine, Beni Ouarsous, Nedroma et Aïn Kebira) de la wilaya de Tlemcen (**Figure 3**) durant les mois de février et mars 2018. Les prélèvements de 42 échantillons (soit 9 à 10 échantillons par station) ont été réalisés sur des pieds individuels adultes. Il est à noter que l'échantillonnage a été réalisé par **Achouri et Belilet** en **2018**.

PARTIE EXPERIMENTALE

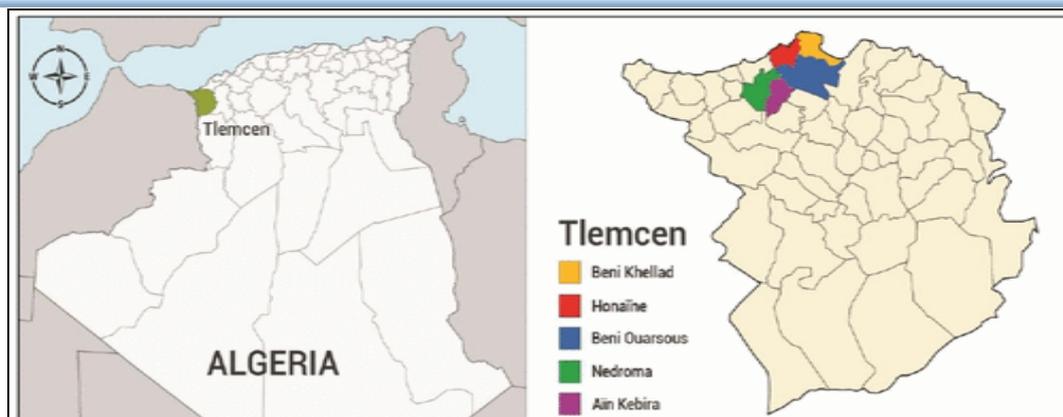


Figure 3 : Situation géographique des lieux des prélèvements de *Myrtus communis* (Bekhechi *et al.*, 2019)

II. Extraction des huiles essentielles

Le terme huile essentielle dérivé de " Quinta essentia " un nom donné par le médecin suisse Paracelse aux extraits de plantes obtenues par distillation ; il signifie la fragrance et la quintessence de la plante (**Hart *et al.*, 2008**).

Une huile essentielle est un liquide très complexe concentré en matière première végétale obtenu par extraction ou distillation de molécules volatiles de la plante.

En pratique, il est possible d'obtenir une huile essentielle à partir de la plante entière ou bien seulement à partir de certaines parties de la plante, tels que les fleurs, les feuilles, le bois, l'écorce, les fruits, les racines ou les tiges.

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée par hydrodistillation des feuilles ou des parties aériennes séchées (160 - 180 g pour le myrte et 140 - 300 g pour *Pituranthos scoparius*, avec un appareil de type Clevenger (**Photo 7**) en mélangeant les matières végétales avec de l'eau dans un ballon de 2 litres. L'ensemble est porté à l'ébullition pendant une durée de 2 heures. Pour éviter leur dégradation, due à l'action de l'air ou de la lumière, les huiles essentielles étaient conservées dans des piluliers en verre à $4 \pm 1^\circ \text{C}$ à l'abri de la lumière.

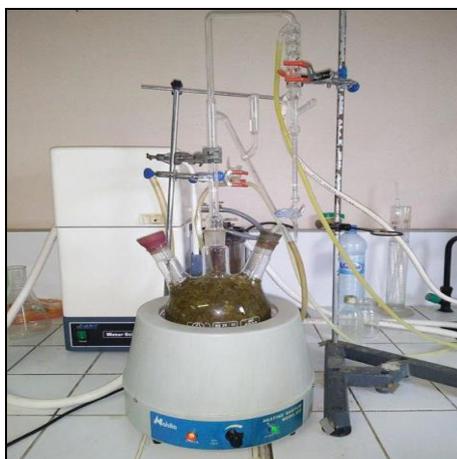


Photo 7 : Montage d'un appareil d'hydrodistillation de type Clevenger

III. Détermination des rendements en huiles essentielles

Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenu et la masse du matériel végétal sèche à traiter. Le rendement est calculé par la formule suivante :

$$\text{Rdt \%} = M/M_0 \times 100$$

Rdt% : Rendement en huile essentielle

M : Masse d'huile essentielle récupéré (g)

M₀ : Masse de matière végétale à traiter (g)

IV. Analyse des huiles essentielles

L'analyse des huiles essentielles a été réalisée par les techniques chromatographique et spectrométrique (CPG-Ir et CPG-SM) au niveau du laboratoire « Chimie et Biomasse » de l'université de Corse-CNRS.

IV.1. Chromatographie en Phase Gazeuse

Les analyses chromatographiques en phase gazeuse ont été réalisées à l'aide d'un appareil Perkin-Elmer Clarus 500, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID), d'un injecteur diviseur et de deux colonnes capillaires de dimensions (50 m x 0,22 mm ; épaisseur du film : 0,25 µm), apolaire (BP-1, polyméthylsiloxane) et polaire (BP-20, polyéthylène glycol).

IV.1.1. Conditions opératoires

Le gaz vecteur est l'hydrogène (0,8 ml/min), avec une pression en tête de colonne de 25 psi ; la température de l'injecteur et du détecteur est de 250 °C ; la température est programmée depuis 60 °C jusqu'à 220 °C, à raison de 2 °C/min, suivie d'un palier de 20 min à 220 °C ; l'injection se fait par mode split avec un rapport de division de 1/60.

IV.1.2. Identification des constituants

Les constituants ont été identifiés par comparaison de leurs indices de rétention (Ir) calculés par rapport à une série d'alcane (C₈-C₂₈) avec interpolation linéaire sur les deux colonnes, avec ceux des composés de référence contenus dans la bibliothèque du laboratoire.

IV.2. Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (CPG-SM)

Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un chromatographe Perkin Elmer TurboMass doté d'un injecteur automatique et d'une colonne capillaire de silice fondue (50 m x 0,22 mm, épaisseur du film 0,25 µm), BP-1 (diméthylpolysiloxane), couplé à un détecteur de masse Perkin-Elmer TurboMASS.

IV.2.1. Conditions opératoires

Les molécules sont bombardées par un faisceau électronique de 70 eV, la détection se fait par un analyseur quadripolaire constitué d'un assemblage de quatre électrodes parallèles de section cylindrique. La température de la source est de 250 °C. Les spectres de masse obtenus par impact électronique ont été acquis sur la gamme de masse 40 - 400 Da.

Le gaz vecteur est l'hélium (0,8 ml/min), exerçant une pression en tête de colonne de 43 psi ; la température linéaire est programmée depuis 60 °C jusqu'à 220 °C, à raison de 2 °C/min, suivie d'un palier de 20 min à 220 °C ; l'injection se fait par mode split avec un rapport de division de 1/75.

IV.2.2. Identification des constituants

L'identification est basée sur la comparaison du spectre de masse, obtenu pour chacun des composés de l'huile essentielle lors de la fragmentation de nos solutés, avec une banque de spectres de produits de référence (**National Institute of Standards and Technology, 1999 ; König et al., 2001 ; Adams, 2007 ; National Institute of Standards and Technology, 2014**).

V. Etude des activités biologiques des huiles essentielles de *Pituranthos scoparius* et de *Myrtus communis*

Les plantes en générale, sont de plus en plus utilisées dans divers domaines et apporte soulagement et bien-être. D'abord, on se sert des plantes entières (sous forme de cataplasmes, infusions, macérations, décoctions), ensuite l'homme s'est intéressé à « détacher de son support » le principe aromatique (**Lardry et Haberkorn, 2007**). Ainsi, les huiles essentielles ont prouvé leur valeur inestimable pour la santé durant ces dernières décennies (**Bandoniène et al., 2000**).

Dans ce travail, nous avons étudié le pouvoir antioxydant, antimicrobien et anti-inflammatoire des huiles essentielles de *Myrtus communis* et de *Pituranthos scoparius*. Ainsi, pour avoir une quantité suffisante afin de pouvoir réaliser les activités biologiques, nous avons mélangé les huiles essentielles des différents échantillons.

V.1. Activité antioxydante des huiles essentielles

Pour évaluer l'activité antioxydante *in vitro* d'un extrait naturel, différentes méthodes ont été développées. Ces méthodes impliquent le mélange d'espèces oxydantes, tels que les radicaux libres ou les complexes métalliques oxydés, avec un échantillon qui contient des antioxydants capables d'inhiber la génération de radicaux.

PARTIE EXPERIMENTALE

L'activité antioxydante a été évaluée par le test du piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl).

V.1.1. Piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

Ce dosage spectrophotométrique est basé sur la mesure de la capacité d'un antioxydant (AH) à réduire le radical stable DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) de couleur violette foncée en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine) de couleur jaune facilement mesurable par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 515 à 520 nm (**Figure 4**). Cette réduction est due à l'aptitude des composés antioxydants à céder des protons ou des électrons (**Bandoniene et al., 2002 ; Pavlov et al., 2002 ; Gazi et al., 2004**).

Figure 12

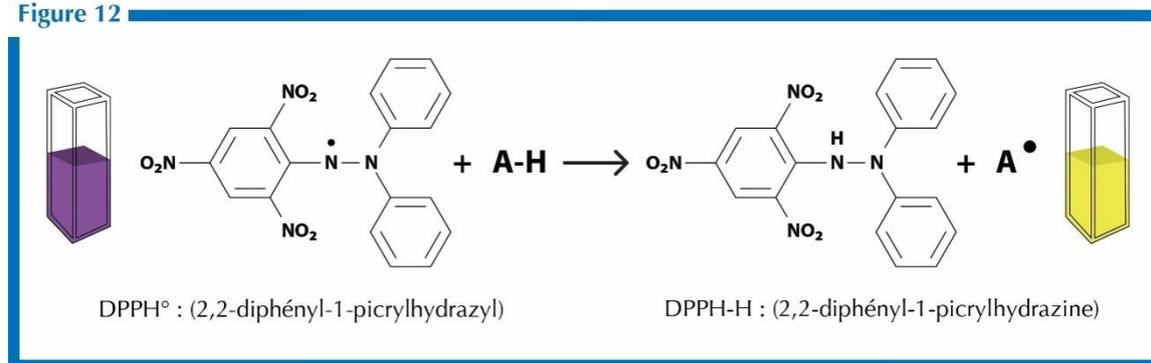


Figure 4 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH

Le protocole utilisé repose sur la méthode expérimentale rapportée par **Kouame et al.**, en **2017**. 2,5 ml de diverses concentrations (256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1 mg/ml) d'huiles essentielles préparées dans de l'éthanol absolu, sont ajoutés à 1 ml d'une solution éthanolique de DPPH à 0,03 mg/ml. Pour chaque concentration, un blanc a été préparé. En parallèle, un contrôle négatif est préparé en mélangeant 2,5 ml d'éthanol absolu avec 1 ml d'une solution éthanolique de DPPH. Après incubation à l'obscurité pendant 30 min et à température ambiante, la lecture des absorbances est effectuée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

L'activité de l'huile essentielle a été comparée à l'acide ascorbique en tant que contrôle positif.

L'activité de piégeage des radicaux libres DPPH en pourcentage (%) a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(A_{\text{contrôle}} - A_{\text{test}}) / A_{\text{contrôle}}] \times 100$$

Avec : $A_{\text{contrôle}}$: Absorbance du contrôle ; A_{test} : Absorbance du test effectué

La concentration de l'huile essentielle nécessaire pour la réduction de 50% de la concentration initiale du DPPH* (CI_{50}), a été calculée à partir du graphique tracé en pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations en huile essentielle.

PARTIE EXPERIMENTALE

V.2. Activité antimicrobienne des huiles essentielles

La multi-résistance est un problème de santé publique à l'échelle planétaire. En effet, beaucoup d'infections microbiennes telles que la tuberculose, le paludisme ou encore les maladies nosocomiales, sont devenues très résistantes aux antibiotiques. Il est donc urgent de trouver de nouvelles cibles pour de nouveaux antimicrobiens.

La détermination du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles est réalisée vis-à-vis de six bactéries et trois champignons filamenteux en appliquant la méthode de diffusion sur disque.

V.2.1. Provenance des germes

Les souches pathogènes (**Tableau 1**) utilisées ont été choisies pour leurs fréquences élevées à contaminer les denrées alimentaires, leurs résistances courantes à différents antibiotiques et pour leur pathogénicité.

Tableau 1 : Origines des souches utilisées pour l'étude du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles

	Micro-organismes	Gram	Code	Origine
Bactéries	<i>Escherichia coli</i>	Négatif	ATCC 8739	LAPRONA
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 1	Négatif	IBMC Strasbourg	MNHN
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 2	Négatif	ATCC 700603	LAPRONA
	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Négatif	ATCC 27853	LAPRONA
	<i>Staphylococcus aureus</i>	Positif	ATCC 6538	MNHN
	<i>Bacillus cereus</i>	Positif	ATCC 25921	LAPRONA
Champignons	<i>Aspergillus flavus</i>		MNHN 994294	MNHN
	<i>Aspergillus fumigatus</i>		MNHN 566	MNHN
	<i>Fusarium oxysporum</i>		MNHN 963917	MNHN

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris) ; **LAPRONA** : Laboratoire des Produits Naturels (Université de Tlemcen) ; **ATCC** : American Type Culture Collection ; **IBMC** : Institut de Biologie Moléculaire et Cellulaire.

V.2.2. Mise en culture des souches

Une préculture des souches microbiennes est préparée afin d'obtenir une phase exponentielle de croissance. La turbidité est ensuite ajustée avec un spectrophotomètre, à $1-2 \times 10^8$ UFC/ml pour les bactéries ($DO = 0,08$ à $0,1$ / $\lambda = 625$ nm) (**NCCLS, 2001**). Pour les moisissures, les suspensions (préparées à partir d'une culture de 7 jours ayant atteint le stade

PARTIE EXPERIMENTALE

de sporulation sur milieu PDA (Potato Dextrose Agar) sont ajustées à 10^6 spores/ml, ce qui correspond à une transmittance de 68-82% ($\lambda = 530$ nm) (Pfaller *et al.*, 1998).

V.2.3. Méthodes d'étude du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles

La technique utilisée pour déterminer le pouvoir antimicrobien des huiles essentielles a une grande influence sur les résultats. A l'heure actuelle, l'activité antimicrobienne *in vitro* d'une substance peut être mise en évidence par un grand nombre de techniques classiques, aussi bien en milieu solide qu'en milieu liquide (Fernandez et Chemat, 2012).

-a- Détermination de l'activité antimicrobienne par la méthode de diffusion sur disque (aromatogramme)

Cette méthode qualitative teste la sensibilité ou la résistance des micro-organismes par contact direct avec les huiles essentielles. C'est une méthode qui est généralement utilisée pour la présélection de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles, car le diamètre d'inhibition n'est pas une mesure directe de l'activité des huiles essentielles mais une indication qualitative de la sensibilité ou de la résistance des germes.

Un disque de papier filtre de 6 mm de diamètre imprégné de 15 μ l d'huile essentielle et de 5 μ l de DMSO est déposé sur la surface d'un milieu gélosé en boîte de Pétri (3 disques par boîte) préalablement ensemencées en surface en nappe avec 1 ml de suspension microbienne (10^6 UFC/ml pour les souches bactériennes sauf *Staphylococcus aureus* qui a été ensemencée à 10^7 UFC/ml et 10^4 spores/ml pour les moisissures) pendant 10 à 15 min. L'excédent de l'inoculum est éliminé par aspiration.

Les milieux de culture utilisés sont : i) gélose Mueller-Hinton pour les bactéries et ii) milieu PDA (Potato Dextrose Agar) pour les moisissures.

Les boîtes sont laissées 1 h à température ambiante puis retournées et incubées à 37 °C pendant 18-24 h pour les bactéries et pendant 3 à 5 jours pour les moisissures.

Les germes se développent sous forme de colonies visibles à l'œil nu pendant l'incubation de sorte qu'un halo clair autour du disque indique l'inhibition de la croissance microbienne, dont le diamètre de ce dernier dépend de la sensibilité aux huiles essentielles et est mesuré en mm, disque inclus.

En parallèle, la sensibilité des souches microbiennes, vis-à-vis de : ciprofloxacine (CIP. 5 μ g/disque) contre les bactéries ; nystatine (NY. 30 μ g/disque) et fluconazole (FLU. 25 μ g/disque) contre les moisissures, a été testée comme contrôle positif et du DMSO (20 μ l/disque) comme contrôle négatif.

Résultats et discussion

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Rendements d'extraction

Les huiles essentielles ont été extraites des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* par **Dr. Malti (2019)** et des feuilles de *Myrtus communis* par **Achouri et Belilet** en 2018.

L'extraction a été réalisée par hydrodistillation avec un appareil de type Clevenger.

Ces huiles essentielles ont un aspect liquide avec une couleur jaune pâle et caractérisées par une forte odeur. Les rendements sont calculés par rapport à la matière végétale sèche et sont reportés dans les figures 5, 6 et 7.

I.1. *Pituranthos scoparius*

L'échantillonnage a été réalisé dans deux stations : Béchar et Ghardaïa. Les prélèvements ont été effectués durant la période allant de mars à mai 2016 (période de floraison) ; de septembre 2016 à janvier 2017 (du début de la floraison à la fin de la fructification) et de mars à mai 2017 (période de floraison) pour la station de Béchar et de mars à mai 2016 (période de floraison) pour la station de Ghardaïa. Chaque mois, trois échantillons ont été prélevés à partir de pieds individuels.

Une grande variabilité concernant les rendements en huiles essentielles a été observée, allant de 0,32 à 0,96%. La teneur en huile essentielle la plus élevée (0,96%), a été observée en mars 2016 pour la région de Béchar (**Figure 6**).

Nous avons remarqué que les échantillons de la région de Ghardaïa présentent des teneurs en huile essentielle les plus faibles, variant de 0,32 à 0,46% (**Figure 5**).

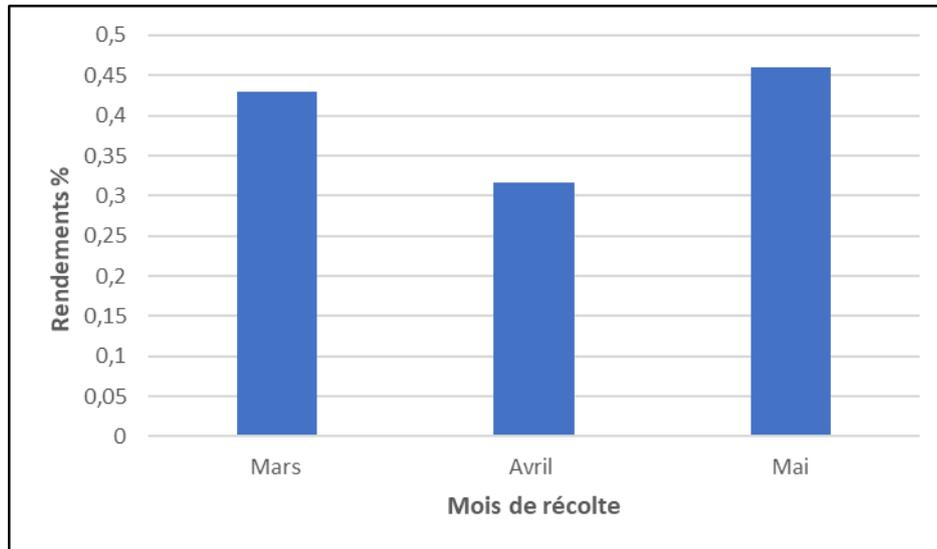


Figure 5 : Rendements (%) en huile essentielle des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* récoltées à Ghardaïa

En comparant les rendements en huiles essentielles des échantillons récoltés dans la région de Béchar, nous avons constaté que les teneurs en huile essentielle obtenues en

RESULTATS ET DISCUSSION

printemps 2016 (0,45 - 0,96%) sont plus importants que celles obtenues en 2017 (0,38 - 0,57%). En revanche, ces dernières sont comparables à celles obtenues durant la période de septembre 2016 à janvier 2017 (0,43 - 0,55%) (**Figure 6**).

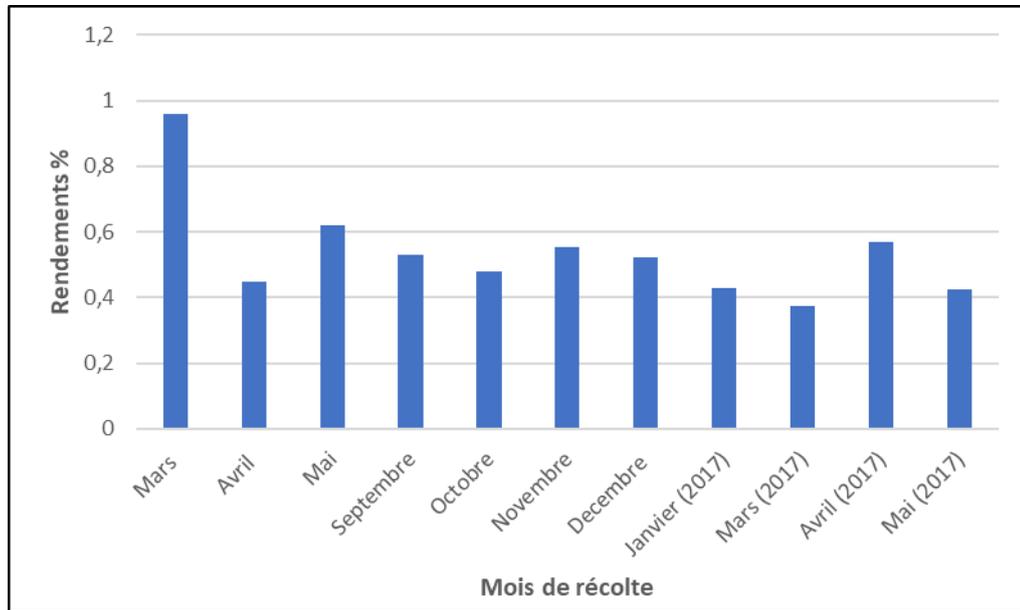


Figure 6 : Rendements (%) en huile essentielle de des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* récoltés à Béchar

Ces rendements ont été comparés à ceux des travaux antérieurs (**tableau 2**).

Tableau 2 : Comparaison des rendements en huile essentielle de *Pituranthos scoparius* obtenus avec ceux des travaux antérieurs

Parties de la plante utilisées	Région de récolte	Type d'extraction	Rendement (%)	Références bibliographiques
Parties aériennes (tiges et graines)	Ghardaïa	Hydrodistillation	0,6 à 2,8%	Gourine <i>et al.</i>, 2011
Parties aériennes	Biskra, M'Sila et Batna	Hydrodistillation	0,47 à 2,29%	Lograda <i>et al.</i>, 2013
Parties aériennes	Biskra	Hydrodistillation	0,25%	Kiram <i>et al.</i>, 2013
Parties aériennes (tiges et fleurs ou fruits/graines)	Ghardaïa et Béchar	Hydrodistillation	0,32 à 0,96%	Nos résultats Malti <i>et al.</i>, 2018

Nos résultats sont plus importants que ceux de **Kiram *et al.* (2018)**, mais sont nettement inférieurs à ceux obtenus par **Gourine *et al.* (2011)** et par **Lograda *et al.* (2013)**. On peut déduire que le rendement en huile essentielle d'une même espèce peut être variable d'une région à une autre et même au niveau d'une même région, d'une période à une autre. Ceci est

RESULTATS ET DISCUSSION

du probablement aux conditions pédoclimatiques, à la période de la récolte ou bien au cycle de développement de la plante.

I.2. *Myrtus communis*

L'échantillonnage a été réalisé dans cinq stations de la wilaya de Tlemcen : Beni Khellad, Honaine, Beni Ouarsous, Nedroma et Aïn Kebira. Les prélèvements de 42 échantillons (soit 9 à 10 échantillons par station) ont été réalisés sur des pieds individuels adultes durant les mois de février et mars 2018.

De même, les rendements en huile essentielle de *Myrtus communis* sont également très variables, allant de 0,31% et 0,88%. Le rendement moyen le plus élevé (0,88%) a été observé pour la station de Beni Ouarsous et le rendement le plus faible (0,31%) est celui obtenu pour la station de Beni Khellad (**Figure 7**).

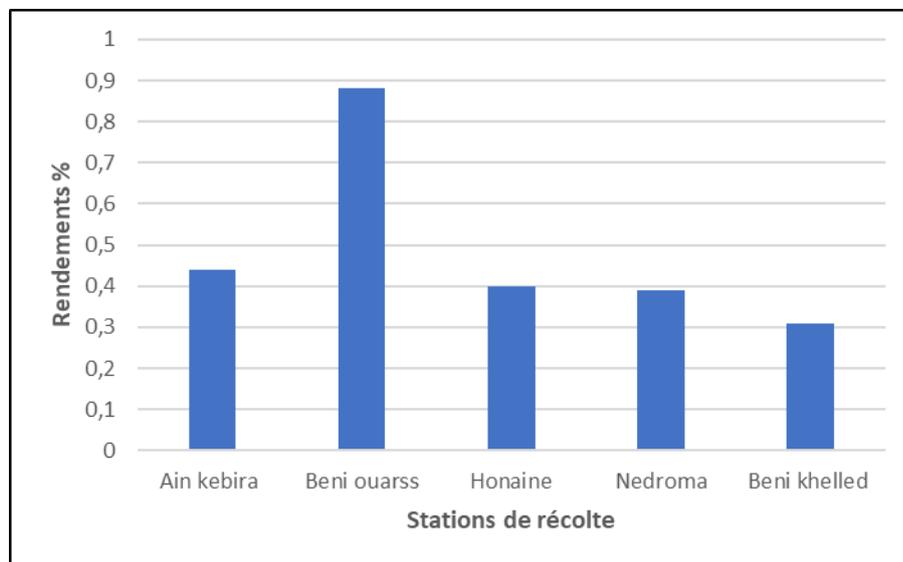


Figure 7 : Moyenne des rendements (%) en huile essentielle des feuilles de *Myrtus communis*

Nous avons constaté aussi que les teneurs moyennes en huiles essentielles obtenues pour les stations suivantes : Nedroma (0,39%), Aïn Kebira (0,44%) et Honaine (0,40%) sont comparables.

Selon la littérature, le rendement en huile essentielle des feuilles de *Myrtus communis* récoltées dans plusieurs localités en Algérie varie considérablement d'un endroit à un autre, allant de 0,4 à 0,9% (**Bouzabata et al., 2013**). De même, les parties aériennes de *Myrtus communis* de provenance de plusieurs régions du nord est de l'Algérie ont fourni des rendements en huile essentielles très variables de l'ordre de 0,2 à 1,2% (**Bouzabata et al., 2010**). Ces résultats sont comparables aux nôtres.

RESULTATS ET DISCUSSION

On note également que les échantillons de *M. communis* qui proviennent de la station de Beni Ouarsous sont les plus riches en huile essentielle avec des teneurs variant entre 0,72 et 1,04%, comparables à celles rapportés par **Mimica-Dukić et al. (2010)** qui ont obtenus des rendements en huile essentielle des feuilles de myrte de provenance de Monténégro de l'ordre de 0,72 et 0,81%. En revanche, des teneurs faibles sont obtenus pour les différents échantillons récoltés à Beni Khalled (0,13 – 0,50%), à Nedroma (0,14 - 0,65%) et à Honâine (0,19 – 0,66%).

Enfin, on peut conclure que le rendement en huile essentielle varie d'une plante à une autre, mais aussi en fonction des conditions environnementales, climatiques, géographiques, la technique de distillation ainsi que la période de récolte (**Lahlou, 2004**).

II. Composition chimique des huiles essentielles de *Pituranthos scoparius* et de *Myrtus communis*

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des huiles essentielles des parties aériennes (tiges, feuilles, fleurs et/ou graines) de *Pituranthos scoparius* provenant de deux stations différentes de l'Algérie : Ghardaïa et Béchar et des feuilles de *Myrtus communis* provenant de cinq stations de la région de Tlemcen. Pour la réalisation des activités biologiques, nous avons regroupé les huiles, afin de disposer de quantités suffisantes pour pouvoir effectuer la totalité des tests. Il est à noter que ces huiles essentielles ont été conservées dans des piluliers en verre à $4 \pm 1^\circ \text{C}$ à l'abri de la lumière, depuis l'extraction, 2016 - 2017 pour *Pituranthos scoparius* et depuis 2018 pour *Myrtus communis*.

L'analyse des huiles essentielles de *Pituranthos scoparius* et de *Myrtus communis*, a été réalisée par les techniques chromatographique et spectrométrique (CPG-Ir et CPG-SM) au niveau du laboratoire « Chimie et Biomasse » de l'université de Corse-CNRS.

II.1. *Pituranthos scoparius*

La combinaison de techniques chromatographique et spectroscopique pour l'analyse des huiles essentielles « communelle » des deux espèces a permis d'identifier 31 composés représentant 93,1% de la composition totale pour l'huile essentielle de *P. scoparius* récolté dans la région de Ghardaïa et 30 composés représentant 92,5% de la composition totale pour celle de l'échantillon récolté dans la région de Béchar (**Tableau 3**). Ces huiles essentielles sont caractérisées par une forte proportion en monoterpènes hydrocarbonés (sabinène, limonène et α -pinène) et en phénylpropanoïdes (6-méthoxy élémicine).

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 3 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius*

Composés ^a	Ir _a ^b	Ir _p ^c	Echantillon communelle Ghardaïa	Malti, 2019	Echantillon communelle Béchar	Malti <i>et al.</i> , 2018
α-Thujène	924	-	0,6	0,7	0,5	0,5
α-Pinène	932	1019	8,5	9,9	3,3	3,3
Sabinène	967	1126	4,0	4,5	23,2	22,4
β-Pinène	972	1115	3,5	3,9	1,7	1,7
Myrcène	982	1164	0,9	0,9	0,7	0,8
α-Phellandrène	999	1170	7,5	7,5	0,1	0,6
δ-3-Carène	1007	1152	1,3	0,9	0,1	0,2
p-Cymène	1013	1276	3,0	3,5	2,7	2,2
Limonène*	1023	1206	23,3	18,4	19,4	19,5
β-phellandrène*	1023	1215	4,0	4,1	0,1	0,2
γ-Terpinène	1050	1248	1,0	0,9	0,3	0,7
<i>trans</i> -Hydrate de sabinène	1056	1467	0,1	0,2	0,4	0,2
Terpinolène	1080	1287	0,7	0,4	0,1	0,3
<i>trans</i> -Verbénol	1132	1680	0,1	0,1	0,2	0,2
Terpinéol-4	1164	1605	0,7	0,7	3,8	3,7
Méthyleugénol	1372	2016	2,3	2,1	0,8	0,8
α-Copaène	1378	1493	0,7	0,6	0,2	0,1
β-Cubébène	1388	1539	0,5	0,3	0,1	0,1
(<i>E</i>)-β-Caryophyllène	1419	1598	0,5	0,4	Tr	-
Germacrène D	1478	1710	8,3	6,5	0,6	2,1
β-sélinène	1483	1719	0,4	0,3	0,1	0,1
Myristicine*	1489	2267	6,0	9,7	0,1	0,3
Bicyclogermacrène*	1489	1734	1,3	0,8	Tr	0,7
δ-Cadinène	1516	1757	1,5	1,4	0,2	0,2
Spathuléol	1561	2123	1,0	1,3	1,2	-
6-Méthoxy élémicine	1566	2208	3,0	6,0	34,7	34,8
Apiole dill	1592	2359	0,9	1,4	0,1	-
τ-Muurolol	1629	2185	1,1	1,0	0,3	0,3
β-Eudesmol	1637	2228	2,0	1,8	0,7	0,6
α-Eudesmol	1640	2220	0,2	0,1	0,1	-
(Z)-Ligustilide	1696	2579	5,6	5,5	-	-
Total (%)			93,1	95,8	92,5	96,3

^a : L'ordre d'élution et les pourcentages donnés sont ceux sur colonne apolaire (BP-1), à l'exception des composés dont les noms sont suivis d'un astérisque (pourcentages sur colonne polaire (BP-20)). ^bIr_a : Indices de rétention mesurés sur colonne apolaire. ^cIr_p : Indices de rétention mesurés sur colonne polaire. Tr : Trace. - : Absence totale.

Les deux échantillons sont qualitativement homogènes mais sont très variables du point de vue quantitatif.

RESULTATS ET DISCUSSION

Nous remarquons que l'échantillon d'huile essentielle de Ghardaïa est caractérisé par une teneur élevée en limonène (23,3%), suivi de : α -pinène (8,5%), germacrène D (8,3%), α -phellandrène (7,5%), myristicine (6%) et (*Z*)-ligustilide (5,6%). D'autres constituants sont présents en quantités appréciables, à savoir : sabinène (4,0%), β -phellandrène (4,0%), β -pinène (3,5%), *p*-cymène (3,0%) et 6-méthoxy élémicine (3,0%). En revanche, l'échantillon de Béchar est dominé par la 6-méthoxy élémicine (34,7%), le sabinène (23,2%) et l' α -pinène (19,4%). D'autres monoterpènes : terpinéol-4 (3,8%), α -pinène (3,3%) et *p*-cymène (3,0%) sont présents en teneurs appréciables. Il est à noter également que le (*Z*)-ligustilide est totalement absent dans l'échantillon de Béchar.

En comparant nos résultats avec ceux de **Malti et al. (2018 ; 2019)**, nous constatons que la composition chimique de nos échantillons est semblable à ceux rapportés par ces auteurs. Ainsi, on peut déduire que les deux échantillons d'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* ont été bien conservés depuis 2016.

En confrontant nos résultats avec ceux décrits dans la littérature, nous avons constaté que l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* présente une composition chimique très variable. De plus, la 6-méthoxy élémicine (jusqu'à 34,7%) n'a jamais été trouvé auparavant dans l'huile essentielle de cette plante.

Vernin et al., (1999) ont montré la présence de l'apiole comme composé majoritaire (jusqu'à 52%), suivi de l'acétate de bornyle (21%) dans l'huile essentielle extraite à partir des graines de *Pituranthos scoparius*. Des teneurs élevées en apiole dill sont également rapportés par **Gourine et al. (2011)** (jusqu'à 48,1%) et par **Kiram et al. (2013)** (jusqu'à 16,8%) dans l'huile essentielle des parties aériennes de *Pituranthos scoparius*. Par contre, dans nos échantillons l'apiole dill est présent en très faible quantité de l'ordre de 0,1% et 0,9%. Il est à noter également que l'acétate de bornyle est totalement absent dans nos échantillons.

Vérité et al. (2004) avancent du thymol dans l'huile essentielle des graines (jusqu'à 5,9%) qui s'est révélé absent dans nos échantillons.

L'analyse de **Chikhouné et al. en 2016**, sur la composition chimique des huiles essentielles des parties aériennes (tiges et feuilles) fraîches et sèches de *Pituranthos scoparius* rapporte l'absence totale des phénylpropanoïdes, alors que l'huile essentielle de cette espèce est caractérisée par une dominance, voire des quantités appréciables en ces composés.

En outre, le 1,8-cinéole (jusqu'à 7,6%), signalé par **Ksouri et al. en 2017**, dans un échantillon d'huile essentielle récolté dans la région de Tamanrasset, est absent dans nos échantillons qui contiennent plutôt le β -phellandrène (jusqu'à 4,0%).

II. 2. *Myrtus communis*

L'analyse de l'échantillon « communelle » des feuilles de *Myrtus communis* par CPG et par CPG-SM a permis d'identifier 26 constituants représentant 97,1% de la composition totale (**Tableau 4**). L' α -pinène (38,9%) et le 1,8-cinéole (33,4%) sont les composés majoritaires. D'autres constituants sont présents en quantités appréciables : limonène (9,9%), α -terpinéol (3,0%), acétate de géranyle (2,6%) et méthyleugénol (2%).

En comparant notre composition chimique à celle de **Bekhechi et al. (2019)**, nous constatons qu'elles sont homogènes. Ainsi, on peut déduire que notre huile essentielle a été bien conservée durant les deux années.

La composition chimique de l'huile essentielle de *Myrtus communis* a fait l'objet de nombreux travaux. Le 1,8- cinéole, l' α -pinène, le limonène, le linalol et parfois l'acétate de myrtényle sont les composés majoritaires de l'huile essentielle des feuilles de myrte.

La composition de l'huile essentielle des feuilles de myrte de notre échantillon est caractérisée par l'association « α -pinène/1,8-cinéole », chémotype qui est généralement rapporté pour l'huile essentielle des feuilles de myrte algérien. Cette composition est similaire à celles rapportés pour les huiles de myrte de Corse, de Sardaigne et de Tunisie. En revanche, elle diffère des huiles essentielles contenant de l'acétate de myrtényle qui ont été trouvés au Maroc, l'Espagne, le Portugal, l'Italie, l'ex-Yougoslavie, le Monténégro, la Croatie, la Grèce, l'Albanie et la Turquie.

Il est à noter également que dans tous les travaux réalisés en Algérie, l'acétate de myrtényle était absent ou présent à l'état de trace, à l'exception de l'étude réalisée par **Touaibia en 2017** qui signale l'acétate de myrtényle comme composé majoritaire (38,7%) dans un échantillon des feuilles de myrte récoltées dans la région d'Aïn Defla. Une telle composition qui est inhabituelle en Algérie, est classique pour l'huile essentielle des feuilles de myrte marocain.

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 4 : Composition chimique de l'huile essentielle du *Myrtus communis*

Composés ^a	Ir _a ^b	Ir _p ^c	Echantillon « communelle »	Bekhechi <i>et al.</i> , 2019
Isobutyrate d'isobutyle	900	1096	0,3	0,5
α-Thujène	924	-	0,1	0,1
α-Pinène	933	1020	38,9	37,2
β-Pinène	972	1115	0,4	0,3
2-Méthylbutyrate d'isobutyle	990	1179	0,2	0,2
δ-3-Carène	1007	1152	0,2	0,3
p-Cymène	1013	1275	0,7	0,7
Limonène*	1024	1205	9,9	10,6
1,8-Cinéole*	1024	1217	33,4	31,9
γ-Terpinène	1050	1249	0,1	0,2
Terpinolène	1080	1287	0,1	0,1
Linalol	1085	1550	1,6	1,8
2-Méthylbutyrate de 2-méthylbutyle	1091	1283	0,4	0,5
<i>trans</i> -Pinocarvéol	1126	1658	0,4	0,5
Terpinéol-4	1164	1605	0,3	0,3
α-Terpinéol	1175	1699	3,0	2,8
Géranol	1237	1849	0,4	0,4
Acétate de linalyle	1242	1559	0,4	0,6
Acétate d'α-terpinyle	1334	1699	0,6	0,7
Acétate de géranyle	1362	1759	2,6	2,8
Méthyleugénol	1372	2016	2,0	2,4
(<i>E</i>)-β-Caryophyllène	1419	1598	0,1	0,2
Dione ^d	1496	2043	0,4	0,4
Spathuléol	1565	2123	0,2	0,2
Oxyde de caryophyllène	1572	1983	0,3	0,3
Oxyde d'humulène	1596	2039	0,1	0,2
Total (%)			97,1	96,1

^a : L'ordre d'éluion et les pourcentages donnés sont ceux sur colonne apolaire (BP-1), à l'exception des composés dont les noms sont suivis d'un astérisque (pourcentages sur colonne polaire (BP-20)). ^bIr_a : Indices de rétention mesurés sur colonne apolaire. ^cIr_p : Indices de rétention mesurés sur colonne polaire. ^d Dione = 3,3,5,5,8,8-hexaméthyl-7-oxabicyclo[4.3.0]non-1(6)-ène-2,4-dione.

III. Etude des activités biologiques des huiles essentielles

Cette partie est divisée en deux: La première est consacrée à l'activité antimicrobienne des huiles essentielles des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* et des feuilles de *Myrtus communis*. Dans la deuxième partie, nous avons déterminé l'activité antioxydante de ces huiles par le test DPPH*.

III.1. Pouvoir antioxydant des huiles essentielles

RESULTATS ET DISCUSSION

Les composés antioxydants qui pourraient s'avérer utiles dans le traitement de nombreuses pathologies, font actuellement l'objet de nombreuses études.

Afin de déterminer la capacité antioxydante des huiles essentielles de nos plantes: *Pituranthos scoparius* et *Myrtus communis*, nous avons choisi le test DPPH' (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl). Le principe de ce test repose sur un changement de couleur qui a été suivi par la lecture de l'absorbance effectuée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm.

III.1.1. *Pituranthos scoparius*

Les résultats de calcul des pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* sont illustrés dans les figures 8 et 9.

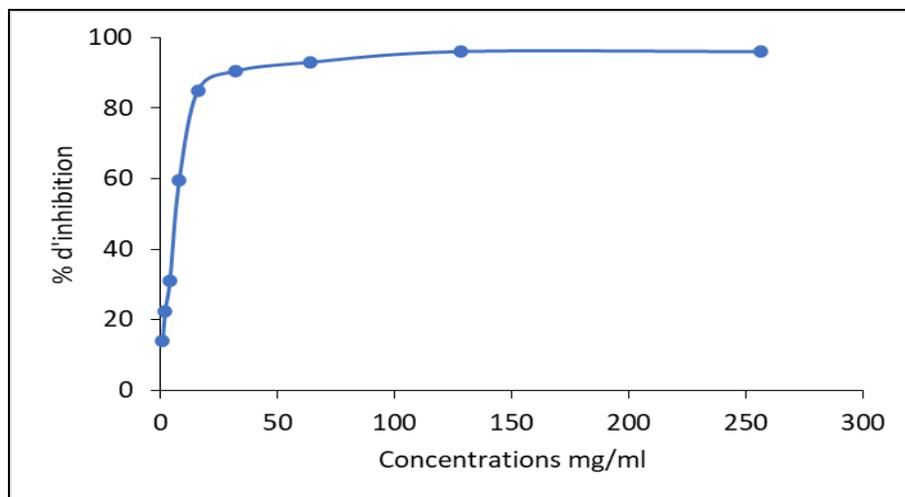


Figure 8 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* (Echantillon de Ghardaïa)

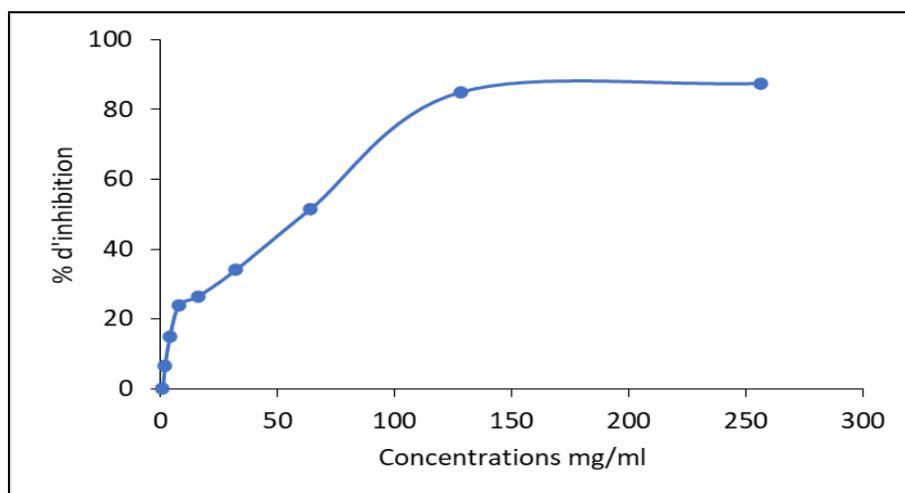


Figure 9 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* (Echantillon de Béchar)

RESULTATS ET DISCUSSION

L'huile essentielle de Ghardaïa a montré une activité antioxydante plus importante vis-à-vis du piégeage du radical libre DPPH avec une valeur de l'ordre de 90,5% à une concentration de 32 mg/ml et 96,0% pour une concentration de 128 mg/ml (**Figure 9**).

En revanche, l'huile essentielle de Béchar a montré une activité antioxydante très faible par comparaison avec celle de Ghardaïa. En effet, à la même concentration 32 mg/ml, nous avons obtenu un pourcentage d'inhibition nettement plus bas de l'ordre de 34,0%. Par contre, à une concentration d'huile essentielle de 128 mg/ml et à 256 mg/ml, les pourcentages d'inhibition sont plus élevés de l'ordre de 85,0% et 87,5%, respectivement.

Ainsi, l'importante activité de l'échantillon de Ghardaïa est due probablement à la présence de la myristicine (6,% contre 0,1%), le méthyleugénol (2,3% contre 0,8%) ainsi que le germacrène D (8,3% contre 0,6%). On peut avancer également que même les sesquiterpènes oxygénés ont participé à la bonne activité de l'échantillon de Ghardaïa car ils sont présents en quantités appréciables, de l'ordre de 3,3% contre 1,1%. L'échantillon de Ghardaïa contient aussi une teneur appréciable en (*Z*)-ligustilide (5,6%) qui est probablement doué d'un pouvoir antioxydant. Par contre, la 6-méthoxy élémicine (34,7%) ne possède probablement aucune activité antioxydante car elle est le composé majoritaire dans l'échantillon de Béchar.

Les valeurs des CI_{50} , présentées dans le tableau 5, nous permettent de comparer l'efficacité des huiles essentielles. Nous rappelons que plus la valeur de la CI_{50} est faible plus l'huile essentielle possède un potentiel pour le piégeage des radicaux libres.

Tableau 5 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH des huiles essentielles des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* exprimée en CI_{50}

Echantillons	CI_{50} (mg/ml)
Béchar	$36,67 \pm 5,51$
Ghardaïa	$6,48 \pm 0,01$
Acide ascorbique	$0,02 \pm 0,001$

Ces résultats confirment ceux obtenus pour les pourcentages d'inhibition. Ainsi, l'échantillon de Ghardaïa est plus actif, avec une CI_{50} de l'ordre de $6,48 \pm 0,01$ mg/ml, mais qui reste nettement moins actif par rapport au composé de référence, l'acide ascorbique qui présente une très faible CI_{50} de l'ordre de $0,02 \pm 0,001$ mg/ml.

Très peu de travaux sont réalisés sur l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius*. **Ksouri et al.** en **2017**, avancent également une faible activité antioxydante. En effet, ils ont obtenu un pourcentage d'inhibition de 84,7% à une

RESULTATS ET DISCUSSION

concentration en huile essentielle de 20 mg/ml et une CI_{50} de l'ordre de $11,21 \pm 0,26$ mg/ml, nettement plus importante que celles des standards testés, à savoir : l'acide ascorbique ($CI_{50} = 4 \mu\text{g/ml}$), l' α -tocophérol ($CI_{50} = 9,55 \mu\text{g/ml}$) et le BHT ($CI_{50} = 72,16 \mu\text{g/ml}$).

III.1.2. *Myrtus communis*

Les résultats de calcul des pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de feuilles de *Myrtus communis* sont illustrés dans la figure 10.

L'huile essentielle de myrte a montré une activité antioxydante comparable à celle de l'échantillon de *Pituranthos scoparius* de Ghardaïa. En effet, nous avons obtenu un pourcentage de l'ordre de 80,5% à une concentration de 256 mg/ml.

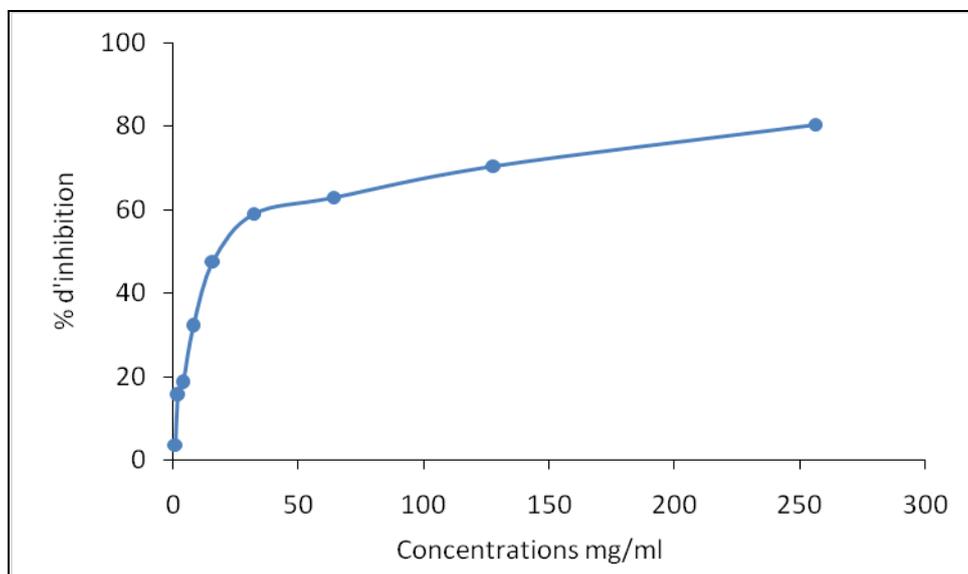


Figure 10: Pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de *Myrtus communis*

La valeur de CI_{50} , présentée dans le tableau 6, nous permet de comparer l'efficacité des huiles essentielles. Ainsi, selon le tableau 6, l'huile essentielle de myrte possède une faible activité antioxydante par rapport à l'acide ascorbique qui est considéré comme un composé de référence.

Tableau 6 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH des huiles essentielles des feuilles de *Myrtus communis* exprimée en CI_{50}

Echantillons	CI_{50} (mg/ml)
Myrte	$25,62 \pm 11,44$
Acide ascorbique	$0,02 \pm 0,001$

RESULTATS ET DISCUSSION

Par comparaison de notre résultat avec ceux de **Achouri et Belilet (2018)**, nous constatons que notre CI_{50} ($25,62 \pm 11,44$ mg/ml) est nettement plus faible que celles ($148,5 \pm 1,98 - 1224,8 \pm 16,05$ mg/ml), obtenus par ces auteurs, ceci est due au type de solvant utilisé. En effet, nous avons utilisé l'éthanol dans notre protocole expérimental au lieu du méthanol.

Comme il est indiqué dans la littérature, l'étude de **Mimica-Dukić et al. (2010)** sur l'activité antioxydante de l'huile essentielle des feuilles de myrte provenant de deux stations du littoral de Monténégro a montré également une faible activité, avec une CI_{50} de l'ordre de 6,24 mg/ml et de 5,99 mg/ml, significativement plus faibles que celles des contrôles positifs testés : BHT, $CI_{50} = 8,62$ µg/ml ; BHA, $CI_{50} = 3,09$ µg/ml. Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par **Sirajudheen et al. en 2017**, qui ont obtenu une valeur de CI_{50} de l'ordre de 4,1 mg/ml pour l'huile essentielle des feuilles de *Myrtus communis* récoltées au Yémen. Par contre, les travaux menés par **Snoussi et al. en 2012**, sur l'activité antioxydante de l'huile essentielle de trois organes (bourgeons floraux, baies et feuilles) de *Myrtus communis* récoltés en Tunisie, rapportent un pouvoir antioxydant plus important, avec des CI_{50} obtenues par le test de DPPH*, de l'ordre de 240, 524 et 941 µg/ml, respectivement, mais qui reste nettement plus faible que celui du standard testé : BHT, $CI_{50} = 20$ µg/ml. Enfin, **Cherrat et al. (2013)** ont obtenu un pourcentage d'inhibition de l'huile essentielle des parties aériennes de *Myrtus communis* récoltées au Maroc, très faible de l'ordre de 10% par rapport au standard, BHT (83%).

III.2. Pouvoir antimicrobien des huiles essentielles

Des huiles essentielles des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* et des feuilles de *Myrtus communis* ont été testées vis-à-vis de six bactéries (*Escherichia coli*, 2 *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus*) en appliquant la méthode de diffusion sur disque. Cette sensibilité des souches est exprimée par l'apparition de zones d'inhibition autour des disques.

III.2.1. Détermination de l'activité antimicrobienne par la méthode de diffusion sur disque (aromatogramme)

Les résultats de l'activité antibactérienne des huiles essentielles des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* (**Photos 8 et 9**) et des feuilles de *Myrtus communis* (**Photos 10 et 11**) ainsi que l'antibiorésistance de chaque souche vis-à-vis des contrôles positifs (**Photo 12**) sont reportés dans le tableau 7.

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 7: Moyennes des diamètres des zones d'inhibition (en mm) des huiles essentielles relatives aux souches bactériennes selon la méthode de diffusion sur disque

Souches bactériennes	Contrôle positif	Huiles essentielles (15 µl/disque)			Contrôle négatif DMSO (20 µl/disque)
	CIP ^a (5 µl/disque)	<i>Pituranthos scoparius</i>		<i>Myrtus communis</i>	
		Echantillon de Ghardaïa	Echantillon de Béchar		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	31,0 ± 1,0	6,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	6,0
<i>Escherichia coli</i>	31,7 ± 0,6	6,0 ± 0,0	7,0 ± 0,5	6,0 ± 0,5	6,0
<i>Klebsiella pneumoniae 1</i>	30,3 ± 0,6	7,0 ± 0,3	7,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0	6,0
<i>Klebsiella pneumoniae 2</i>	25,0 ± 0,0	6,0 ± 0,3	6,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	6,0
<i>Bacillus cereus</i>	26,7 ± 0,6	9,0 ± 0,6	8,0 ± 0,3	10,0 ± 0,5	6,0
<i>Staphylococcus aureus</i>	25,3 ± 0,6	9,0 ± 0,8	10 ± 0,0	13,0 ± 0,0	6,0

^a : Ciprofloxacine

Comme il est indiqué dans la littérature, nous avons considéré qu'une huile essentielle a une action bactériostatique si son diamètre d'inhibition est supérieur à 13 mm (**Rossi et al., 2007**).

Ainsi, les trois huiles essentielles testées possèdent une faible activité antibactérienne avec des diamètres des zones d'inhibition variant entre 6,0 et 13,0 mm. Les bactéries suivantes : *Pseudomonas aeruginosa* et *Klebsiella pneumoniae 2* se sont montrées les plus résistantes. En revanche, *Staphylococcus aureus* s'est avéré le plus sensible à l'huile essentielle de *Myrtus communis*, avec un diamètre de la zone d'inhibition de l'ordre de 13,0 mm. Ce résultat est comparable à celui (14,5 ± 0,7 mm) obtenu par **Achouri et Belilet (2018)** contre la même souche bactérienne. Les deux échantillons de *Pituranthos scoparius* se sont révélés moins actifs contre *Staphylococcus aureus*, avec des diamètres des zones d'inhibition variant entre 8,0 et 10,0 mm.

Il est à noter que l'activité antifongique n'a pu être réalisée par la méthode de diffusion sur disque à cause de la pandémie.

Concernant l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius*, **Kirman et al. (2013)** rapportent une activité modérée contre deux souches de *Staphylococcus aureus*, avec des zones d'inhibition comprises entre 14 et 15 mm. Ils avancent également que *Pseudomonas aeruginosa* s'est révélé très résistante. **Boutaghane et al. en 2008**, ont obtenu un pouvoir antibactérien de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius*, plus important contre *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Staphylococcus aureus* avec des diamètres des zones d'inhibition allant de 14 à 28 mm. En revanche, nos résultats concordent avec ceux de

RESULTATS ET DISCUSSION

Ksouri et al. (2017), qui avancent aussi une faible activité de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* contre *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomona aeruginosa* et *Escherichia coli*, avec des diamètres variants entre $9,0 \pm 1,0$ et $11,7 \pm 1,5$ mm. Ils affirment également que *Staphylococcus aureus* est la seule souche qui s'est avérée sensible avec un diamètre de la zone d'inhibition plus important que le nôtre, de l'ordre de $20,0 \pm 3,0$ mm.

Concernant l'huile essentielle de *Myrtus communis*, **Yadegarinia et al. (2006)** avancent un faible pouvoir antimicrobien contre *S. aureus*, avec un diamètre de la zone d'inhibition de l'ordre de 10 mm. Nos résultats sont également en accord avec ceux de **De Laurentis et al. (2005)**, qui rapportent une faible activité de l'huile essentielle de *Myrtus communis* contre *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, avec des CMI variant entre 1,5 - 5,8 mg/ml. De même, **Cherrat et al. (2013)** avancent un très faible pouvoir antimicrobien de l'huile essentielle de *Myrtus communis* contre les mêmes souches bactériennes avec des CMI très élevées variant entre 4 et 8 μ l/ml. En revanche, **Ben Ghnaya et al. (2013)** ont observé que *Staphylococcus aureus* est la souche la plus sensible vis-à-vis de l'huile essentielle de *Myrtus communis* récolté en Tunisie avec des diamètres des zones d'inhibition variant entre 21 et 23 mm.

En conclusion, de nombreuses études rapportent que les bactéries à Gram positif sont plus sensibles aux huiles essentielles que les bactéries à Gram négatif (**Kokoska et al., 2002**). Cette résistance est due au fait que les bactéries à Gram négatif ont une paroi associée à une membrane complexe externe. Bien que pauvre en peptidoglycane, ceci ralentit le passage des composés hydrophobes tels que les huiles essentielles (**Inouye et al., 2001**).

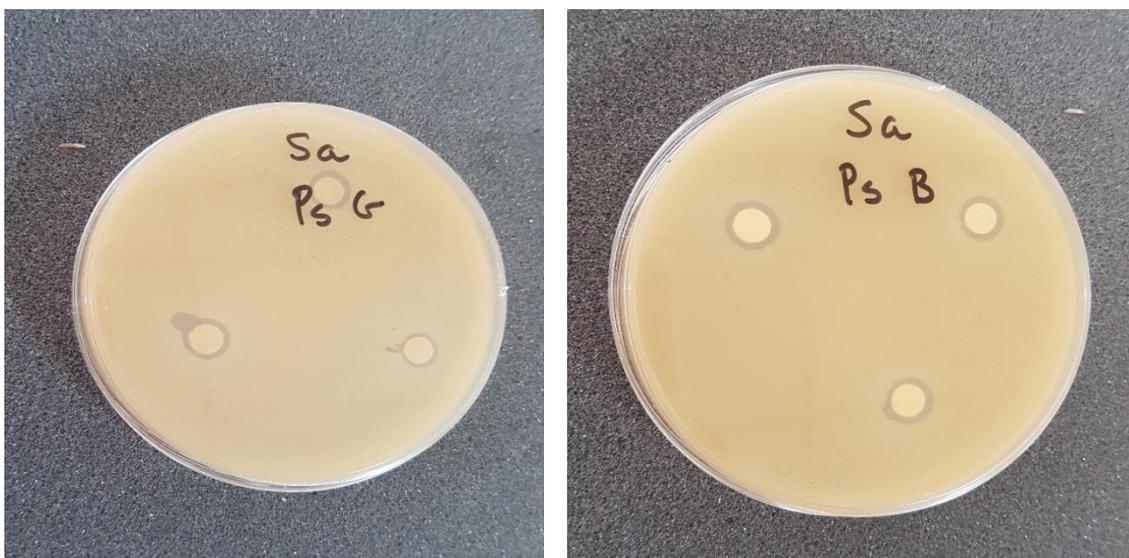


Photo 8 : Inhibition de *Staphylococcus aureus* par les huiles essentielles de *Pituranthos scoparius* (Echantillons : Ghardaïa et Béchar)

RESULTATS ET DISCUSSION

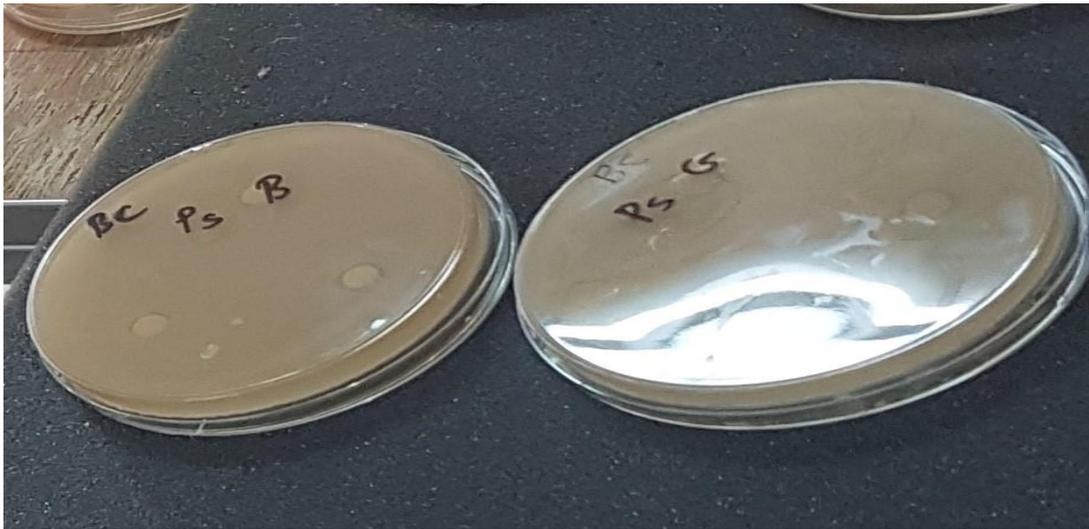


Photo 9 : Inhibition de *Bacillus cereus* par les huiles essentielles de *Pituranthos scoparius* (Echantillons : Ghardaïa et Béchar)



Photo 10 : Inhibition de *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus* par l'huile essentielle de *Myrtus communis*



Photo 11 : Résistance de la souche *Pseudomonas aeruginosa* vis-à-vis de l'huile essentielle de *Myrtus communis*

RESULTATS ET DISCUSSION

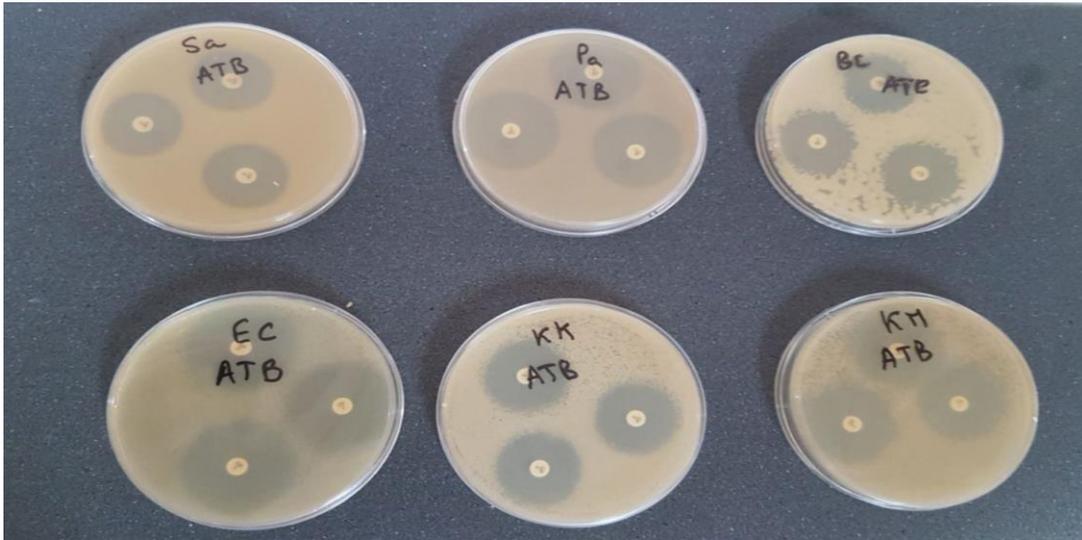


Photo 12 : Sensibilité des souches bactériennes vis-à-vis de la ciprofloxacine

Conclusion

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés d'une part, à l'étude de la composition chimique des huiles essentielles des parties aériennes de *Pituranthos scoparius* récoltées dans deux régions : Ghardaïa et Béchar et des feuilles de *Myrtus communis* récoltées dans cinq stations de la région de Tlemcen, et d'autre part aux propriétés biologiques des huiles essentielles de ces plantes (antioxydante, antimicrobienne et anti-inflammatoire).

Dans la première étape, nous avons procédé à l'extraction des huiles essentielles. Les rendements en huiles essentielles obtenus sont très variables. L'espèce végétale *P. scoparius* de Ghardaïa présente une teneur en huile essentielle faible, allant de 0,32 à 0,46%, tandis que celle de Béchar est plus riche en huile essentielle, avec un rendement variant entre 0,38% à 0,96%. De même, l'espèce *M. communis* contient une quantité appréciable en huile essentielle variant entre 0,31% et 0,88%. L'analyse des huiles essentielles par CPG(Ir) et CPG-SM a permis d'identifier 31 composés représentant 93,1% de la composition totale pour l'huile essentielle de *P. scoparius* récolté dans la région de Ghardaïa, 30 composés représentant 92,5% de la composition totale pour celle de la région de Béchar et 26 constituants représentant 97,1% de la composition totale pour l'huile essentielle de *M. communis*. L'échantillon de Ghardaïa est caractérisé par une teneur élevée en limonène (23,3%), suivi de : α -pinène (8,5%), germacrène D (8,3%), α -phellandrène (7,5%), myristicine (6,0%) et (Z)-ligustilide (5,6%). L'échantillon de Béchar est dominé par la 6-méthoxy élémicine (34,7%), le sabinène (23,2%) et l' α -pinène (19,4%). Les composés majoritaires dans l'huile essentielle de *M. communis* sont l' α -pinène (38,9%) et le 1,8-cinéole (33,4%).

Dans un second temps, nous avons évalué la capacité antioxydante par le test de DPPH^{*} et l'activité antibactérienne par la méthode de diffusion sur disque des huiles essentielles des deux espèces végétales. Toutes les huiles essentielles testées possèdent une faible activité antioxydante par rapport au composé de référence, l'acide ascorbique. L'échantillon de *P. scoparius* de Ghardaïa s'est révélé le plus actif avec une CI₅₀ de l'ordre de 6,48 mg/ml. En ce qui concerne l'activité antibactérienne des huiles essentielles des deux plantes, toutes les souches bactériennes se sont montrées résistantes, à l'exception de *Staphylococcus aureus* qui s'est avéré sensible à l'huile de *M. communis* avec un diamètre de la zone d'inhibition de l'ordre de 13,0 mm. Les deux échantillons de *P. scoparius* se sont révélés moins actifs contre *Staphylococcus aureus*, avec des diamètres des zones d'inhibition variant entre 8,0 et 10,0 mm.

CONCLUSION

Toutefois, il serait intéressant d'approfondir les investigations et de compléter cette étude en testant d'autres activités biologiques qu'on n'a pas pu réaliser à cause de la crise sanitaire due au coronavirus (Covid-19) :

- Evaluer le pouvoir antifongique de ces huiles essentielles contre le mycélium ;
- Déterminer l'activité anti-inflammatoire par le test d'inhibition de la lipoxygénase *in vitro* ;

Il est intéressant également d'isoler les molécules responsables des activités observées, ce qui permettra d'élargir l'arsenal thérapeutique des médicaments à base des plantes médicinales.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdelgaleil SAM, Badawy MEI, Shawir MS, Mohamed MIE. (2015) Chemical composition, fumigant and contact toxicities of essential oils isolated from Egyptian plants against the stored grain insects; *Sitophilus oryzae* L. and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 25(3), 639.

Aboutabl EA, Meselhy KM, Elkhreisy EM, Nassar MI, Fawzi R. (2011) Composition and bioactivity of essential oils from leaves and fruits of *Myrtus communis* and *Eugenia supraxillaris* (Myrtaceae) grown in Egypt. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 14(2), 192-200.

Achouri I, Belilet K. (2018) Contribution à l'étude des activités biologiques des huiles essentielles des feuilles du *Myrtus communis* L. (Rihan) de la région de Tlemcen. Mémoire de Master en Biologie, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, pp 99.

Adams RP. (2007) Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry (Vol. 456). Carol Stream, IL : Allured publishing corporation.

Adida H, Benariba N, Bechiri A, Chekroun E, Djaziri R. (2016) Étude phytochimique et évaluation du pouvoir antiradicalaire des extraits de *Pituranthos scoparius*. *Phytothérapie*, 14(4), 207-212.

Akin M, Aktumsek A, Nostro A. (2010) Antibacterial activity and composition of the essential oils of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn and *Myrtus communis* L. growing in Northern Cyprus. *African Journal of Biotechnology*, 9, 531-535.

Alleman F, Gabriel I, Dufourcq V, Perrin F, Gabarrou J F. (2013) Utilisation des huiles essentielles en alimentation des volailles. 1. Performances de croissance et règlementation. *INRA Prod. Anim.*, 26(1), 3-12.

Amarti F, Satrani B, Ghanmi M, Farah A, Aafi A, Aarab L, Chaouch A, El Ajjouri M, Chaouch A. (2010) Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut. et *Thymus ciliatus* (Desf.) Benth. du Maroc. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(1), 141-148.

Asllani U. (2000) Chemical composition of Albanian myrtle oil (*Myrtus communis* L.). *J. Essential Oil Research*, 12, 140-142.

Badawy ME, Abdelgaleil SA. (2014) Composition and antimicrobial activity of essential oils isolated from Egyptian plants against plant pathogenic bacteria and fungi. *Industrial Crops and Products*, 52, 776-782.

Badra B, Saoudi A, Akila A. (2016) Essential Oil Chemical Composition of Myrtle Growing in Northeastern Algeria and Estimation of its Antibacterial Effectiveness. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 12, 110-121.

Bandoniene D, Murkovic M, Pfannhauser W, Venskutonis PR, Gruzdiene D. (2002) Detection and activity evaluation of radical scavenging compounds by using DPPH free radical and online HPLC-DPPH methods. *European Food Research and Technology*, 214, 143-147.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bayer E, Buttler KP, Finkenzeller X, Grau J. (2016) La flore méditerranéenne : Caractéristiques, habitat, distribution et particularités de 536 espèces. Delachaux et Niestlé, pp 288.

Bazzali O, Tomi F, Casanova J, Bighelli A. (2012) Occurrence of C8–C10 esters in Mediterranean *Myrtus communis* L. leaf essential oil. *Flavour and Fragrance Journal*, 27, 335-340.

Bazzali O. (2016) Caractérisation chimique d'huiles essentielles de Corse et du Vietnam. La RMN du carbone-13, outil d'analyse des mélanges naturels. Thèse de doctorat en chimie, Université de Corse.

Beloued A. (2014) Plantes médicinales d'Algérie. 6^{ème} édition *Office des Publications Universitaire*, pp 140.

Benchelah AC, Bouziane, H, Maka M, Ouahes C. (2000) Fleurs du Sahara, Voyage ethnobotanique avec les Touaregs du Tassili. *Ibis Press*, Paris, pp 256.

Benmekhbi L, Kabouche A, Kabouche Z, Ait-Kaki B, Touzani R, Bruneau C. (2008) Five glycosylated flavonoids from the antibacterial butanolic extract of *Pituranthos scoparius*. *Chemistry of natural compounds*, 44(5), 639-641.

Bekhechi C, Watheq Malti CE, Boussaïd M, Achouri I, Belilet K, Gibernau M, Casanova J, Tomi F. (2019) Composition and Chemical Variability of *Myrtus communis* Leaf Oil From Northwestern Algeria. *Natural Product Communications*, 14(5), 1934578X19850030.

Ben Ghnaya A, Chograni H, Messoud C, Boussaid M. (2013) Comparative Chemical Composition and Antibacterial Activities of *Myrtus communis* L. Essential Oils Isolated from Tunisian and Algerian Population. *Plant Pathology and Microbiology*, 4, 1-5.

Ben Hsouna A, Hamdi N, Miladi R, Abdelkafi S. (2014) *Myrtus communis* essential oil: chemical composition and antimicrobial activities against food spoilage pathogens. *Chemistry and biodiversity*, 11(4), 571-580.

Berka-Zougali B, Hassani A, Besombes C, Allaf K. (2010) Extraction of essential oils from Algerian myrtle leaves using instant controlled pressure drop technology. *Journal of Chromatography A*, 1217, 6134-6142.

Berka-Zougali B, Ferhat MA, Hassani A, Chemat F, Allaf KS. (2012) Comparative Study of Essential Oils Extracted from Algerian *Myrtus communis* L. Leaves Using Microwaves and Hydrodistillation. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 4673-4695.

Boelens MH, Jimenez R. (1991) The Chemical Composition of Spanish Myrtle Leaf Oils. *Journal of Essential Oil Research*, 3, 173-177.

Boelens MH, Jimenez R. (1992) The Chemical Composition of Spanish Myrtle Oils. *Journal of Essential Oil Research*, 4, 349-353.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boudjelal A, Henchiri C, Sari M, Sarri D, Hendel N, Benkhaled A, Ruberto G. (2013)** Herbalists and wild medicinal plants in M'Sila (North Algeria): An ethnopharmacology survey. *Journal of ethnopharmacology*, 148(2), 395-402.
- Boutaghane N, Nacer A, Kabouche Z, Ait-Kaki B. (2004)** Comparative antibacterial activities of the essential oils of stems and seeds of *Pituranthos scoparius* from Algerian septentrional Sahara. *Chemistry of natural compounds*, 40(6), 606-607.
- Bouzabata A, Boussaha F, Casanova J, Tomi F. (2010)** Composition and Chemical Variability of Leaf Oil of *Myrtus communis* from North-Eastern Algeria. *Natural Product Communications*, 5, 1659-1662.
- Bouzabata A. (2013)** Traditional Treatment of high blood pressure and diabetes in Souk Ahras District. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 5(1), 12-20.
- Bouzabata A, Casanova J, Bighelli A, Cavaleiro C, Salgueiro L, Tomi F. (2016)** The Genus *Myrtus* L. in Algeria: Composition and Biological Aspects of Essential Oils from *M. communis* and *M. nivellei*. *Chem. Biodiversity*, 13, 672-680.
- Bouzouita N, Kachouri F, Hamdi M, Chaabouni MM. (2003)** Antimicrobial activity of essential oils from Tunisian aromatic plants. *Flavour and Fragrance Journal*, 18, 380-383.
- Brada M, Tabti N, Boutoumi H, Wathelet JP, Lognay G (2012)** Composition of the essential oil of leaves and berries of Algerian myrtle *Myrtus communis* L. *Journal of Essential Oil Research*, 24, 1-3.
- Bradesi P, Tomi F, Casanova J, Costa J, Bernardini AF. (1997)** Chemical Composition of Myrtle Leaf Essential Oil from Corsica. *Journal of Essential Oil Research*, 9, 283-288.
- Kouame CZA, Ouattara MK, Konan CK, N'Gaman-Kouassi C, Tomi F, Mamyrbekova-Bekro JA, Bekro YA. (2017)** Quantitative organic composition and antioxidant potential of the essential oil from *Origanum syriacum* L. (Lamiaceae) acclimated in Cote d'Ivoire. *Int. J. Curr. Res.*, 10, 73602-73605.
- Chaïb A. (2015)** Guide de phytothérapie : plantes et huiles médicinales. Thala Editions, El Biar, Alger.
- Chaker EK. (2010)** Caractérisation chimiques et biologiques d'extraits de plantes aromatiques oubliées de Midi-Pyrénées. Thèse de doctorat en Sciences de la Matière, Université de Toulouse.
- Chalchat JC, Garry RP, Michet A. (1998)** Essential oils of myrtle (*Myrtus communis* L.) of the Mediterranean littoral. *Journal of essential oil Research*, 10(6), 613-617.
- Chebli B, Hmamouchi M, Achouri M, Hassani LMI. (2004)** Composition and *in vitro* Fungitoxic Activity of 19 Essential Oils against Two Post-Harvest Pathogens. *Journal of Essential Oil Research*, 16, 507-511.
- Cherrat L, Espina L, Bakkali M, Garcia-Gonzalo D, Pagan R, Laglaoui A. (2013)** Chemical composition and antioxidant properties of *Laurus nobilis* L. and *Myrtus communis*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

L. essential oils from Morocco and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes for food preservation. *J. Sci. Food Agric.*, 94, 1197-1204.

Cherrat L, Espina L, Bakkali M, García-Gonzalo D, Pagán R, Laglaoui A. (2014) Chemical composition and antioxidant properties of *Laurus nobilis* L. and *Myrtus communis* L. essential oils from Morocco and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes for food preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1197-1204.

Chikhoun A, Damjan Pavleca J, Shashkov M, Berroua Z, Chebbi K, Bougherra H, Zeroual B, Vovk I, Aliane K, Gagaoua M, Boudjellal A, Križman M. (2017) Antioxidant effect induced by the essential oil of *Pituranthos scoparius* in a formulation of a whey spread emulsion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13163.

De Laurentis N, Rosato A, Gallo L, Leone L, Milillo MA. (2005) Chemical composition and antimicrobial activity of *Myrtus communis*. *Rivista Italiana EPPOS*, 39, 3-8.

Deriu A, Branca G, Moliccotti P, Pintore G, Chessa M, Tirillini B, Paglietti B, Mura A Sechi LA, Fadda G, Zanetti S. (2007) *In vitro* activity of essential oil of *Myrtus communis* L. against *Helicobacter pylori*. *International journal of Antimicrobial agents*, 30(6), 562.

Djenane D, Yangüela J, Amrouche T, Boubrit S, Boussaid N, Roncalés P. (2011) Chemical composition and antimicrobial effects of essential oils of *Eucalyptus globulus*, *Myrtus communis* and *Satureja hortensis* against *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* in minced beef. *Food Science and Technology International*, 17, 505-515.

Dobignard A, Chatelain C. (2011) Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord: Dicotyledoneae: Acanthaceae-Asteraceae, Vol. 2, éd. *Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève*, pp 428.

Didi OEHM, Hadj-Mahammed M, Zabeirou H. (2003) Place des plantes spontanées dans la médecine traditionnelle de la région de Ouargla (Sahara septentrional Est). *Courrier du savoir*, 3, 47-51.

Ekor M. (2014) The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in pharmacology*, 4, 177.

El Rhaffari L, Zaid A. (2002) Pratique de la phytothérapie dans le sud-est du Maroc (Tafilalet): Un savoir empirique pour une pharmacopée rénovée. *Congrès Européen d'Ethnopharmacologie, Metz*, 4, 293-318.

Fadil M, Farah A, Ihssane B, Haloui T, Lebrazi S, Rachiq S. (2017) Intrapopulation variability of *Myrtus communis* L. growing in Morocco: Chemometric investigation and antibacterial activity. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 17, 35-40.

Farah A, Afifi A, Fechtal M, Chhen A, Satrani B, Talbi M, Chaouch A. (2006) Fractional distillation effect on the chemical composition of Moroccan myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 21, 351-354.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Fernandez X, Chemat F. (2012) La chimie des huiles essentielles. Tradition et innovation. Vuibert, Paris, pp 288.

Flamini G, Cioni PL, Morelli I, Maccioni S, Baldini R. (2004) Phytochemical typologies in some populations of *Myrtus communis* L. on Caprione Promontory (East Liguria, Italy). *Food Chemistry*, 85, 599-604.

Foudil-Cherif Y, Boutarene N, Yassaa N. (2013) Chemical Composition of Essential Oils of Algerian *Myrtus communis* and chiral analysis of their leave volatiles. *Journal of Essential Oil Research*, 25(5), 402-408.

Gardeli C, Vassiliki P, Athanasios M, Kibouris T, Komaitis M. (2008) Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L.: Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. *Food Chemistry*, 107, 1120-1130.

Gauthier R, Gourai M, Bellakhdar J. (1988) A propos de l'huile essentielle de *Myrtus communis* L. var. *italica* récolté au Maroc. I: Rendements et compositions durant un cycle végétatif annuel. II : Rendement et composition selon le mode d'extraction ; comparaison avec diverses sources. *Al Biruniya*, 4(2), 97-132.

Gazi MR, Kanda K, Yasuda M, Kato F. (2004) Optimisation of cultural conditions and some properties of radical scavenging substances from *Sporobolomyces salmonicolor*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7, 1365-1370.

Gourine N, Merrad B, Yousfi M, Stocker P, Gaydou EM. (2011) Chemical composition of the essential oil of *Pituranthos scoparius*. *Natural product communications*, 1151-1154.

Gryc G. (1985) The National Petroleum reserve in Alaska: earth-science considerations. U.S. Government Printing Office; Washington, 1240-C.

Gündüz GT, Gönül ŞA, Karapinar M. (2009) Efficacy of myrtle oil against *Salmonella typhimurium* on fresh produce. *International journal of Food Microbiology*, 130, 147-150.

Hammiche V, Maiza K. (2006). Traditional medicine in Central Sahara: pharmacopoeia of Tassili N'ajjer. *Journal of ethnopharmacology*, 105(3), 358-367.

Hart K J, Yanez-Ruitz DR, Duval SM, McEwan NR, Newbold CJ. (2008) Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1-3), 1-28.

Hennia A, Brada M, Nemmiche S, Fauconnier ML, Lognay G. (2015a) Chemical composition and antibacterial activity of the essential oils of Algerian *Myrtus communis* L. *Journal of Essential Oil Research*, 27, 324-328.

Hennia A, Miguel MG, Brada M, Nemmiche S, Figueiredo AC. (2015b) Composition, chemical variability and effect of distillation time on leaf and fruits essential oils of *Myrtus communis* from north western Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 28, 146-156.

Hennia A, Nemmiche S, Dandlen S, Miguel MG. (2019) Huiles essentielles de *Myrtus communis*: activités insecticides, antioxydantes et antimicrobiennes: une revue. *Journal of Essential Oil Research*, 31(6), 487-545.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Inouye S, Abe S. (2007) Nouvelle approche de l'aromathérapie anti-infectieuse. *Phytothérapie*, 1, 2-4.

Iserin P. (2007) Encyclopédie des plantes médicinales. Larousse, pp 335.

IUCN International Union for Conservation of Nature. (2005) A Guide to Medicinal Plants in North Africa. Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga (Spain), pp 183.

Jamoussi B, Romdhane M, Abderraba A, Hassine BB, Gadri AE. (2005) Effect of harvest time on the yield and composition of Tunisian myrtle oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 20, 274-277.

Jerkovic I, Radonic A, Borcic I. (2002) Comparative Study of Leaf, Fruit and Flower Essential Oils of Croatian *Myrtus communis* L. During a One-Year Vegetative Cycle. *Journal of Essential Oil Research*, 14, 266-270.

Kaloustian J, Chevalier J, Mikail C, Martino M, Abou L, Vergnes M F. (2008) Étude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne. *Phytothérapie*, 6(3), 160-164.

Kamiar Zomorodian, Mahmoodreza Moein, Zahra Goeini Lori, Younes Ghasemi, Mohammad Javad Rahimi, Azadeh Bandegani, Keyvan Pakshir, Abdollah Bazargani, Solmaz Mirzamohammadi, Nadia Abbasi (2013) Chemical Composition and Antimicrobial Activities of the Essential Oil from *Myrtus communis* Leaves. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(1), 76-84.

Kiram A, Messoued R, Azzedine Z. (2013) Etude Phytochimique et de L'activité Antimicrobienne des Huiles Essentielles de *Pituranthos scoparius* de la Région de Biskra (Sud-Est Algérien). *Tunisian Journal of Medicinal Plants and Natural Products*, 10(2).

Kokoska L, Polesny Z, Rada V, Nepovim A Vanek T. (2002) Screening of some Siberian medicinal plants for antimicrobial activity. *J. Ethnopharmacol.*, 82, 51-53.

König WA, Hochmuth DH, Joulain D. (2001) Terpenoids and related constituents of essential oils, library of massfinder 2.1. *University of Hamburg, Institute of Organic Chemistry: Hamburg.*

Koukos PK, Papadopoulou KI, Papagiannopoulos AD, Patiala DT. (2001) Chemicals from Greek Forestry Biomass: Constituents of the Leaf Oil of *Myrtus communis* L. Grown in Greece. *Journal of Essential Oil Research*, 13, 245-246.

Koutsaviti A, Antonopoulou V, Vlassi A, Antonatos S, Michaelakis A, Papachristos DP, Tzakou O. (2018) Chemical composition and fumigant activity of essential oils from six plant families against *Sitophilus oryzae* (Col: Curculionidae). *Journal of pest science*, 91(2), 873-886.

Ksouri A, Dob T, Belkebir A, Dahmane D, Nouasri A. (2017) Volatile compounds and biological activities of aerial parts of *Pituranthos scoparius* (Coss and Dur) Schinz (Apiaceae) from Hoggar, southern Algeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(1), 51-58.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lahlou M. (2004)** Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research*, 18, 435-448.
- Lawrence BM. (1976-1977)** Myrtle oil. Essential oils. Carol Stream: Allured Co. p. 31.
- Lawrence BM. (1979-1980)** Myrtle oil. Essential oils. Carol Stream: Allured Co. p. 15, p. 44.
- Lawrence BM. (1981-1987)** Myrtle oil. Essential oils. Carol Stream: Allured Co. p. 137.
- Lawrence BM. (1990)** Myrtle oil. *Perfum Flav.*, 15: p. 65.
- Lawrence BM. (1993)** Myrtle oil. *Perfum Flav.*, 18: p. 52.
- Lawrence BM. (1996)** Myrtle oil. *Perfum Flav.*, 21: p. 57.
- Lawrence BM. (2002)** Myrtle oil. *Perfum Flav.*, 27: p. 82.
- Lawrence BM. (2007)** Myrtle oil. *Perfum Flav.*, 32: p. 54
- Le Floc'h E. (1983)** Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. *Imprimerie Officielle de la République Tunisienne*, Tunisie, pp 402.
- Lograda T, Ramdani M, Kiram A, Chalard P, Figueredo G. (2013)** Variation of essential oils composition of *Pituranthos scoparius* in Algeria. *Global Journal of Research on Medicinal Plants & Indigenous Medicine*, 2(1), 1.
- Malti CEW, Boussaïd M, Belyagoubi L, Paoli M, Gibernau M, Tomi F, Bekhechi C. (2018)** Chemical Variability of the Essential Oil of *Pituranthos scoparius* from Algeria. *Chemistry and biodiversity*, 15(7), e1800149.
- Malti CEW. (2019)** Etude des activités biologiques et de la composition chimique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques d'Algérie : *Pituranthos scoparius* (Guezzah), *Santolina africana* (EL Djouada) et *Cymbopogon schoenanthus* (El Lemad). Thèse de doctorat en biologie, Université de Tlemcen, pp 271.
- Maxia A, Frau MA, Falconieri D, Karchuli MS, Kasture S. (2011)** Essential oil of *Myrtus communis* inhibits inflammation in rats by reducing serum IL-6 and TNF-alpha. *Natural Product Communications*, 6, 1545-1548.
- Messaoud C, Zaouali Y, Salah AB, Khoudja ML, Boussaid M. (2005)** *Myrtus communis* in Tunisia: variability of the essential oil composition in natural populations. *Flavour and Fragrance Journal*, 20, 577-582.
- Migliore J. (2011)** Empreintes des changements environnementaux sur la phylogéographie du genre *Myrtus* en méditerranée et au Sahara. Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Migliore J, Baumel A, Juin M, Médail F. (2012) From Mediterranean shores to central Saharan mountains: key phylogeographical insights from the genus *Myrtus*. *Journal of Biogeography*, 39, 942-956.

Mimica-Dukić N, Bugarin D, Grbović S, Mitić-Ćulafić D, Vuković-Gačić B, Orčić D, Jovin E, Couladis M. (2010) Essential Oil of *Myrtus communis* L. as a Potential Antioxidant and Antimutagenic Agents. *Molecules*, 15, 2759-2770.

Moghrani H, Maachi R. (2008) Valorization of *Myrtus communis* Essential Oil Obtained by Steam Driving Distillation. *Asian Journal of Scientific Research*, 1, 518-524.

Naceur H, Romdhane M, Jamoussi B, Abderraba M. (2006) Extraction des huiles essentielles du myrte *Myrtus communis* L. par hydrodistillation et entraînement à la vapeur d'eau : Etude quantitative et qualitative. *Revue des régions arides*, 81-86.

Nassar M, Aboutabl ES, Ahmed R, El-Khrisy ED, Ibrahim K, Sleem A. (2010) Secondary metabolites and bioactivities of *Myrtus communis*. *Pharmacognosy Research*, 2, 325.

National Institute of Standards and Technology, 'PC Version 1.7 of the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library', Perkin-Elmer Corporation, Norwalk, CT, USA, 1999.

National Institute of Standards and Technology, 'PC version of the mass spectral library', Norwalk, CT, USA, 2014.

NCCLS (National Committee for Clinical Laboratory Standards) (2001) Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: eleventh informational supplement. NCCLS document M100- S11. USA: Villanova, 21(1).

Neffati A, Hennequin D, Basset B, Chekir-Ghedira L, Ghedira K, Barillier D and Ledauphin J. (2009) Influence of Growth Phase and Geographic Origin on the Essential Oil Composition of *Pituranthos chloranthus* from Tunisia. *Natural Product Communications*, 4, 1585-1594.

Owlia PSH. (2009) Antimicrobial characteristics of some herbal Oils on *Pseudomonas aeruginosa* with special reference to their chemical compositions. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 8, 107-114.

Ozenda P. (1958) Flore du Sahara. Ed. CNRS Paris, France.

Özek T, Demirci B, Baser KHC. (2000) Chemical Composition of Turkish Myrtle Oil. *Journal of Essential Oil Research*, 12, 541-544.

Pavlov A, Kovatcheva P, Georgiev V, Koleva I, Ilieva M. (2002) Biosynthesis and radical scavenging activity of betalains during the cultivation of red beet (*Beta vulgaris*) hairy root cultures. *Z. Naturforsch*, 57, 640-644.

Pereira PC, Cebola MJ, Bernardo-Gil MG. (2009) Evolution of the Yields and Composition of Essential Oil from Portuguese Myrtle (*Myrtus communis* L.) through the Vegetative Cycle. *Molecules*, 14, 3094-3105.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Petretto GL, Maldini M, Addis R, Chessa M, Foddai M, Rourke JP, Pintore G. (2016)** Variability of chemical composition and antioxidant activity of essential oils between *Myrtus communis* var. *leucocarpa* DC and var. *melanocarpa* DC. *Food Chemistry*, 197, 124-131.
- Pfaller MA, Messer SA, Karlsson Å, Bolmström A. (1998)** Evaluation of the Etest method for determining fluconazole susceptibilities of 402 clinical yeast isolates by using three different agar media. *Journal of Clinical Microbiology*, 36(9), 2586-2589.
- Quézel P, Santa S. (1963)** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Tome II Edition, CNRS, Paris, pp 1169.
- Rasooli I, Moosavi ML, Rezaee MB, Jaimand K. (2002)** Susceptibility of Microorganisms to *Myrtus communis* L. Essential Oil and its Chemical Composition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4, 127-133.
- Rossi PG, Berti L, Panighi J, Luciani A, Maury J, Muselli A, Dominique de RS, Gonny M, Bolla JM. (2007)** Antibacterial action of essential oils from Corsica. *Journal of Essential Oil Research*, 19(2), 176-182.
- Sirajudheen A, Crouch RA, Nasser A, Awadh A, Al-Fatimi MA, Setzer WN, Wessjohann L. (2017)** Hierarchical cluster analysis and chemical characterization of *Myrtus communis* L. essential oil from Yemen region and its antimicrobial, antioxidant and anti-colorectal adenocarcinoma properties. *Natural Product Research*, 31(18), 2158-2163.
- Snoussi A, Kachouri MM, Chaabouni N, Bouzouita N. (2011)** Comparative GC analyses of ripe fruits, leaves and floral buds essential oils of Tunisian *Myrtus communis* L. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 1, 38-43.
- Snoussi A, Essaidi I, Koubaier HBH, Chaabouni MM, Bouzouita N. (2012)** Composition chimique et activité antioxydante des huiles essentielles et des extraits à l'éthanol des organes de *Myrtus Communis* L. (baies, feuilles et boutons floraux). *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 14, 69-76.
- Syeda S, Ibrar M, Barkatullah NM, Ehsan M. (2013)** Analgesic and gastrointestinal motility profile of essential oil from *Myrtus communis* leaves. *Journal of Phytopharmacology*, 4, 81-86.
- Touaibia M. (2017)** Composition and anti-inflammatory effect of the common myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oil growing wild in Algeria. *Phytothérapie*, DOI 10.1007/s10298-017-1100-9.
- Toudert-Taleb K, Hedjal-Chebheb M, Hami H, Debras J F, Kellouche A. (2014)** Composition of Essential Oils Extracted from Six Aromatic Plants of Kabylia Origin (Algeria) and Evaluation of Their Bioactivity on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Bruchidae). *African Entomology*, 22(2), 417-427.
- Traboulsi AF, Taoubi K, El-Haj S, Bessiere JM, Rammal S. (2002)** Insecticidal properties of essential plant oils against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera : Culicidae). *Pest. Manag. Sci.*, 58, 491-495.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Tuberoso CIG, Barra A, Angioni A, Sarritzu E, Pirisi FM. (2006) Chemical Composition of Volatiles in Sardinian Myrtle *Myrtus communis* L. Alcoholic Extracts and Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1420-1426.

Smaili T, Zellagui A, Gherraf N, Flamini G, Cioni PL. (2011) Essential oil content of the flowers of *Pituranthos scoparius* in Algeria. *Medicinal Plants-International Journal of Phytomedicines and Related Industries*, 3(2), 177-179.

Vérité P, Nacer A, Kabouche Z, Seguin E. (2004) Composition of seeds and stems essential oils of *Pituranthos scoparius* (Coss. & Dur.) Schinz. *Flavour and fragrance journal*, 19(6), 562-564.

Vernin G, Lageot C, Ghiglione C, Dahia M, Parkanyi C. (1999) GC/MS Analysis of the volatile constituents of the essential oils of *Pituranthos scoparius* (Coss et Dur.) Benth. et Hook, from Algeria. *Journal of essential oil research*, 11(6), 673-676.

Wannes AW, Mhamdi B, Marzouk B. (2009) GC Comparative Analysis of Leaf Essential Oils from Two Myrtle Varieties at Different Phenological Stages. *Chromatographia*, 69, 145-150.

Wannes WA, Mhamdi B, Sriti J, Jemia MB, Ouchikh O, Hamdaoui G, Kchouk ME, Marzouk B. (2010) Antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts from myrtle (*Myrtus communis* var. *italica* L.) leaf, stem and flower. *Food and chemical toxicology*, 48(5), 1362-1370.

Weyerstahl P, Marschall H, Rustaiyan A. (1994) Constituents of the essential oil of *Myrtus communis* L. from Iran. *Flavour and Fragrance Journal*, 9, 333-337.

Yadegarinia D, Gachkar L, Rezaei MB, Taghizadeh M, Astaneh SA, Rasooli I. (2006) Biochemical activities of Iranian *Mentha piperita* L. and *Myrtus communis* L. *Phytochemistry*, 67, 1249-1255.

Zanetti S, Cannas S, Molicotti P, Bua A, Cubeddu M, Porcedda S, Marongiu B, Sechi L A. (2010) Evaluation of the Antimicrobial Properties of the Essential Oil of *Myrtus communis* L. against Clinical Strains of *Mycobacterium* spp. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 1-3.

Zermane A, Larkeche O, Meniai AH, Crampon C, Badens E. (2014) Optimisation de l'extraction supercritique d'huile essentielle à partir de feuilles algériennes de *Myrtus communis* L. en utilisant la méthodologie de surface de réponse. *The Journal of Supercritical Fluids*, 85, 89-94.

Annexes

ANNEXES

Annexe 1 : Moyenne des rendements (%) en huile essentielle de *Myrtus communis* des cinq stations de Tlemcen

Stations	Moyenne des rendements
Aïn Kebira	0,44
Beni ouarss	0,88
Honaïne	0,40
Nedroma	0,39
Beni khelled	0,31

Annexe 2 : Moyenne des rendements (%) en huile essentielle de *Pituranthos scoparius* de Ghardaïa et de Béchar

Station	Mois	Rendements
Ghardaïa	Mars	0,43
	Avril	0,32
	Mai	0,46
Béchar	Mars	0,96
	Avril	0,45
	Mai	0,62
	Septembre	0,53
	Octobre	0,48
	Novembre	0,55
	Décembre	0,52
	Janvier (2017)	0,43
	Mars (2017)	0,38
	Avril (2017)	0,57
Mai (2017)	0,43	

Annexe 3 : Pourcentages d'inhibition de l'huile essentielle de *Myrtus communis* par la méthode de DPPH

Concentrations (mg/ml)	Pourcentage d'inhibition (%)
256	80,5
128	70,5
64	63,0
32	59,0
16	47,5
8	32,0
4	18,5
2	15,5
1	3,5

ANNEXES

Annexe 4 : Pourcentages d'inhibition de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* de Ghardaïa par la méthode de DPPH

Concentrations (mg/ml)	Pourcentage d'inhibition (%)
256	96,0
128	96,0
64	93,0
32	90,5
16	85,0
8	59,5
4	31,0
2	22,5
1	14,0

Annexe 5 : Pourcentages d'inhibition de l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* de Béchar par la méthode de DPPH

Concentrations (mg/ml)	Pourcentage d'inhibition (%)
256	87,5
128	85,0
64	51,5
32	34,0
16	26,5
8	24,0
4	15,0
2	6,5
1	0,0